

**DESARROLLO DE POLIURETANO A PARTIR DE RECURSOS
AGROINDUSTRIALES PARA SU APLICACIÓN COMO SUELA DE CALZADO
BASADO EN EL ESTUDIO DE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE
MATERIALES COMERCIALES**

**YADITZA MENDIVELSO OSORIO
LISSETH PAOLA ROJAS ACEVEDO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2017

**DESARROLLO DE POLIURETANO A PARTIR DE RECURSOS
AGROINDUSTRIALES PARA SU APLICACIÓN COMO SUELA DE CALZADO
BASADO EN EL ESTUDIO DE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE
MATERIALES COMERCIALES**

**YADITZA MENDIVELSO OSORIO
LISSETH PAOLA ROJAS ACEVEDO**

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Químico

Director:

**GUSTADO EMILIO RAMÍREZ CABALLERO
Ingeniero Químico, PhD**

Codirectora:

**BELKYS POLO CAMBRONELL
Ingeniera Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2017

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander y la Escuela de Ingeniería Química por formarnos como personas integra y excelentes profesionales.

Al doctor Gustavo Emilio Ramírez Caballero, Director de Tesis, por su orientación, alegría y optimismo en cada fase del proyecto. Gracias por creer en nosotras.

A la ingeniera Belkys Polo, Codirectora de Tesis, por enseñarnos el verdadero significado de la paciencia, trabajo en equipo y porque siempre es posible salir adelante aun cuando se presenten obstáculos. Lo logramos.

A todos los estudiantes del Grupo de Investigación en Polímeros de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander por su guía en la utilización de equipos y materiales.

A Jheison Pacheco Cuadros gerente de la fábrica de calzado Jheison & Jheison por su apoyo, motivación y colaboración durante el desarrollo del proyecto.

A Ángel Custodio Acuña Llanes, gerente de Industrias Acuña Ltda. - Inal y su equipo de trabajo, en especial a Renso Alejandro Velandia Ramírez, Andrés David Carvajal Páez, Miguel Ángel Acuña Rodríguez y Jennifer Nathalia Celis Rozo, por su apoyo y colaboración constante en la realización de la prueba de abrasión.

Al profesor Javier Enrique Gómez Ramírez, por ayudarnos a reforzar los conocimientos adquiridos acerca de materiales poliméricos y su colaboración en el desarrollo de este trabajo de grado.

**“Empieza haciendo lo necesario, después lo posible, y de repente te
encontrarás haciendo lo imposible”
San Francisco de Asís.**

Este triunfo va dedicado a Dios por permitirme celebrar todos los días el milagro de la vida y porque sus tiempos siempre fueron y son perfectos.

A mis padres, Isnardo y Yadire por ser siempre un apoyo incondicional, por cada palabra de aliento y enseñarme el verdadero significado de la perseverancia. Este logro es de ustedes y para ustedes.

A mi hermano Paulo Zadit que con sus ocurrencias siempre me hace reír y ver la vida de manera sencilla.

A mis amigas de la Universidad, Angie, Sthefy y Marce porque a pesar de la distancia y los cambios, siempre están ahí para mí.

A mi amiga de toda la vida, Ana María, por su paciencia y apoyo en los momentos difíciles. Gracias por todo.

A Liss, por su apoyo y compañía en el desarrollo de este proyecto. Gracias por los buenos momentos compartidos.

A Moisés y todo su equipo de trabajo en Momba Fitness porque gracias a ellos aprendí a bailar bajo la lluvia. Siempre estarán en mi corazón.

Por último, pero no menos importante, a todas aquellas personas que siempre creyeron en mí, a mis abuelitas Zoraida y Cándida por sus oraciones y cuidados, a mi abuelito José por su sabiduría acerca de la vida, a mi ángel saxofonista, mi abuelito Alfredo y, a quienes me dejaron alguna enseñanza pero que, por circunstancias de la vida, ya no están. Gracias.

Yaditza Mendivelso Osorio

Dedico esta tesis a todos los que hacen realidad sus sueños, aunque para el mundo sean imposibles.

A Dios por su gran bendición al regalarme una familia y amigos maravillosos para que a través de sus enseñanzas pudiera fortalecer mis capacidades y culminara este proyecto.

A mi padre, por su creatividad y las ideas grandiosas.
A mi madre, por su ejemplo de paciencia.

A mis hermanas, Marce por su corazón bondadoso y humilde y a Cami por enseñarme que el silencio es una virtud de los sabios.

A Sofi, por llegar en el momento perfecto para contagiarnos de alegría.

A mi abuela por su amor, entrega y dedicación durante estos años.

A mi madrinita, por la lección de que el esfuerzo y la disciplina tiene sus frutos a través de los años.

A Juan Miguel por sus consejos, el ejemplo de fe y perseverancia.

A mi alma gemela Jazmín, por su apoyo y su ejemplo para vencer los obstáculos y convertirlos en grandes triunfos, fue un camino que recorrimos de la mano.

A Yadi por su apoyo, paciencia y comprensión en el desarrollo de este trabajo, el tiempo de Dios es perfecto y Él nos da las respuestas esperadas en el momento indicado.

Lisseth Paola Rojas Acevedo

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	17
1. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.....	27
1.1 SÍNTESIS DE POLIURETANO.....	27
1.1.1 Materias Primas.....	28
1.1.2 Pretratamiento de materias primas.....	28
1.1.3 Protocolo de síntesis.....	28
1.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES COMERCIALES Y POLIURETANO SINTETIZADO.....	29
1.2.1 Prueba de absorción.....	29
1.2.2 Prueba de resistencia en reactivos químicos.....	30
1.2.3 Prueba de dureza.....	30
1.2.4 Prueba de abrasión.....	30
1.2.5 Análisis dinámico-mecánico (DMA):.....	30
2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	32
2.1 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO.....	32
2.2 ANÁLISIS FÍSICO MECÁNICO.....	34
2.2.1 Dureza Shore D.....	34
2.2.2 Cambio de dureza después de 24 horas a 100°C.....	35
2.2.3 Prueba de abrasión.....	37

2.2.4 Análisis dinámico-mecánico (DMA).	38
3. MATRIZ DE RESULTADOS	42
4. CONCLUSIONES	43
5. RECOMENDACIONES	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	51
ANEXOS	56

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Reacción de uretano.....	17
Figura 2. Esquema general de síntesis de poliuretano.	18
Figura 3. Jerarquización del petróleo a nivel mundial.	19
Figura 4. Estructura química del ácido ricinoleico.....	20
Figura 5. Estructura molecular del glicerol.	21
Figura 6. Estructura química del MDI.....	21
Figura 7. Mercado de las empresas de calzado en Santander.	22
Figura 8. Líneas de producción del calzado en Bucaramanga.	23
Figura 9. Materiales comerciales de suelas de calzado: caucho, PVC y neolite. ..	24
Figura 10. Entrecruzamiento molecular del caucho natural.	24
Figura 11. Reacción de formación de PVC.....	25
Figura 12. Composición del caucho estireno butadieno (SBR, Neolite).....	26
Figura 13. Metodología global del trabajo de grado.....	27
Figura 14. Montaje experimental de síntesis de poliuretano.	28
Figura 15. Porcentaje de incremento y pérdida de peso por efecto de la absorción de diferentes solventes en cada material utilizado.....	32
Figura 16. Dureza de los materiales comerciales y PU sintetizado.	35
Figura 17. Porcentaje de cambio de dureza 24 horas después de la exposición de los materiales a una temperatura de 100°C.....	35
Figura 18. Aspecto físico de los materiales después de estar expuestos a una temperatura de 100°C durante 24 horas.....	36
Figura 19. Porcentaje de pérdida de peso durante la prueba de abrasión.	37
Figura 20. Prueba de abrasión realizada a materiales comerciales y PU sintetizado.....	38
Figura 21. Curvas de esfuerzo Vs. deformación de los materiales comerciales.	38

Figura 22. Curvas de esfuerzo Vs. deformación de los poliuretanos sintetizados.	40
Figura 23. Curvas de deformación y recuperación Vs. tiempo de los materiales estudiados.	40
Figura 24. Ventas anuales de suelas de calzado en Colombia.	56
Figura 25. Producción anual de suelas de calzado en Colombia.....	57
Figura 27. Lijadora de banda utilizada.	64
Figura 28. Peso utilizado para sujetar los materiales (1Kg).	64
Figura 29. Soporte utilizado para sujetar la masa de 1Kg.	65
Figura 30. Materiales comerciales sometidos a la prueba de abrasión.	65
Figura 31. Poliuretanos sometidos a la prueba de abrasión.	65
Figura 32. DMA Q800.	67
Figura 34. Comportamiento de los PU ante la absorción de gasolina.	69
Figura 35. Comportamiento del neolite ante la absorción de gasolina.....	69
Figura 36. Comportamiento del caucho ante la absorción de gasolina.....	69
Figura 37. Comportamiento del PVC ante la absorción de gasolina.....	70

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Pruebas realizadas a los materiales comerciales y al PU sintetizado.....	29
Tabla 2. Efecto del solvente utilizado sobre el material.	34
Tabla 3. Propiedades mecánicas de los materiales comerciales y PU sintetizado.....	39
Tabla 4. Matriz de resultados.....	42
Tabla 5. Propiedades fisicoquímicas del aceite de ricino.....	62
Tabla 6. Propiedades fisicoquímicas del glicerol.	62
Tabla 7. Propiedades fisicoquímicas del MDI.	62
Tabla 8. Requisitos y ensayos para suelas de calzado de calle, deportivo e industrial.	63
Tabla 9. Especificaciones técnicas del DMA Q800.....	68

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Materiales comerciales de mayor distribución en Bucaramanga.....	56
Anexo B. Ficha técnica del caucho natural.	58
Anexo C. Ficha técnica del PVC.	60
Anexo D. Ficha técnica del neolite.	61
Anexo E. Propiedades fisicoquímicas de los reactivos.	62
Anexo F. Norma NTC 1082 para calzado.	63
Anexo G. Prueba de abrasión.	64
Anexo H. Cálculo del incremento o pérdida de peso.	66
Anexo I. TA Instruments DMA Q800.	67
Anexo J. Prueba de absorción en gasolina.	69

RESUMEN

TÍTULO: Desarrollo de poliuretano a partir de recursos agroindustriales para su aplicación como suela de calzado, basado en el estudio de los requerimientos técnicos de materiales comerciales*.

AUTORES: Yaditza Mendivelso Osorio
Liseth Paola Rojas Acevedo**

PALABRAS CLAVES: Poliuretano, propiedades mecánicas, suelas de calzado, aceite de ricino, glicerol.

DESCRIPCIÓN:

En el presente trabajo se estudia la posible aplicación del poliuretano sintetizado a partir de aceite de ricino y glicerol como suela de calzado. Se identificaron el género y uso de las suelas con el fin de comparar las propiedades mecánicas y fisicoquímicas de los materiales comerciales seleccionados: PVC, caucho y neolite; y las propiedades del poliuretano sintetizado por el grupo de investigación de polímeros de la Universidad Industrial de Santander. Se escogieron tres relaciones molares: 100:0, 70:30 y 60:40.

Se realizaron pruebas de tensión, compresión, dureza, resistencia a la abrasión y resistencia ante reactivos químicos y diferentes solventes a cada material seleccionado. La prueba de abrasión se llevó a cabo en la ciudad de Bucaramanga en Industrias Acuña Ltda, donde se realizó una adaptación a la norma ASTM D4060-14 utilizando una lijadora de banda de 6*48 pulgadas.

Finalmente se obtuvo una matriz de resultados en donde se especifican los rangos de trabajo para cada una de las pruebas. Después de realizar el análisis comparativo entre los materiales comerciales y el poliuretano sintetizado, se obtuvo que, el mejor candidato para su posible aplicación como suela de calzado es el poliuretano de relación 100:0 ya que logra mejorar las propiedades de los materiales comerciales y se mantiene dentro de los rangos encontrados.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: PhD. Gustavo Emilio Ramírez Caballero. Codirectora: Ing. Belkys Johanna Polo Cambronell

SUMMARY

TITLE: Development of polyurethane from agro-resources to be used as shoe sole, based on the study of technical requirements of commercial materials*.

AUTORS: Yaditza Mendivelso Osorio, Lisseth Paola Rojas Acevedo**.

KEY WORDS: Polyurethane, physical-mechanical properties, shoe sole, castor oil, glycerol.

DESCRIPTION:

The current paper examines the possible application of polyurethane synthesized from castor oil and glycerol as a shoe sole. Type and use of the soles were identified to compare the mechanical and physic-chemical properties of selected commercial materials: PVC, rubber and neolite; and the properties of the polyurethane synthesized by the polymers research group of the Universidad Industrial de Santander. Three molar ratios were chosen: 100:0 and 60:40, 70:30.

Each material was tested in tension, compression, hardness, resistance to abrasion and resistance to reactive chemicals and different solvents. The abrasion test was development in Bucaramanga city in Industrias Acuña Ltda, where we adapted the test to the norm ASTM D4060-14 using a sander of 6 * 48 inch.

We obtained an array of results about the specific ranges of work for each test. After performing comparative analysis between commercial materials and synthesized polyurethane, the best candidate for its possible application as shoe sole is the polyurethane of 100:0. This material improves the properties of commercial materials and stays within the ranges found.

* Degree project

** Faculty of physic and chemical engineering. School of Chemical Engineering. Director: PhD. Gustavo Emilio Ramírez Caballero. Codirector: Engineer. Belkys Johanna Polo Cambronell

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los objetos utilizados en ingeniería se fabrican a partir de metales y aleaciones. Sin embargo, los polímeros, en especial los poliuretanos (PUs), se han convertido en centro de atracción al ofrecer una buena combinación de propiedades [1], como por ejemplo ser excelentes aislantes térmicos, eléctricos y acústicos; además, son materiales que por su alta elasticidad, resistencia a los impactos, flexibilidad, rigidez, resistencia a la abrasión y corrosión [2], hoy en día son indispensables para que el ser humano goce de las comodidades de la vida moderna ya que se encuentran presentes en los electrodomésticos, colchones, muebles, tuberías, pinturas, medios de transporte e incluso unos buenos zapatos [3].

Los PUs están formados por unidades repetitivas del grupo funcional uretano (-NH-CO-O-) [4], el cual se obtiene a partir de una reacción de polimerización entre compuestos con grupos hidroxilo (-OH) y grupos isocianato (-NCO) (figuras 1 y 2). Generalmente se utiliza un número reducido de isocianatos, pero la gran aplicabilidad de los PUs está determinada por la variedad de polioles y mezclas de los mismos, así como por los aditivos que puedan ser añadidos en el proceso [5].

Figura 1. Reacción de uretano [34]

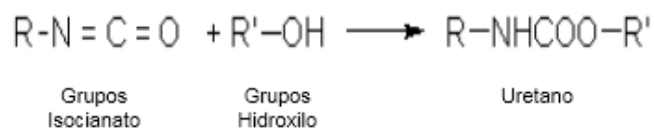
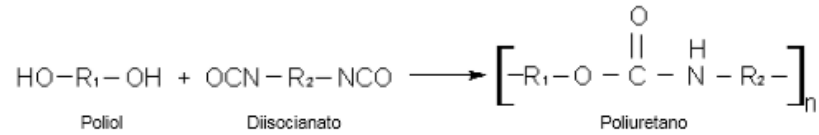


Figura 2. Esquema general de síntesis de poliuretano [4]

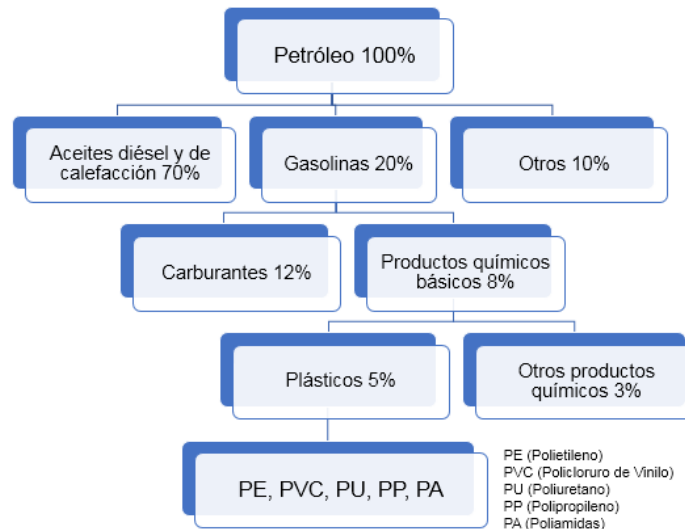


El método y la concentración de polioles utilizados en la síntesis de PUs afectan directamente la morfología del material y le proporcionan propiedades específicas. La morfología de los PUs depende principalmente del grado de entrecruzamiento o de reticulación de los mismos, la cual puede ser de carácter químico o físico y es responsable de su resistencia mecánica y física [6]. La reticulación química se logra por medio de enlaces químicos que son producto de la reacción principal o de posibles reacciones colaterales como es el caso de la formación de alofanatos cuando existe un exceso de diisocianato. La reticulación física en los elastómeros de poliuretano se debe a los enlaces hidrógeno que se forman entre los grupos uretano [4].

Los PUs pueden presentarse en varias formas y se fabrican para que sean rígidos o flexibles según su uso. Actualmente, la materia prima más utilizada en la fabricación de PUs es el petróleo; aproximadamente el 5% del extraído a nivel mundial, está destinado a la producción de estos materiales [7]. Según la ASPO (Association for the study of Peak Oil), para el año 2050 la producción del petróleo se reducirá en un 50%, lo cual indica que los polímeros deberán desarrollarse próximamente con materias primas de fuentes renovables [8]. Por estas razones, diferentes centros investigativos, así como el grupo de investigación en polímeros (GIP) de la Universidad Industrial de Santander han venido desarrollando diferentes estudios acerca de esta problemática. Una de las principales alternativas para disminuir la dependencia de los polímeros hacia los hidrocarburos es utilizar recursos agroindustriales como el aceite de ricino, como fuente de materia prima para la producción de PUs, con el fin de fomentar el agro colombiano y al mismo

tiempo proporcionar a los PUs alto valor agregado, competitividad y generar un impacto positivo en el mercado actual de los mismos, ya que representan el 5% del consumo de los polímeros en todo el mundo (figura 3) y su dinámica de crecimiento anual gira alrededor del 6% [7].

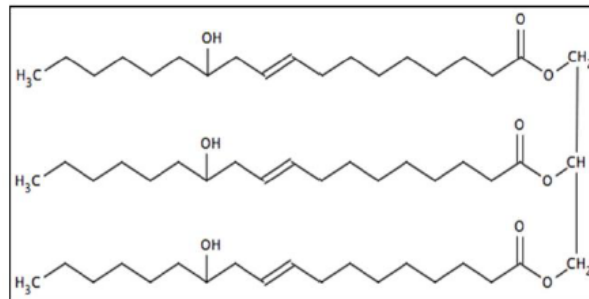
Figura 3. Jerarquización del petróleo a nivel mundial [33]



El aceite de ricino, higuierilla o de castor es un aceite poli funcional que proviene de las semillas de la planta Higuierilla (*Ricinus Communis L.*). Se caracteriza por ser un aceite natural, disponible comercialmente y de bajo costo, y dada su alta pureza no necesita tratamiento químico previo para su uso como polioli en la síntesis de PUs [9]. Además, es uno de los pocos aceites vegetales cuya composición se reduce casi a la de un solo componente: el 90% corresponde al triglicérido del ácido ricinoleico (figura 4) y debido a sus propiedades como laxante es una fuente tóxica e inadecuada para el consumo humano [10]. Actualmente existe en Colombia una demanda aproximada de 2 millones de toneladas de este aceite y aunque hay cultivos de esta planta en lugares como Antioquia, Santander, Meta y Tolima; debido a la inexistente producción del aceite de ricino a nivel nacional, en este trabajo de

grado se busca resaltar el potencial de la planta de Higuierilla y su capacidad de transformación en productos más elaborados como poliuretanos [11, 8].

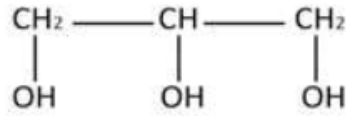
Figura 4. Estructura química del ácido ricinoleico. [4]



Los PUs sintetizados a partir de aceite de ricino presentan propiedades como bajo módulo de Young en comparación con los PUs obtenidos a partir de materias primas provenientes del petróleo. [12] Estas propiedades se atribuyen en gran medida a la funcionalidad y reactividad de los grupos estructurales; el índice de hidroxilo del aceite es bajo en comparación con la complejidad de la molécula, lo cual hace que se formen PUs con bajo grado de entrecruzamiento; sin embargo, es posible aumentarlo utilizando diversos alcoholes polihidroxílicos como el glicerol, ya que al poseer grupos hidroxilos terminales y cadenas carbonadas hiperramificadas, es llamativo como punto de partida para síntesis de estructuras más complejas [13].

El glicerol consiste básicamente en propanotriol, agua, e impurezas como residuos de catalizador, metanol y subproductos de formación de biodiesel. Su fórmula química es $C_3H_8O_3$, cuenta con tres grupos hidroxilo y tiene bajo peso molecular (figura 5) [4]. Actualmente existe una sobreproducción de aproximadamente 10%, motivo por el cual, se ha convertido en una materia prima potencial para la obtención de productos de mayor valor agregado como polímeros, acilglicéridos, carbonatos de glicerol, entre otros [14].

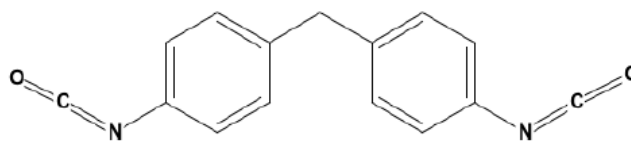
Figura 5. Estructura molecular del glicerol.



Respecto a la influencia de los reactivos en las propiedades de los PUs, investigaciones anteriores concluyen que los polioles (compuestos con grupos –OH) con cadenas carbonadas largas proporcionan segmentos suaves a la estructura del material, los extensores de cadena (compuestos de bajo peso molecular) como el glicerol y diisocianatos (compuestos con grupos -NCO) aportan segmentos rígidos a la estructura de los PUs [15]. En este trabajo de grado, se utilizó el glicerol como extensor de cadena.

Los diisocianatos son moléculas con grupos –NCO (figura 6) que al reaccionar con polioles dan lugar a la formación de PUs. Se clasifican en alifáticos y aromáticos, pero los más usados son los aromáticos como el diisocianato de tolueno (TDI) y el metildifenilisocianato (MDI), los cuales han sido ampliamente estudiados y utilizados para su producción. Los diisocianatos aromáticos son más reactivos que los alifáticos. Para la síntesis se utilizará el MDI debido su baja toxicidad y presión de vapor en comparación con el TDI [16, 4].

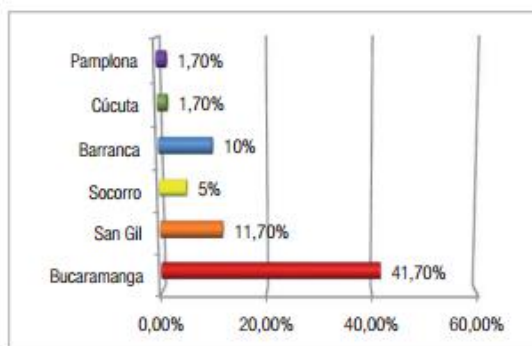
Figura 6. Estructura química del MDI [4]



Dada la diversidad de aplicaciones y propiedades de los PUs, este trabajo de grado busca resaltar la utilidad de estos materiales en el sector del calzado teniendo en cuenta que, en Colombia, la ciudad de Bucaramanga es reconocida por su alta participación en esta industria ocupando aproximadamente el 41,7% del mercado

(figura 7). Además, es una ciudad en donde se llevan a cabo actividades que promueven el desarrollo, empleo, crecimiento y bienestar social [17]. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en la capital Santandereana, este sector representa una de las principales fuentes de empleo; así lo señala también la Cámara de Comercio de la ciudad, pues aproximadamente el 27,3% de la población tiene trabajo gracias a la industria [18].

Figura 7. Mercado de las empresas de calzado en Santander [17]



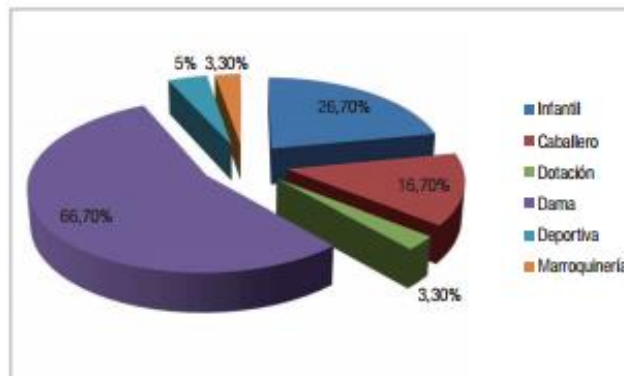
Wilson Gamboa Meza¹, asegura que “Casi cien mil familias dependen en el departamento de esta industria en su mayoría de micros, medianas y pequeñas empresas. La generación de trabajo es grande ya que por cada empleo directo se dan cerca de tres indirectos” [18].

La compra del calzado está sujeta a las variaciones de la moda y son las mujeres quienes encabezan la lista de principales clientes debido a la variedad de diseños, calidad, horma y precios atractivos. Adicionalmente, las líneas de producción de calzado en la ciudad de Bucaramanga dirigen el 66,70% de su fabricación al calzado femenino (figura 8). Según la Asociación Colombiana de Industriales del Calzado, el Cuero y sus Manufacturas (ACICAM), mientras el promedio mínimo de zapatos para una mujer son siete pares de todos los colores y estilos; para los hombres el

¹ Presidente de la Asociación de Industriales del Calzado y Similares de Santander, Asoinducals.

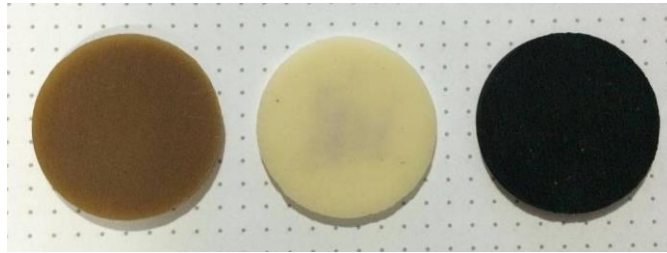
promedio está en solo dos pares [19, 17]. Según los datos suministrados por el DANE, en Santander, las mujeres ocupan un poco más de la mitad de la población con un 50,57%, mientras que los hombres hacen parte del 49,43% [20]. Por esta razón, este trabajo de grado se centrará en las mujeres teniendo en cuenta que son ellas quienes representan el mayor consumo del sector calzado en Santander.

Figura 8. Líneas de producción del calzado en Bucaramanga [17]



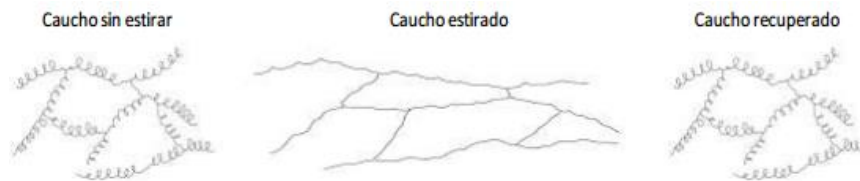
Existen otros factores que también son influyentes en los consumidores a la hora de comprar calzado: el grado de comodidad y protección para los pies al caminar. Por lo tanto, la suela de los zapatos al estar en contacto directo con el piso y proteger los pies amortiguando el impacto que el cuerpo recibe del suelo, se convierte en gran objeto de interés. Cada suela tiene características propias dependiendo del material con el que haya sido elaborada, que en su mayoría es de tipo polimérico. [21,22] En Bucaramanga los materiales comerciales de mayor distribución según el DANE son el caucho y algunos materiales plásticos dentro de los cuales se encuentran el policloruro de vinilo (PVC) y el estireno butadieno más conocido como Neolite (Anexo A). Cada uno de estos materiales pertenecen a la familia de los plásticos y se caracterizan por ser buenos aislantes térmicos, ligeros, soportar grandes esfuerzos sin fractura, ser resistentes a la corrosión, entre otros (figura 9) [23].

Figura 9. Materiales comerciales de suelas de calzado: caucho, PVC y neolite.



El caucho natural (NR) es un hidrocarburo de gran importancia que se extrae del látex contenido en la savia del árbol *Hevea Brasiliensis*. Es un elastómero amorfo formado por macromoléculas que poseen un ligero entrecruzamiento que le permite ser estirado muchas veces y recuperar su forma original sin sufrir deformaciones permanentes (figura 10) [24]. La estructura y composición química del caucho natural es la de un cis-1,4-poliisopreno y gracias a sus propiedades mecánicas resulta atractivo en entornos sometidos a fuertes desgastes, impactos o elementos abrasivos (anexo B) [25, 26]. Actualmente se fabrican miles de artículos de caucho como neumáticos, llantas, suelas de calzado, artículos impermeables, entre otros. [27]

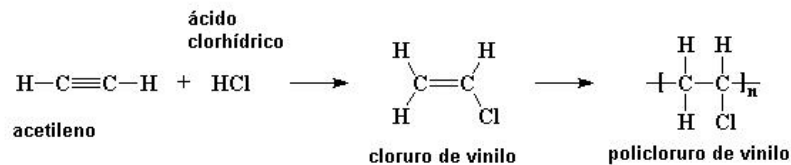
Figura 10. Entrecruzamiento molecular del caucho natural [24]



Los plásticos del PVC incluyen gran variedad de compuestos para moldeado con diversas propiedades y aplicaciones [28]. El monómero de cloruro de Vinilo, $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ fue sintetizado originalmente por Regnault en 1835 al hacer reaccionar acetileno con ácido clorhídrico produciendo un gas que mediante un proceso de polimerización se convierte en un polvo blanco, fino y químicamente inerte: la resina de PVC (figura 11) [29]. A partir de ella y su combinación con plastificantes,

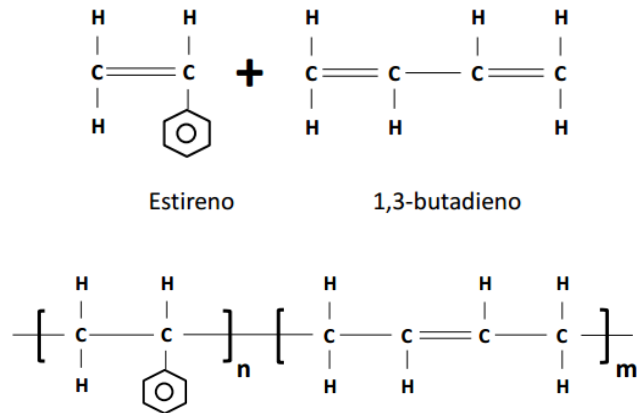
estabilizadores, relleno o carga, se pueden obtener productos rígidos o flexibles con características específicas según sea su uso (anexo C) [28]. El PVC flexible es un material termoplástico que bajo la acción del calor puede reblandecerse y moldearse con facilidad y al enfriarse, recuperar su consistencia inicial [30]. Se caracteriza por su impermeabilidad, facilidad de transformación, buena resistencia química y ambiental, alta tenacidad, buen costo/beneficio y comercialmente ocupa el tercer lugar de los plásticos más vendidos a escala mundial [28].

Figura 11. Reacción de formación de PVC [28]



El Neolite o caucho estireno butadieno (SBR) es un material sintético derivado del petróleo que originalmente fue desarrollado y comercializado por Goodyear Tire & Rubber Company. Es un copolímero del estireno y el 1,3 butadieno (figura 12) y también pertenece a la familia de los elastómeros. En 1953 Goodyear registró internacionalmente el neolite como un material de suelas y tacones compuesto por un elastómero y una resina [31]. Actualmente, los cauchos de estireno-butadieno constituyen el tipo de caucho sintético de mayor volumen de consumo y con alrededor del 60% de la producción total de cauchos sintéticos del mundo al ofrecer excelentes propiedades mecánicas, mayor resistencia a altas temperaturas o al envejecimiento, buena resistencia química, entre otras (anexo D) [32,31].

Figura 12. Composición del caucho estireno butadieno (SBR, Neolite).



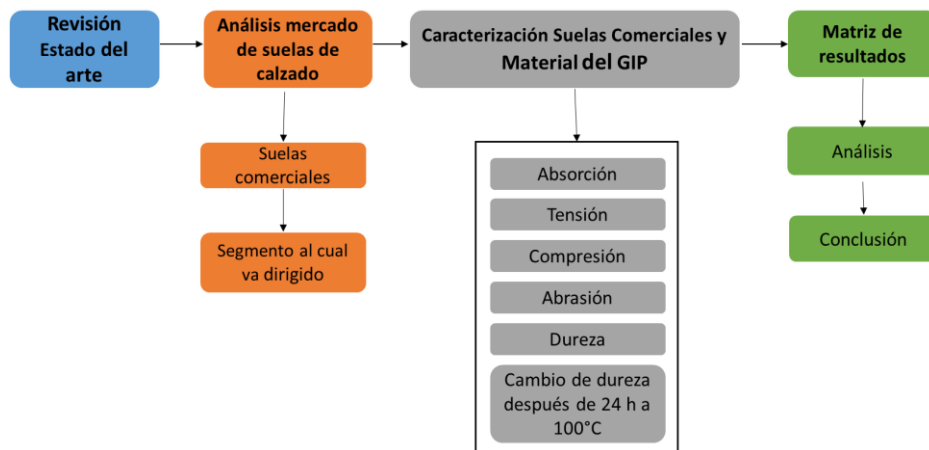
Fuente: SBR. Estireno butadieno. Erica S.L: Soluciones para aislamiento térmico y estanqueidad de fluidos. Barcelona. En línea. Disponible en: <<http://www.eric.es/web/sbr-butadieno-estireno/>>

Conocidas las principales características de los materiales comerciales de suela de calzado y teniendo en cuenta su dependencia hacia la industria de los hidrocarburos, el principal objetivo de este trabajo de grado es desarrollar un material de poliuretano a partir de recursos agroindustriales que pueda ser aplicado en el sector del calzado.

1. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

A partir de la base de datos del DANE acerca de las suelas comerciales y los requerimientos técnicos de la norma NTC 1082 para calzado, se realizó un análisis comparativo entre el poliuretano sintetizado por el GIP de relaciones molares 100:0, 70:30 y 60:40, y los materiales comerciales de suela de calzado. También se llevó a cabo la síntesis de PU con el fin de desarrollar las pruebas realizadas a las suelas comerciales. Finalmente, se obtuvo una matriz de resultados a partir de la cual se pudo determinar el uso de PU como suela de calzado.

Figura 13. Metodología global del trabajo de grado.



1.1 SÍNTESIS DE POLIURETANO

Para llevar a cabo la síntesis del poliuretano se revisaron diferentes trabajos de grado anteriormente desarrollados por el GIP y se seleccionaron tres relaciones molares: 100:0, 70:30 y 60:40.

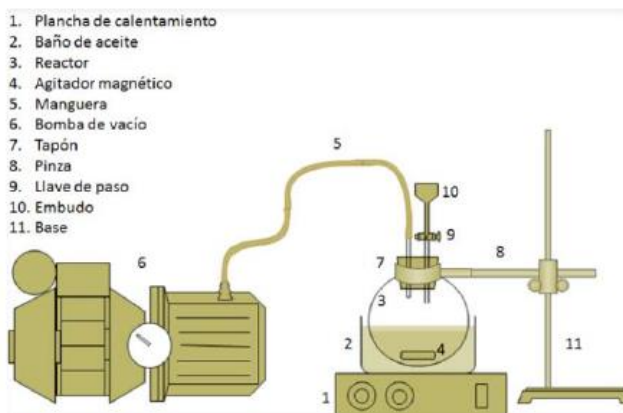
1.1.1 Materias Primas: glicerol al 85% v/v de Merck, aceite de ricino de grado comercial distribuido por Laboratorios León S.A, Metil-Difenil-Isocianato – MDI de Laboratorio Hunstman (anexo E)

1.1.2 Pretratamiento de materias primas: se rotoevaporaron el aceite de ricino y glicerol a 80°C, 80 RPM y 80mbar de vacío, bajo el tiempo preestablecido en el rotoevaporador (1 hora y 20 minutos), con el fin de eliminar el agua presente y evitar la formación de burbujas.

1.1.3 Protocolo de síntesis

- Se agregan el aceite de ricino y el glicerol al reactor dependiendo de la relación molar aceite:glicerol y se precalientan a 70°C durante 40 minutos, con agitación de 750 rpm y presión de vacío de 22 inHg (estas condiciones se mantienen constantes durante la reacción).
- Se adiciona el diisocianato al reactor y se deja reaccionar durante dos minutos.
- Se vierte el PU aún líquido en un molde de silicona y se lleva al horno de curado a una temperatura de 80°C.
- Para desmoldar, el proceso de curado debe ser de dos días.

Figura 14. Montaje experimental de síntesis de poliuretano [4]



1.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES COMERCIALES Y POLIURETANO SINTETIZADO

La caracterización de los materiales se realizó tomando como referencia la norma NTC 1082 para calzado (Anexo F). Cada material fue sometido a pruebas de dureza, análisis dinámico-mecánico (DMA), absorción, resistencia ante diferentes reactivos químicos y resistencia a la abrasión (tabla 1).

Tabla 1. Pruebas realizadas a los materiales comerciales y al PU sintetizado.

PRUEBA	ASTM	OBSERVACIÓN
ABSORCIÓN	D570-98	DETERMINAR PORCENTAJE DE ABSORCIÓN Y CAMBIO EN APARIENCIA (ACPM, GASOLINA Y AGUA)
ATAQUE QUIMICO	D543-95	DETERMINAR RESISTENCIA QUÍMICA (HCl Y NaCl)
DUREZA (SHORE D)	D2240-05	DETERMINAR LA DUREZA DE CADA MATERIAL
CAMBIO DE DUREZA LUEGO DE UN PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE 24 h, A 100°C ± 1°C	D573-04	EVALUAR EL CAMBIO DE DUREZA DESPUES DE 24 h DE EXPOSICIÓN A 100 °C
ABRASIÓN	D4060-14	PERDIDA DE PESO AL ENTRAR EN CONTACTO CON UNA SUPERFICIE RUGOSA DURANTE UN TIEMPO ESPECIFICO
PRUEBA DE TENSIÓN	D638-14	DETERMIINAR MODULO DE YOUNG, LIMITE ELÁSTICO, ÁREA BAJO LA CURVA EN LA ZONA ELÁSTICA
COMPRESIÓN	D395-16	DETERMINAR LA CAPACIDAD DEL MATERIAL PARA RETENER PROPIEDADES DESPUÉS DE LA ACCIÓN PROLONGADA DE ESFUERZOS DE COMPRESIÓN

1.2.1 Prueba de absorción: La prueba de absorción se realizó siguiendo la norma ASTM D-570 98 para determinar el porcentaje de incremento o pérdida de peso de los materiales y examinar cómo cambia su apariencia y textura cuando están expuestos a diferentes ambientes. Las muestras fueron sumergidas en 50 ml de agua destilada, ACPM y gasolina. La prueba tuvo una duración de 6 días.

1.2.2 Prueba de resistencia en reactivos químicos: La prueba de resistencia química se llevó a cabo bajo la norma ASTM D-543 95 con el fin de examinar cómo cambia la textura y apariencia de los materiales cuando están expuestos a reactivos químicos como ácidos y sales. También se determinó el porcentaje de incremento o pérdida de peso de los mismos. La prueba tuvo una duración de 6 días. Las muestras fueron sumergidas en 50 ml de ácido clorhídrico [HCl 10% v/v] y de cloruro de sodio [NaCl 10% p/v], para la cual se utilizaron 5 gramos de sal de cocina (Anexo G).

1.2.3 Prueba de dureza: La dureza es un método que mide resistencia de un material a ser rayado o penetrado por medio de un objeto duro bajo una fuerza estática; consiste en presionar una punta de diamante contra la superficie del material que se va a examinar: cuánto más penetre el indicador, más blando es el material y menor es su límite elástico [42]. La dureza se mide en 5 puntos de cada muestra utilizando un durómetro Shore D a temperatura ambiente; luego se llevan al horno a 100°C durante 24 horas y se realiza nuevamente la medición.

1.2.4 Prueba de abrasión: La prueba de abrasión se realizó con base en la norma ASTM D-4060 15. Para llevar a cabo este ensayo, se utilizó una lijadora de banda IGB 6*48 la cual giraba a una velocidad de 1700 rpm. El tamaño de poro de la lija fue de 120 con una longitud de 6*48 pulgadas. El tiempo de prueba fue aproximadamente de 10 segundos y cada una de las muestras soportó un peso de 1 Kg. (anexo G)

1.2.5 Análisis dinámico-mecánico (DMA): El equipo utilizado para realizar estas pruebas fue el TA Instruments DMA Q800 (Anexo I). Mediante las pruebas de tensión y compresión se determinaron las velocidades de deformación, módulos de Young, comportamiento elástico y/o plástico del material y la capacidad del mismo para deformarse y recuperarse después de aplicar una carga constante. El análisis de compresión se realizó mediante el método de Creep, aplicando un esfuerzo

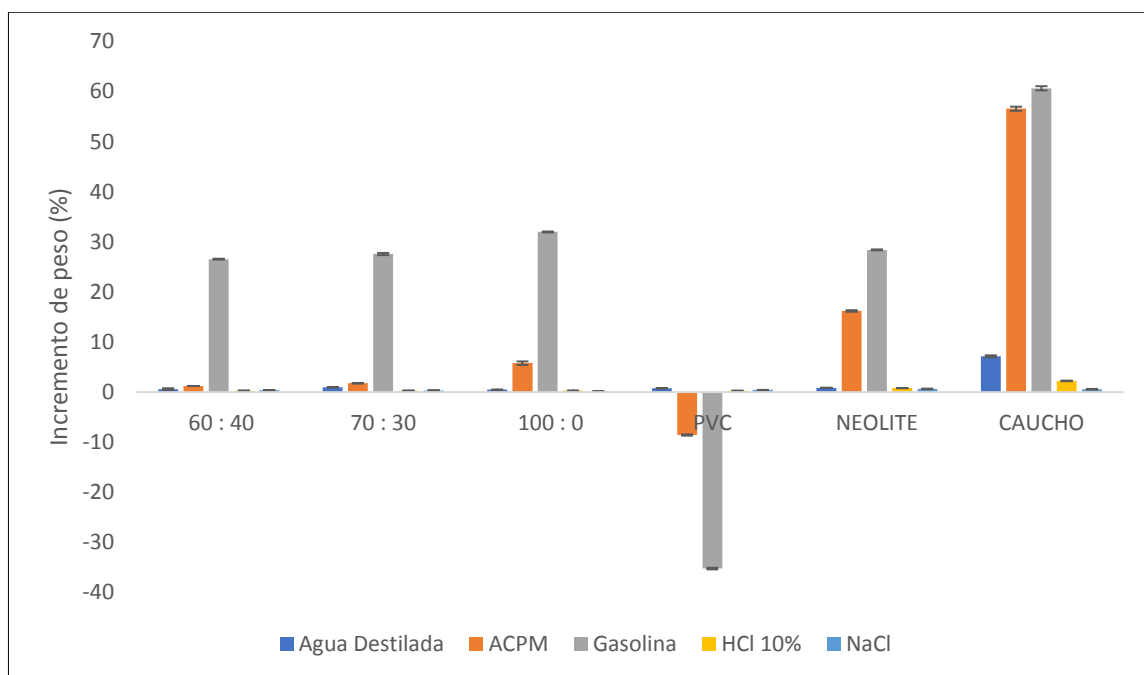
constante de 0,005 MPa, fuerza de precarga de 1N y temperatura constante de 30°C. El tiempo de estabilización fue de 5 minutos. La deformación y recuperación ante la carga fue de 15 y 6 minutos respectivamente. Estas condiciones se aplicaron a cada material. La prueba de tensión se realizó usando el modo DMA Strain Rate con un desplazamiento del 0,0100 % a temperatura constante de 35 °C. Estas condiciones se aplicaron a cada material.

2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

2.1 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

En la figura 16 se presentan los resultados de las pruebas de absorción (agua, gasolina y ACPM), y resistencia en reactivos químicos (HCl y NaCl al 10%) realizadas a los materiales comerciales y al poliuretano sintetizado.

Figura 15. Porcentaje de incremento y pérdida de peso por efecto de la absorción de diferentes solventes en cada material utilizado.



Se puede observar que en materiales como el caucho y el neolite, existe una alta absorción de gasolina y ACPM. Este porcentaje de absorción o hinchamiento se atribuye principalmente a que ambos materiales están formados por macromoléculas que poseen un ligero entrecruzamiento permitiendo así que estos

dos solventes se difundan con facilidad en el polímero. Adicionalmente, según lo reporta la bibliografía, la probabilidad de que ocurra un alto porcentaje de hinchamiento se debe también a la similitud entre la estructura química del solvente y la del polímero, en este caso, ambos materiales y solventes provienen de hidrocarburos [36]. En el caso del PVC, se observa que existe un deterioro o degradación del material que se debe principalmente a que este tipo de polímero no se encuentra entrecruzado y se disuelve fácilmente en solventes orgánicos como la gasolina y el ACPM. Según la literatura, el deterioro causado en los procesos de absorción es menor cuanto mayor sean el entrecruzamiento del polímero [37, 36]. En el caso de los PUs también se puede observar una alta absorción de solventes orgánicos. Según estudios previos realizados anteriormente por el GIP, este porcentaje de absorción se atribuye al tamaño de las moléculas de estos solventes, el cual es pequeño y logra penetrar las reticulaciones formadas en el PU y puede comprometer la integridad del material (anexo J) [4]. Por lo tanto, podría decirse que este material no sería apto para estar en contacto con ambientes en presencia de gasolina y ACPM. Para el agua y solventes inorgánicos como el ácido clorhídrico y cloruro de sodio, la absorción no es significativa en ninguno de los materiales trabajados, lo que afirma la resistencia de cada uno a la exposición ante ambientes húmedos, ácidos y salinos [23, 25, 32].

Con base en lo reportado en la literatura se realizó una adaptación en donde se muestran las compatibilidades químicas de los materiales utilizados y el efecto causado por los diferentes solventes (tabla 2).

Tabla 2. Efecto del solvente utilizado sobre el material.

Sin Efecto	<10%
Efecto Dudoso	10-20%
Efecto Moderado	20-40%
Efecto Severo	>40%

SOLVENTE	MATERIAL					
	60 : 40	70 : 30	100 : 0	PVC	NEOLITE	CAUCHO
Agua Destilada						
A.C.P.M						
Gasolina						
NaCl 10%						
HCl 10%						

Fuente: Tabla de resistencia química. Proindecsa: Proyectos y delegaciones, S.L. En línea. Disponible en: <<http://www.fluinort.cl/2013/wp-content/uploads/2015/04/TABLA-QUIMICA-GOMAS-Y-METALES.pdf>>

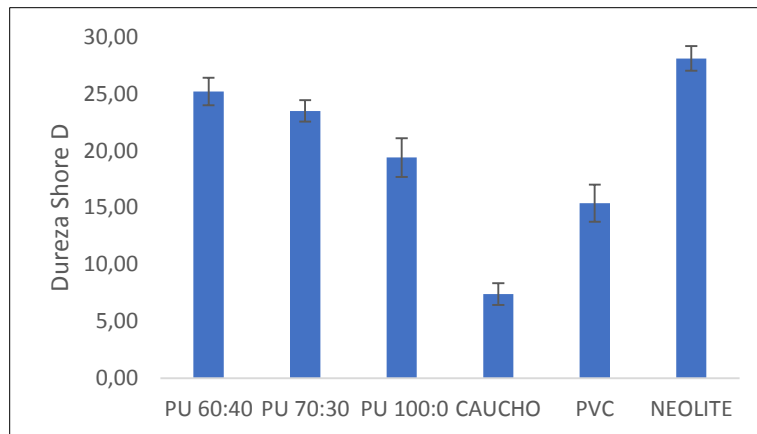
2.2 ANÁLISIS FÍSICO MECÁNICO

2.2.1 Dureza Shore D: la dureza de los materiales comerciales depende principalmente de los procesos de producción de los mismos. La dureza del PVC está sujeta a la cantidad de plastificante que haya sido añadida durante el proceso de fabricación [28]; entre más sea la cantidad de plastificante, más blando será el material y por lo tanto menor será la dureza. En la figura 16 se observa que el neolite presenta en comparación con los otros materiales el valor más alto de dureza; esto se debe principalmente al grado de entrecruzamiento en su estructura interna, lo cual lo hace ser un material duro. Por su parte, el caucho es de todos los materiales el más blando y según la literatura, entre más blando sea el material, más capacidad tendrá de absorber los impactos que el cuerpo recibe del suelo [38].

En el caso de los poliuretanos, los resultados obtenidos corresponden a lo reportado en la bibliografía: la dureza de los PUs con mayor contenido de glicerol es mayor que los sintetizados con alto porcentaje de aceite de ricino. Podría decirse que entre

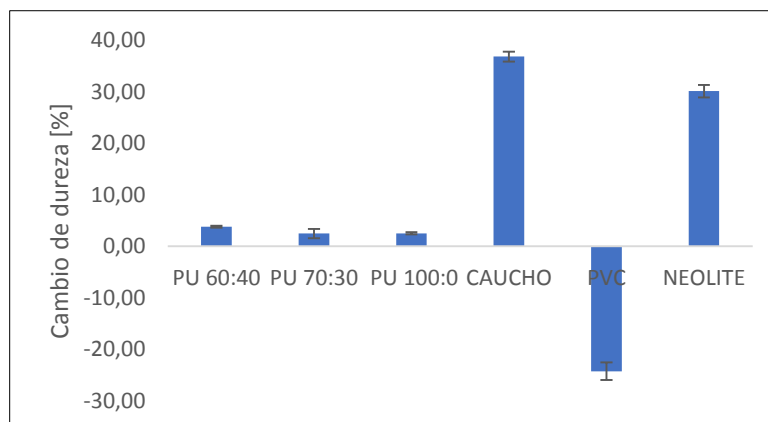
más contenido de glicerol tenga el PU, el grado de entrecruzamiento también será mayor, por lo tanto, se obtendrán materiales con alto valor de dureza [34].

Figura 16. Dureza de los materiales comerciales y PU sintetizado.



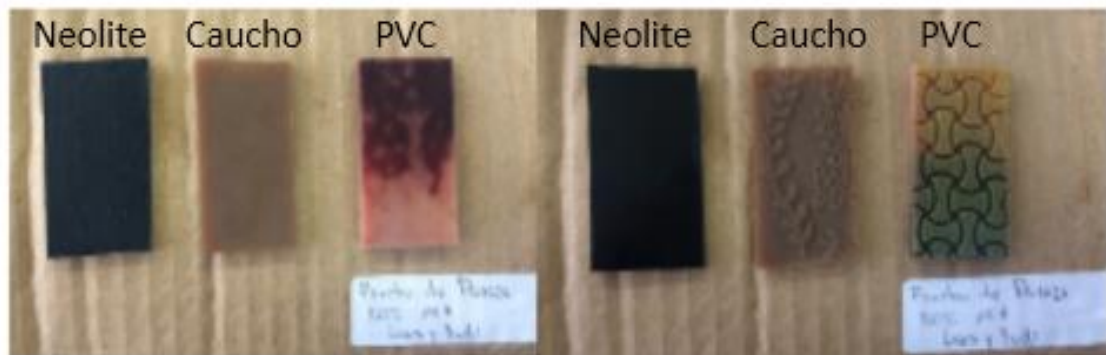
2.2.2 Cambio de dureza después de 24 horas a 100°C: en la figura 19 se presenta el porcentaje de cambio de la dureza de cada material después de la exposición a una temperatura de 100°C durante 24 horas. Esta prueba se realizó con el fin determinar el impacto que sufren los materiales al estar expuestos a altas temperaturas.

Figura 17. Porcentaje de cambio de dureza 24 horas después de la exposición de los materiales a una temperatura de 100°C.



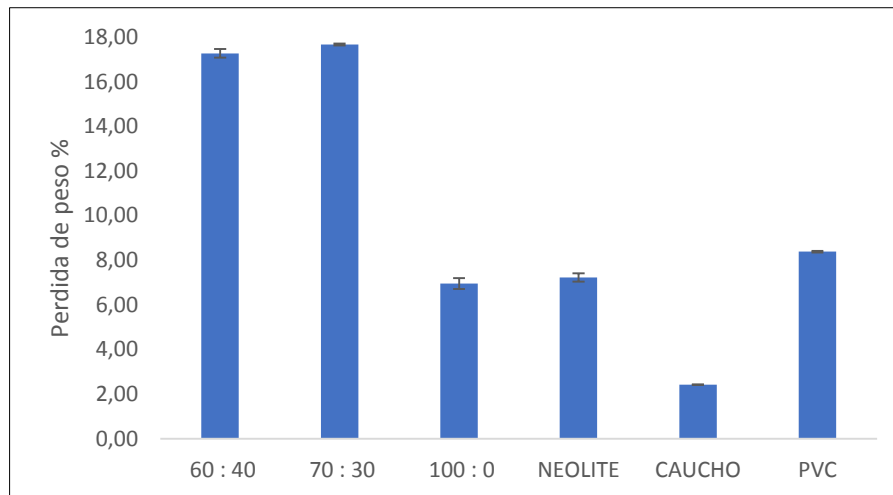
Los entrecruzamientos de elastómeros como el caucho y neolite mantienen unidas a las moléculas de tal manera que, al estar expuestos a altas temperaturas, estas moléculas no pueden deslizarse una respecto de la otra [24]. Esta es una de las principales razones por las que este tipo de materiales no se funde en presencia del calor, sino que por el contrario fortalece sus entrecruzamientos aumentando la dureza. Materiales termoplásticos como el PVC se caracterizan por ser polímeros que al calentarse se convierten en fluidos, permiten ser moldeados y una vez enfriados, adoptan la forma deseada [39]. Teniendo en cuenta que la máxima temperatura de trabajo del PVC flexible es de 50°C, podría decirse que, al estar expuesto a altas temperaturas, cambian sus propiedades físicas y por esta razón este material se vuelve más blando. La literatura reporta que a temperaturas superiores a 120°C el material tiene tendencia a fundirse [28]. En la figura 20 se observa el cambio en la apariencia del PVC y aunque no se fundió, probablemente el cambio de color a vino tinto y verde se debe al comportamiento del material antes de fundirse completamente. Por otra parte, el grado de impacto de la temperatura en los poliuretanos, en comparación con los materiales comerciales resulta despreciable.

Figura 18. Aspecto físico de los materiales después de estar expuestos a una temperatura de 100°C durante 24 horas.



2.2.3 Prueba de abrasión: En la figura 21 se presentan los resultados obtenidos de la prueba de abrasión realizada en la ciudad de Bucaramanga en Industrias Acuña Ltda. - Inal.

Figura 19. Porcentaje de pérdida de peso durante la prueba de abrasión.



Se puede observar que de los materiales comerciales el límite elástico más alto es el del PVC; este resultado puede verse en la tabla 1 del análisis de tensión. Esta propiedad de elasticidad hace que sea un material capaz de absorber más cantidad de energía; sin embargo, al ser un material termoplástico, el porcentaje de pérdida de peso es mayor debido a la temperatura que se genera por la fricción entre el material y la banda lija. Por otra parte, el caucho es el que presenta menor porcentaje de pérdida debido al ligero entrecruzamiento que existe en su estructura molecular y también a su capacidad para absorber energía, así como lo reporta la literatura, es un material adecuado para estar en contacto con superficies abrasivas [25,26]. En un valor intermedio de los materiales comerciales, se encuentra el Neolite, siendo un elastómero, a diferencia del caucho y el PVC es menos elástico y según el análisis de compresión, en la figura 24 presenta un porcentaje de recuperación de 77,34, que es el menor valor entre los materiales comerciales.

En cuanto a los poliuretanos, se observa que, de las tres relaciones seleccionadas, el que menor cantidad de peso pierde es el de 100:0. Con base en el análisis de compresión, en la figura 24 se observa que, de todos los materiales estudiados, este es el que presenta el mayor porcentaje de recuperación. Este resultado se debe a su característica elástica y ausencia de glicerol en su estructura interna.

Figura 20. Prueba de abrasión realizada a materiales comerciales y PU sintetizado.



2.2.4 Análisis dinámico-mecánico (DMA). En la figura 23 se presenta el comportamiento de los materiales comerciales después de realizar la prueba de tensión.

Figura 21. Curvas de esfuerzo Vs. deformación de los materiales comerciales.

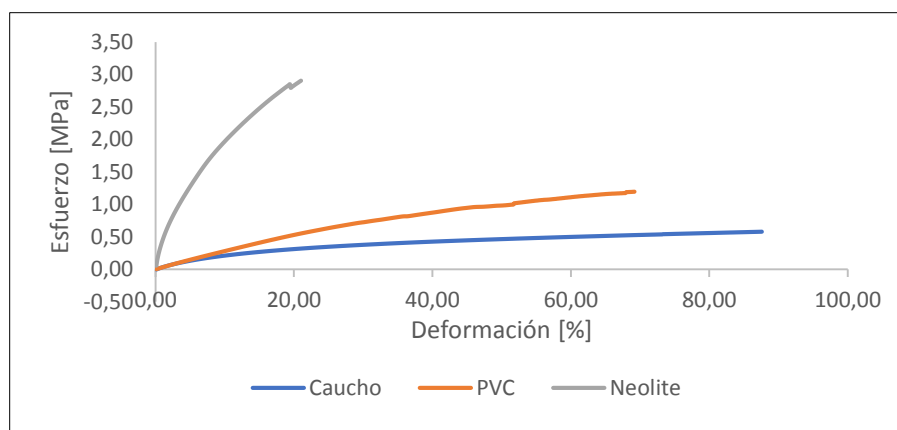


Tabla 3. Propiedades mecánicas de los materiales comerciales y PU sintetizado.

MATERIAL	Modulo de Young [MPa]	Esfuerzo en el Límite Elástico [MPa]	Deformación en el Límite Elástico [%]	Área Bajo la curva	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Deformación Máxima [%]
Caucho	4,15 ±0,21	0,017 ±0,003	0,567 ±0,118	0,005 ±0,002	0,55 ±0,03	77,25 ±9,26
PVC	3,08 ±0,19	0,080 ±0,000	2,703 ±0,171	0,108 ±0,007	1,11 ±0,13	62,89 ±9,69
NEOLITE	86,39 ±9,17	0,078 ±0,029	0,126 ±0,091	0,006 ±0,005	2,91 ±0,004	20,26 ±1,17
PU 100:0	3,20 ±0,075	0,125 ±0,007	4,210 ±0,212	6,235 ±0,064	0,52 ±0,014	21,970 ±0,113
PU 70:30	5,04 ±0,055	0,125 ±0,049	3,530 ±1,098	15,885 ±0,757	0,88 ±0,057	30,635 ±0,106
PU 60:40	10,98 ±2,44	0,155 ±0,025	2,490 ±0,749	40,555 ±32,096	1,675 ±0,530	38,045 ±18,180

En la tabla 3 se condensan los resultados del comportamiento de cada uno de los materiales comerciales ante la prueba de tensión. Se puede observar que, el neolite presenta la menor deformación en el límite elástico y por lo tanto el valor más alto del módulo de Young, presentando una fuerte resistencia del material a una extensión longitudinal [41, 12]. De esta manera, se infiere que el neolite es un material poco ergonómico y cómodo para su uso como suela de calzado.

En la tabla 1 también se reportan los datos suministrados por la estudiante de maestría Belkys Johana Polo Cambronell, quien actualmente pertenece al GIP y desarrolla un proyecto de investigación acerca de poliuretanos que tiene por título: “Síntesis, caracterización de composites de poliuretano usando como polioles aceite de higuera y glicerol, y evaluación de su uso como sello hidráulico”. De estos datos, es importante resaltar que el PU 100:0 es el que presenta la mayor deformación en el límite elástico, permitiendo una mayor elongación antes de cambiar sus propiedades a un material plástico. Por otra parte, el módulo de Young de este material se ubica entre los módulos del caucho y del PVC, los cuales son los materiales más ergonómicos y cómodos en el mercado de suelas de calzado. En la figura 22 se muestra el comportamiento de cada uno de los poliuretanos sintetizados después de realizar la prueba de tensión.

Figura 22. Curvas de esfuerzo Vs. deformación de los poliuretanos sintetizados.

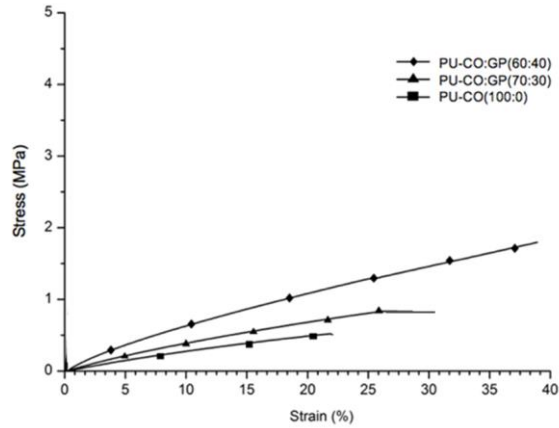
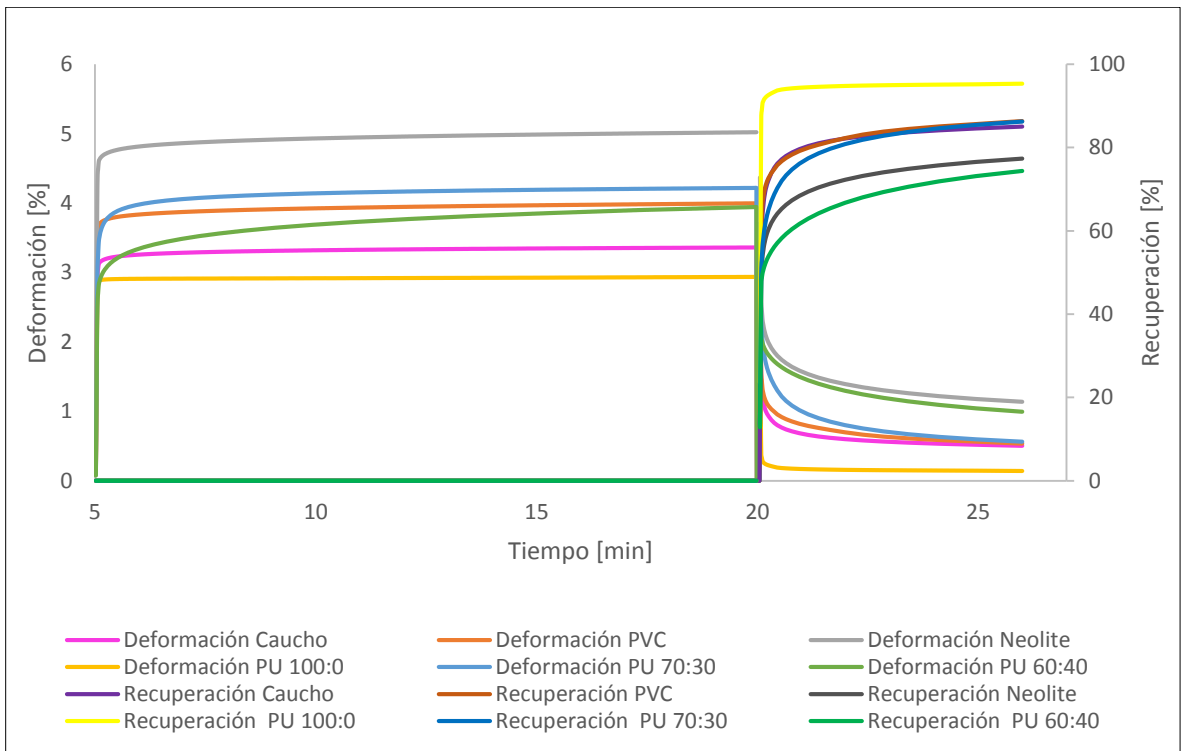


Figura 23. Curvas de deformación y recuperación Vs. tiempo de los materiales estudiados.



Los ensayos de compresión se relacionan con la capacidad que tiene cada material de recuperarse después de soportar esfuerzos constantes durante determinado

tiempo. Debido a que las moléculas del material tienden a desplazarse como respuesta al esfuerzo aplicado, también puede existir una reducción del volumen o deformación del material (fluencia irre recuperable) [42]. En la figura 23 se observa que el poliuretano de relación 100:0 es el que presenta el mejor comportamiento ante dichos esfuerzos mejorando esta característica frente a los materiales comerciales. Los porcentajes de deformación y fluencia irre recuperables de este material fueron los más bajos con valores de 2,94 y 0,14 respectivamente. Adicionalmente el porcentaje de recuperación fue de 95,33. Por lo tanto, es posible concluir que este poliuretano es un material apto para soportar impactos externos.

3. MATRIZ DE RESULTADOS

Tabla 4. Matriz de resultados.

PRUEBAS REALIZADAS	PROPIEDAD	SUELAS COMERCIALES				POLIURETANO			
		PVC	CAUCHO	NEOLITE	RANGO	60-40	70-30	100-0	RANGO
ABSORCIÓN GASOLINA	Incremento o pérdida de peso [%]	-35,22	60,65	28,38	-35,22 a 60,65	26,52	27,58	31,98	26,52 a 31,98
ABSORCIÓN A.C.P.M	Incremento o pérdida de peso [%]	-8,57	59,59	16,20	-8,57 a 59,59	1,22	1,76	5,80	1,22 a 5,80
ABSORCIÓN AGUA	Incremento o pérdida de peso [%]	0,76	7,16	0,84	0,76 a 7,16	0,59	0,95	0,49	0,49 a 0,95
ATAQUE QUIMICO HCl	Incremento o pérdida de peso [%]	0,27	0,82	2,21	0,27 a 2,21	0,28	0,28	0,31	0,28 a 0,31
ATAQUE SALINO NaCl	Incremento o pérdida de peso [%]	0,44	0,57	0,65	0,44 a 0,65	0,36	0,31	0,16	0,16 a 0,36
DUREZA (SHORED)	Dureza	15,40	7,40	28,10	7,40 a 28,10	25,20	23,50	19,40	19,40 a 25,20
CAMBIO DE DUREZA LUEGO DE UN PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE 24 h, A 100°C ± 1°C	Dureza	-24,22	36,81	30,10	-24,22 a 36,81	3,82	2,49	2,53	2,49 a 3,82
PRUEBA DE TENSIÓN	MODULO DE YOUNG [Mpa]	3,08	4,15	86,39	3,08 a 86,39	10,98	5,04	3,20	3,20 a 10,98
	Esfuerzo en el Limite Elástico [MPa]	0,08	0,02	0,08	0,02 a 0,08	0,16	0,13	0,13	0,16 a 0,13
	Deformación en el Limite Elástico [%]	2,70	0,57	0,13	0,13 a 2,70	2,49	3,53	4,21	2,49 a 4,21
	Área bajo la curva	0,11	0,01	0,01	0,01 a 0,11	40,56	15,89	6,24	6,24 a 40,56
	Esfuerzo Máximo [MPa]	1,11	0,55	2,91	0,55 a 1,11	1,68	0,88	0,52	0,52 a 1,68
	Deformación Máxima [%]	62,89	77,25	20,26	20,26 a 77,25	38,05	30,64	21,97	21,97 a 38,05
DENSIDAD REALTIVA		1,40	0,83-0,91	1,23-1,27	0,83 a 1,8	1,04	1,09	1,10	1,041-1,095
COMPRESIÓN	Deformación [%]	4,00	3,36	5,02	3,36 a 5,02	3,94	4,22	2,94	2,94 a 4,22
	Recuperación [%]	86,34	85,03	77,34	77,34 a 86,34	74,37	86,23	95,33	74,37-95,33
	Fluencia irreuperable [%]	0,53	0,50	1,14	0,50 a 1,14	0,99	0,56	0,14	0,14 a 0,99
ABRASIÓN	Pérdida de peso [%]	8,38	2,42	7,23	2,47 a 8,38	17,27	17,67	6,95	6,95 a 17,67

Dentro del rango	Mejoró	Fuera del rango
------------------	--------	-----------------

En la matriz de resultados se condensan los rangos obtenidos para cada uno de los materiales comerciales y PU sintetizado. De las tres relaciones molares seleccionadas, se puede observar que la relación de 100:0 es la que presenta en su gran mayoría, una mejora a las propiedades de los materiales comerciales.

4. CONCLUSIONES

Las pruebas realizadas durante la caracterización permitieron establecer el rango de trabajo de cada material comercial en los diferentes ambientes estudiados. De esta manera fue posible determinar la aplicabilidad del poliuretano sintetizado a partir de aceite de ricino y glicerol como suela de calzado.

Después de la exposición a 100°C durante 24 horas, los poliuretanos presentan un cambio de dureza inferior al 5%, representando una ventaja frente a los materiales comerciales, los cuales presentaron un cambio superior al 20%.

De las tres relaciones seleccionadas y trabajadas por el GIP, se encontró que la relación de poliuretano de 100:0 es la que logra mantenerse dentro de los rangos establecidos. Presenta los mejores porcentajes ante esfuerzos de compresión: deformación de 2,33, recuperación de 95,33 y fluencia irrecuperable de 0,14. Adicionalmente, frente a solventes aromáticos como el ACPM se comporta mejor que el neolite y el caucho y, frente a la gasolina, mejor que el caucho.

5. RECOMENDACIONES

Aumentar de manera moderada la proporción de glicerol en la relación de 100:0 para mejorar la propiedad del esfuerzo máximo.

Continuar con el estudio de factibilidad para analizar la viabilidad económica del poliuretano frente a los materiales comerciales de suelas de calzado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] JONES, David R.H y ASHBY, Michael F. Materiales para Ingeniería 1: Introducción a las propiedades, las aplicaciones y el diseño. Editorial Reverté. Barcelona. Pp 3.
- [2] ATEPA. Libro blanco del Poliuretano Proyectado 2012. Madrid. Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado.
- [3] BILLMEYER, Fred W. Ciencia de los Polímeros. Editorial Reverté. Pp. 3
- [4] IBAÑEZ, Paola y DELGADO, Leidy. Estudio de la influencia de la variación de la relación NCO:OH y el tipo de glicerol en las propiedades finales de poliuretanos sintetizados a partir de aceite de ricino y glicerol. Trabajo de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química 2015.
- [5] OCAMPO, Jhon. Criterios de formulación de espumas flexibles de poliuretano MDI basados en la evaluación cualitativa de propiedades finales realizadas a nivel laboratorio. Trabajo de grado. Bogotá D.C. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química 2012.
- [6] HANNA, D. and G.S. H. Polyurethanes, in Handbook of Thermoset Plastics (3rd Edition). Poland. 2014.
- [7] IONESCU, Mihail. Chemistry and technology of polyols for polyurethanes. Shrewsbury. Reino Unido: Rapra Technology, 2003. P. 586

[8] GIL, Angelica; JARAMILLO, Franklin y CRUZ, Luís. Poliuretanos degradables a partir de aceite de higuera. Scientia et Technica Año XIII, No 36, septiembre 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.

[9] GARCÍA, Aron y MACHADO, Leonardo. Evaluación del comportamiento físico-mecánico de un PU reforzado, producido a partir de aceite de ricino, y su competitividad técnica como material de aplicabilidad industrial. Trabajo de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química 2013.

[10] CAMEÁN, Ana M y REPETTO, Manuel. Importancia de la especiación de elementos en toxicología alimentaria. Colección: Monografías. Serie: Ciencias de los alimentos/nutrición. ISBN 978-84-9969-208-1.

[11] Higuera, alternativa de rentabilidad para los productores del país. Contexto Ganadero. Una lectura rural de la realidad colombiana. 04 de febrero 2016. En línea. Disponible en: <http://www.contextoganadero.com/regiones/higuera-alternativa-de-rentabilidad-para-los-productores-del-pais> (25 de mayo de 2017).

[12] CIFUENTES, Lorena y SEGURA, Leidy. Síntesis y caracterización de poliuretanos usando como poliols aceite de ricino, glicerol y poliglicerol. Trabajo de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. 2016

[13] FUENTES, Luis; PÉREZ, Saúl; MARTÍNEZ, Sergio y RAMÍREZ, Álvaro. Redes poliméricas interpenetradas de poliuretano a partir de aceite de ricino modificado y poliestireno: miscibilidad y propiedades mecánicas en función de la composición. Revista ION, vol. 24, núm. 2, 2011, pp. 45-50. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. En línea. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=342030283007> (30 de mayo de 2017).

[14] VELEZ, A y ROVETTO, L. Efecto del agregado de alcoholes sobre la precipitación de sales en el proceso de purificación del glicerol proveniente de la industria del biodiesel. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Argentina En línea. Disponible en: http://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=31405&congresos=yes&detalles=yes&congr_id=5537214_ (7 de junio de 2017)

[15] Tanzi, M.C., Extensor de cadena para la síntesis de polímeros heparinizables biocompatibles. Oficina española de patentes y marcas. 1998.

[16] DÍAZ, Edgar y MUÑOS, Oscar. Estudio de las variables de síntesis de poliuretanos a partir de aceite de ricino y glicerol. Trabajo de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. 2014.

[17] ORTEGA, Wilfren. Estructura y dinámica competitiva del sector calzado en Bucaramanga. Revista Nacional de Investigación - Memorias Volumen 9, Número 15 / enero-junio del 2011. En línea. Disponible en: <file:///D:/Downloads/150-303-1-SM.pdf> (9 de junio de 2017).

[18] ARIZA, Tatiana y GARCIA, Sandra. Soluciones a la problemática del sector calzado. En línea. Disponible en: <http://periodico.sena.edu.co/productividad/noticia.php?i=1069> (9 de junio de 2017)

[19] BEDOYA, Claudia. Conozca las preferencias de los colombianos en cuero y marroquinería. Agosto 01, 2012. Economía. En línea. Disponible en: <http://www.elpais.com.co/economia/conozca-las-preferencias-de-los-colombianos-en-cuero-y-marroquineria.html> (17 de abril de 2017)

[20] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). La población proyectada de Colombia. En línea. Disponible en: <http://www.dane.gov.co/reloj/> (18 de abril de 2017)

[21] FISCHETTI, Silvia. El calzado femenino y la salud. Consecuencias de su mala elección. Trabajo de grado. Argentina. Universidad de Palermo. Diseño de Indumentaria y Textil. Facultad de Diseño y Comunicación. 2010. Pp. 44-51.

[22] GARCÍA, Janneth y CIFUENTES, Andrés. Plan de mercadeo: Distrisuelas de Colombia S.A. Informe final de Investigación. Especialización en Gerencia de Mercadeo. Universidad EAN. Pp. 14-15.

[23] CORNISH, María Laura. ABC de los plásticos. Universidad Iberoamericana. Departamento de Diseño Industrial, Gráfico y Textil. México. 1997.

[24] JUÁREZ, David; BALART, Rafael, et al. Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos. Revista de Investigación. 13 de agosto de 2012. En línea. Disponible en: <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2012/08/2.clasificacion-elastomeros.pdf> (18 de junio de 2017)

[25] Caucho natural. Erica S.L: Soluciones para aislamiento térmico y estanqueidad de fluidos. Barcelona. En línea. Disponible en: <http://www.ERICA.es/web/caucho-natural/> (16 de junio de 2017)

[26] Goodyear. En línea. Disponible en: http://www.goodyear.cl/comp_info/did_you_know/natural_rubber.html (16 de junio de 2017)

- [27] REINA, Mónica. Los secretos del árbol de caucho. 1 de enero de 2016. En línea. Disponible en: <http://www.elcampesino.co/importancia-del-arbol-del-caucho/> (20 de junio de 2017)
- [28] RUBIN, I. Materiales plásticos, propiedades y aplicaciones. Editorial Limusa. 1998.
- [29] BILURBINA, Luis y LIESA, Francisco. Materiales no metálicos resistentes a la corrosión. Barcelona. 1990.
- [30] El PVC (policloruro de vinilo). [Anónimo]. Universidad Católica de Argentina. Facultad de Química e Ingeniería. Fray Rogelio Bacon. En línea. Disponible en: <https://estudiyensayo.files.wordpress.com/2008/11/pvc.pdf> (13 de junio de 2017)
- [31] DI PILLA, Steven. Slip and fall prevention: A practical handbook. Lewis Publisher. 2003.
- [32] SBR. Estireno butadieno. Erica S.L: Soluciones para aislamiento térmico y estanqueidad de fluidos. Barcelona. En línea. Disponible en: <http://www.eric.es/web/sbr-butadieno-estireno/> (20 de junio de 2017)
- [33] MESA, Darío. Introducción al estudio de materiales no metálicos. Universidad tecnológica de Pereira, 2003. P.12.
- [34] DÍAZ, Edgar y MUÑOZ, Oscar. Estudio de las variables de síntesis de poliuretano a partir de aceite de ricino y glicerol. Trabajo de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. 2014.

[35] Tabla de resistencia química. Proindecsa: Proyectos y delegaciones, S.L. En línea. Disponible en: <http://www.fluinort.cl/2013/wp-content/uploads/2015/04/TABLA-QUIMICA-GOMAS-Y-METALES.pdf> (3 de mayo de 2017)

[36] PELAÉZ, Guillermo. Selección y procesos de degradación de materiales de instalaciones de tratamiento y conducción de agua. Biblioteca de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. En línea. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4102/fichero/2.+MATERIALES+POLIM%C3%89RICOS.pdf> (2 de julio de 2017)

[37] BELTRÁN, M y MARCILLA A. Tecnología de polímeros. En línea. Disponible en: <http://iq.ua.es/TPO/Tema2.pdf> (2 de julio de 2017)

[38] LÓPEZ, Álvaro. Lesiones en el pádel: más vale prevenir que jugar. Punto rojo libros. 2011. Pp. 194-197.

[39] BESEDNJAK, Alejandro. Materiales compuestos: procesos de fabricación de embarcaciones. Ediciones UPC. 2005. Pp. 20-23. ISBN: 84-8301-820-9.

[40] Gomas Curicó. Distribuidores de productos de caucho y PVC. Chile. En línea. Disponible en: <http://gomascurico.cl/es/content/4-tipos-de-caucho-y-pvc> (04 de julio de 2017)

[41] NEWELL, James. Ciencia de materiales: aplicación en ingeniería. Primera edición. Alfaomega grupo editor S.A. México, 2011. Pp. 72-77

[42] MENARD, Kevin. Dynamic Mechanical Analysis: A practical Introduction. CRC Press. Taylor & Francis Group. ISBN: 978-1-4200-5312-8

BIBLIOGRAFÍA

ARIZA, Tatiana y GARCIA, Sandra. Soluciones a la problemática del sector calzado. En línea. Disponible en: <http://periodico.sena.edu.co/productividad/noticia.php?i=1069> (9 de junio de 2017)

ATEPA. Libro blanco del Poliuretano Proyectado 2012. Madrid. Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado.

BEDOYA, Claudia. Conozca las preferencias de los colombianos en cuero y marroquinería. Agosto 01, 2012. Economía. En línea. Disponible en: <http://www.elpais.com.co/economia/conozca-las-preferencias-de-los-colombianos-en-cuero-y-marroquineria.html> (17 de abril de 2017)

BELTRÁN, M y MARCILLA A. Tecnología de polímeros. En línea. Disponible en: <http://iq.ua.es/TPO/Tema2.pdf> (2 de julio de 2017)

BESEDNJAK, Alejandro. Materiales compuestos: procesos de fabricación de embarcaciones. Ediciones UPC. 2005. Pp. 20-23. ISBN: 84-8301-820-9.

BILLMEYER, Fred W. Ciencia de los Polímeros. Editorial Reverté. Pp. 3

CAMEÁN, Ana M y REPETTO, Manuel. Importancia de la especiación de elementos en toxicología alimentaria. Colección: Monografías. Serie: Ciencias de los alimentos/nutrición. ISBN 978-84-9969-208-1.

BILURBINA, Luis y LIESA, Francisco. Materiales no metálicos resistentes a la corrosión. Barcelona. 1990.

CIFUENTES, Lorena y SEGURA, Leidy. Síntesis y caracterización de poliuretanos usando como polioles aceite de ricino, glicerol y poliglicerol. Trabajo de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. 2016

CORNISH, María Laura. ABC de los plásticos. Universidad Iberoamericana. Departamento de Diseño Industrial, Gráfico y Textil. México. 1997.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (DANE). La población proyectada de Colombia. En línea. Disponible en: <http://www.dane.gov.co/reloj/> (18 de abril de 2017)

DÍAZ, Edgar y MUÑOS, Oscar. Estudio de las variables de síntesis de poliuretanos a partir de aceite de ricino y glicerol. Trabajo de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. 2014.

DI PILLA, Steven. Slip and fall prevention: A practical handbook. Lewis Publisher. 2003.

FISCHETTI, Silvia. El calzado femenino y la salud. Consecuencias de su mala elección. Trabajo de grado. Argentina. Universidad de Palermo. Diseño de Indumentaria y Textil. Facultad de Diseño y Comunicación. 2010. Pp. 44-51.

GARCÍA, Aron y MACHADO, Leonardo. Evaluación del comportamiento físico-mecánico de un PU reforzado, producido a partir de aceite de ricino, y su competitividad técnica como material de aplicabilidad industrial. Trabajo de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química 2013.

GARCÍA, Janneth y CIFUENTES, Andrés. Plan de mercadeo: Distrisuelas de Colombia S.A. Informe final de Investigación. Especialización en Gerencia de Mercadeo. Universidad EAN. Pp. 14-15.

GIL, Angelica; JARAMILLO, Franklin y CRUZ, Luís. Poliuretanos degradables a partir de aceite de higuera. Scientia et Technica Año XIII, No 36, septiembre 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.

HANNA, D. and G.S. H. Polyurethanes, in Handbook of Thermoset Plastics (3rd Edition). Poland. 2014.

IBAÑEZ, Paola y DELGADO, Leidy. Estudio de la influencia de la variación de la relación NCO:OH y el tipo de glicerol en las propiedades finales de poliuretanos sintetizados a partir de aceite de ricino y glicerol. Trabajo de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química 2015.

IONESCU, Mihail. Chemistry and technology of polyols for polyurethanes. Shrewsbury. Reino Unido: Rapra Technology, 2003. P. 586

JONES, David R.H y ASHBY, Michael F. Materiales para Ingeniería 1: Introducción a las propiedades, las aplicaciones y el diseño. Editorial Reverté. Barcelona. Pp 3.

JUÁREZ, David; BALART, Rafael, et al. Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos. Revista de Investigación. 13 de agosto de 2012. En línea. Disponible en: <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2012/08/2.clasificacion-elastomeros.pdf> (18 de junio de 2017)

LÓPEZ, Álvaro. Lesiones en el pádel: más vale prevenir que jugar. Punto rojo libros. 2011. Pp. 194-197.

MENARD, Kevin. Dynamic Mechanical Analysis: A practical Introduction. CRC Press. Taylor & Francis Group. ISBN: 978-1-4200-5312-8

MESA, Darío. Introducción al estudio de materiales no metálicos. Universidad tecnológica de Pereira, 2003. P.12.

NEWELL, James. Ciencia de materiales: aplicación en ingeniería. Primera edición. Alfaomega grupo editor S.A. México, 2011. Pp. 72-77

OCAMPO, Jhon. Criterios de formulación de espumas flexibles de poliuretano MDI basados en la evaluación cualitativa de propiedades finales realizadas a nivel laboratorio. Trabajo de grado. Bogotá D.C. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química 2012.

ORTEGA, Wilfren. Estructura y dinámica competitiva del sector calzado en Bucaramanga. Revista Nacional de Investigación - Memorias Volumen 9, Número 15 / enero-junio del 2011. En línea. Disponible en: <file:///D:/Downloads/150-303-1-SM.pdf> (9 de junio de 2017).

PELAÉZ, Guillermo. Selección y procesos de degradación de materiales de instalaciones de tratamiento y conducción de agua. Biblioteca de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. En línea. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4102/fichero/2.+MATERIALES+POLIM%C3%89RICOS.pdf> (2 de julio de 2017)

REINA, Mónica. Los secretos del árbol de caucho. 1 de enero de 2016. En línea. Disponible en: <http://www.elcampesino.co/importancia-del-arbol-del-caucho/> (20 de junio de 2017)

RUBIN, I. Materiales plásticos, propiedades y aplicaciones. Editorial Limusa. 1998.

SBR. Estireno butadieno. Erica S.L: Soluciones para aislamiento térmico y estanqueidad de fluidos. Barcelona. En línea. Disponible en: <http://www.eric.es/web/sbr-butadieno-estireno/> (20 de junio de 2017)

ANEXOS

Anexo A. Materiales comerciales de mayor distribución en Bucaramanga

Las figuras 25 y 26 reportan los datos suministrados por el DANE acerca de los materiales comerciales de suelas de calzado que más se distribuyen en Colombia.

Figura 24. Ventas anuales de suelas de calzado en Colombia.

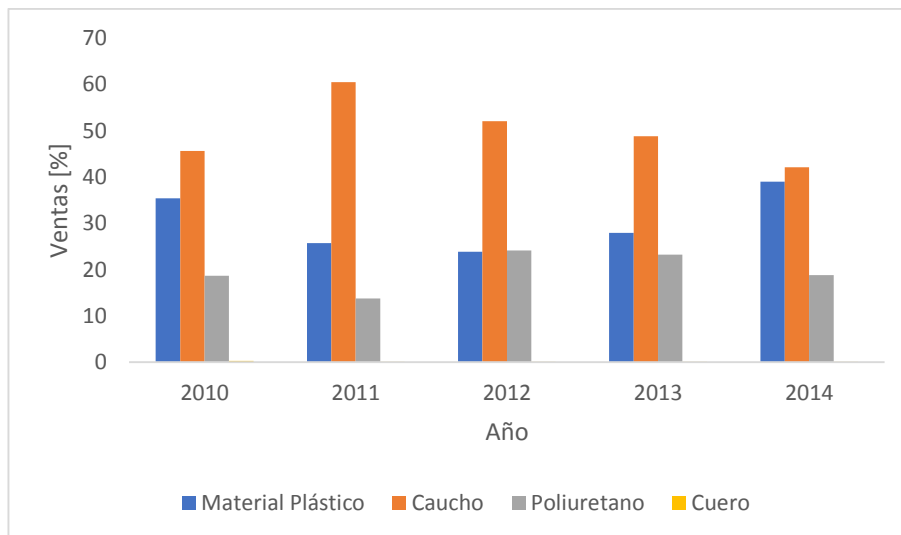
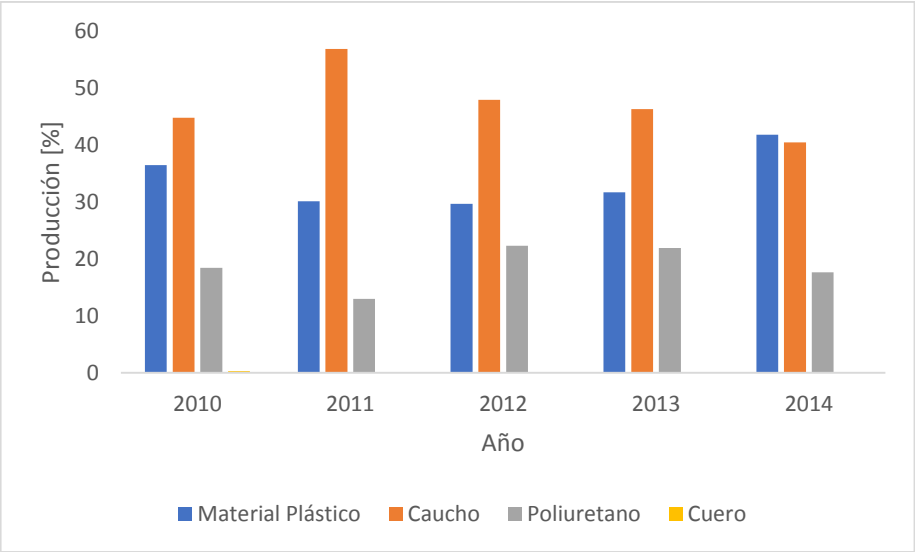


Figura 25. Producción anual de suelas de calzado en Colombia.



Anexo B. Ficha técnica del caucho natural.



Caucho NATURAL resistente a la abrasión CAUCHO - C50

Caucho Natural: Este material anti-abrasivo contiene un 95% de caucho natural, lo que le confiere grandes propiedades Anti-abrasivas y de resistencia al impacto. Puede tener niveles de dureza desde 50 hasta 85 Shore-A.

Propiedades principales:

- Excelentes propiedades Anti-abrasivas y anti-impacto.
- Gran resistencia química.
- Resistencia al envejecimiento.
- Alto coeficiente de elongación.
- Alta resistencia a la ruptura.

Productos especiales:

- Guarderas.
- Faldones de caucho.
- Planchas de caucho natural.
- Corazas para molinos.
- Placas sísmicas.
- Pasacables.
- Planchas aisladoras.



Formatos:

- Rollos.
- Planchas.
- Cortes especiales.

Aplicaciones Principales:

- Revestimiento de tuberías
- Revestimiento de chimeneas
- Revestimiento de tanques
- Hidrociclones
- Bombas
- Mangueras
- Revestimiento de válvulas
- Correas de transmisión

Av. Pedro de Valdivia #1215, of. 505 - Providencia- Santiago.
Tel: (56-2) 2402 9666 – ventas@cfhchile.cl

www.cfhchile.cl

Características técnicas

Codigo Producto: C50 Caucho prensado resistente abrasión

PROPIEDADES GENERALES	VALOR	NORMA
Peso específico	1,14 +/- 0,02 gr/cm ³	ASTM D-1817
Dureza	50 ^a ± Shore-A	ASTM D 1415
Polímero base	NR	ASTM D 1418
PROPIEDADES MECANICAS	VALOR	NORMA
Tensión de rotura	17 Mpa	ASTM D 412
Elongación %	600%	ASTM D 412
Modulo al 300%	60 Kg /cm ²	ASTM D 412
Adhesión goma-metal	20 Mpa	ASTM D 429 E
Resistencia a la abrasión	140 mm ³	DIN 53516
PROPIEDADES QUIMICAS	VALOR	NORMA
Soluciones Alcalinas Diluidas	Bueno	ASTM D 471
Soluciones Alcalinas media concentrada	Regular	ASTM D 471
Soluciones Acidas diluidas	Excelente	ASTM D 471
Soluciones Acidas media concentrada	Regular	ASTM D 471
Hidrocarburos Asfálticos	No recomendado	ASTM D 471
Hidrocarburos aromáticos	No recomendado	ASTM D 471
Hidrocarburos Clorados	No recomendado	ASTM D 471
Alcoholes	Bueno	ASTM D 471
Cetonas	Regular	ASTM D 471
Combustibles	No recomendado	ASTM D 471
Lubricantes sintéticos DIESTER	No recomendado	ASTM D 471
Lubricantes bajo punto Anilina	No recomendado	ASTM D 471
Lubricantes alto punto Anilina	No recomendado	ASTM D 471
Agua / Vapor	Excelente / Regular	ASTM D 471

Anexo C. Ficha técnica del PVC.



NOVAPLAST S.A.
NIT. 860.069.174-0
BOGOTÁ D.C. COLOMBIA

FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO

INFORMACIÓN COMERCIAL DEL PRODUCTO			
PRODUCTO	Compuesto de Cloruro Polivinilo PVC Flexible	NÚMERO CONSECUTIVO	554
REFERENCIA	70/08CR	PRESENTACIÓN	Pellets cilíndricos de 3 mm de diámetro.
DESCRIPCIÓN	PVC D70 Goma Inyección Crepe Económico	EMPAQUE Y EMBALAJE	Bolsas de Polietileno X 25 Kg

El Compuesto de PVC de Referencia 70/08CR Dureza Shore A 70 es una combinación diseñada para cumplir con los estándares de desempeño de suelas inyectadas para calzado. Debido a su formulación, cuenta con excelentes propiedades de resistencia al desgaste, a la flexión y a los elementos ambientales. También es destacable su desempeño dentro de equipos y moldes.

Es utilizado principalmente en la elaboración de suelas inyectadas para calzado de uso diario, el cual debe ser resistente a las inclemencias del clima y al desgaste normal debido a su uso frecuente. No es apropiado para la fabricación de suelas para calzado de seguridad.

INFORMACIÓN TÉCNICA DEL PRODUCTO ¹		
PROPIEDAD	VALOR	MÉTODO DE ANÁLISIS
DUREZA	70 Shore A \pm 2	ASTM D2240
COLOR	Goma Crepe	Visual
DENSIDAD	1.30 ± 0.03 g/cm ³	NTC 907
PERDIDA POR ABRASIÓN	260 ± 30 mm ³	ASTM D5963 NTC 4811
ELONGACIÓN DE ROTURA	Aproximadamente 230%	ASTM D1456
TENSIÓN DE ROTURA	Aproximadamente 13 MPa	ASTM D412
FLAMABILIDAD	Se autoextingue antes de 25 segundos	
TEMP. DE PROCESAMIENTO	El perfil de temperaturas debe estar entre 140°C y 160°C	Temp. estandarizada por el Depto. de Control de Calidad, Novaplast SA

COMPATIBILIDAD QUÍMICA:

- El compuesto es estable frente a: agua jabonosa, aceites minerales y vegetales. Es inestable frente a hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, éteres, ésteres, bencina y carburantes.

NOTAS Y ADVERTENCIAS:

- Las propiedades del producto fueron medidas en un plazo máximo de 72 horas después de inyectada o extruida la pieza. Tiempos diferentes pueden afectar los valores reportados en la ficha técnica.

¹ La información suministrada en el presente documento proviene de la caracterización y utilización del producto bajo condiciones específicas y se dan de buena fé. De ninguna manera, este documento representa una garantía del desempeño del producto ya que las condiciones de utilización del mismo están fuera del control de Novaplast S.A. Recomendamos que el usuario siga las instrucciones y recomendaciones dadas por Novaplast S.A y que realice ensayos piloto antes de utilizar el producto a escala industrial.

Anexo D. Ficha técnica del neolite.



FICHA TÉCNICA

SBR – CAUCHO

R608 – Plancha de Caucho

Características Técnicas

Color			Negro
Peso Especifico		1,49	g/cm ³
Dureza de indentación	ASTM D2240	65	Shore A
Dureza internacional	ASTM D1515		IRHD
Carga de Rotura	ASTM D412	4,0	Mpa
Alargamiento a la Rotura	ASTM D412	200	%
Desgarro	ASTM D624 Die C	12	N/mm
Resistencia a la Abrasión	DIN ISO 4649 (10N)	480	mm ³
Temperatura de Trabajo		-25/70	°C
Envejecimiento por aire caliente (70 h x 70°C)	ASTM D573		
	Inc. Alargamiento	-40	%
	Inc. Carga de rotura	-20	%
	Inc. Dureza	10	SHORE A
Deformación Remanente (22h x 70°C)	ASTM D395 M.B	35	% Def. Máx.
Resistencia Química			
	Ozono		Moderada
	Ácidos y Álcalis diluidos		Moderada
	Ácidos y Álcalis concentrados		No Recomendada
	Hidrocarburos, aceites y grasas		No Recomendada
	Disolventes Orgánicos		No Recomendada

Anexo E. Propiedades fisicoquímicas de los reactivos.

Tabla 5. Propiedades fisicoquímicas del aceite de ricino.

Aceite de Ricino (Laboratorios León) Grado USP

Índice de hidroxilo [mg KOH/g]	160
Índice de acidez [mg KOH/g]	2,33
Densidad a 23°C [g/cm ³]	0,815
Punto de inflamación [°C]	255-300
Solubilidad en agua	Insoluble

Tabla 6. Propiedades fisicoquímicas del glicerol.

Glicerol al 85% v/v (Merck)

Concentración [% v/v]	85
Índice de hidroxilo [mg KOH/g]	1815
Densidad [kg/m ³]	1130

Tabla 7. Propiedades fisicoquímicas del MDI.

Rubinate 5005 MDI (Laboratorios HUNSTMAN)

Funcionalidad aprox.	2,7
Peso equivalente de isocianato	133
Peso molecular promedio [g/mol]	340
Contenido NCO (%)	30,2-31,5
Acidez [ppm HCl]	50-250
Viscosidad (25°C) cPs	170-250
Gravedad Especifica (25°C)	1,23
Punto de inflamación [°C]	218
Presión de vapor a 25 °C [mmHg]	1,00E-04

Anexo F. Norma NTC 1082 para calzado.

Tabla 8. Requisitos y ensayos para suelas de calzado de calle, deportivo e industrial.

REQUISITO	CALZADO DE CALLE	DEPORTIVO							CALZADO INDUSTRIAL Y DE SEGURIDAD		
		FUTBOL	BALONCESTO	VOLEIBOL	TENIS	MICROFUTBOL	TROTE	DEPORTIVO-RECREATIVO	USO COMUN	INDUSTRIA PETROLERA	
DENSIDAD REALTIVA, MAX	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,4	1,25	1,25
DUREZA (SHORE A), MIN.	85	75	50	50	50	75	50	50	50	75	70
INDICE DE ABRASION, EN PORCENTAJE MÍN.	90	100	120	120	110	100	120	80	100	100	150
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (MATTIA) EN K CICLOS PARA PROPAGACIÓN HASTA LOS 2/3 DEL ANCHO TOTAL DE LA PROBETA DE ENSAYO, MINIMO	80	100	200	200	200	120	200	50	80	80	25
CAMBIO DE DUREZA LUEGO DE UN PERIODO DE ENVEJECIMINETO DE 24 H, A 100°C ± 1°C	(+5) (-0)	(+5) (-0)	(+5) (-0)	(+5) (-0)	(+5) (-0)	(+5) (-0)	(+5) (-0)	(+5) (-0)	(+8) (-0)	(+5) (-0)	(+5) (-0)
DEFORMACIÓN POR COMPRESIÓN, PORCENTAJE MAX. A 22H 100°C	35	25	25	25	25	25	25	25	25	35	25
RESISTENCIA AL DESGARRE, MIN. EN KG/M	5000	5000	4464	3570	3928	5000	3570	2678	3928	3928	5357
ENVEJECIMIENTO EN COMBUSTIBLRE B46 H A TEMPERATURA AMBIENTE, CAMBIO EN VOLUMEN, MAX.											20%

Anexo G. Prueba de abrasión.

Figura 26. Lijadora de banda utilizada.



Industrias Gordillo Barreto Ltda.

Maquinaria para Madera. Bogotá-Colombia

Máquina: IGB 6*48

Número: 180

Serie: 13110

Motor: 1HP

Figura 27. Peso utilizado para sujetar los materiales (1Kg).



Figura 28. Soporte utilizado para sujetar la masa de 1Kg.



Figura 29. Materiales comerciales sometidos a la prueba de abrasión.



Figura 30. Poliuretanos sometidos a la prueba de abrasión.



Anexo H. Cálculo del incremento o pérdida de peso.

El porcentaje de aumento o pérdida de peso utilizado en las pruebas de absorción, resistencia química y abrasión fue calculado de la siguiente manera:

$$\% \text{ de aumento o pérdida de peso} = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Peso inicial}} * 100$$

Anexo I. TA Instruments DMA Q800.

El Q800 es el DMA que más se vende en todo el mundo. Emplea tecnología de empuje lineal sin contacto avanzada para brindar un control preciso del esfuerzo y cojinetes de aire compatibles con baja fricción. El esfuerzo se mide con tecnología de codificación óptica que brinda resolución y sensibilidad sin iguales. Con su diseño único, el Q800 supera fácilmente a los instrumentos más competitivos y es ideal para aplicaciones de alta rigidez, entre ellas, compuestos.

Figura 31. DMA Q800.



Mide las propiedades mecánicas de los materiales como una función de tiempo, temperatura y frecuencia. El instrumento de análisis mecánico dinámico (DMA, Dynamic Mechanical Analyzer) Q800 incorpora tecnología exclusiva para ofrecer máximo rendimiento, versatilidad y facilidad de uso. La tecnología de motor de transmisión lineal y sin contacto de última generación en el DMA proporciona un control preciso de la tensión. La tecnología de codificador óptico ultrasensible se utiliza para medir la deformación y la tecnología de cojinetes de aire garantiza un movimiento prácticamente sin fricción. El DMA Q800 funciona en un amplio intervalo

de temperatura (de -150 °C a 600 °C) y ofrece varios modos de deformación. Las abrazaderas se calibran por separado para la exactitud de los datos, y el diseño simple pero elegante facilita el montaje de las muestras.

Tabla 9. Especificaciones técnicas del DMA Q800.

Fuerza máxima	18 N
Fuerza mínima	0.0001 N
Resolución de la fuerza	0.00001 N
Resolución de deformación	1 nanómetro
Rango del módulo	De 103 a 3 x 10 ¹² Pa
Precisión del módulo	± 1%
Sensibilidad Tan A	0.0001
Resolución Tan A	0.00001
Rango de frecuencia	De 0,01 a 200 Hz
Rango de deformación dinámica de la muestra	± de 0,5 a 10.000 pm
Rango de temperatura	de -150 °C a 600 °C
Velocidad de calentamiento	de 0,1 a 20 °C/min
Velocidad de enfriamiento	de 0,1 a 10 °C/min
Estabilidad isotérmica	± 0,1 °C
Superposición tiempo/temperatura	Sí

Anexo J. Prueba de absorción en gasolina.

Figura 32. Comportamiento de los PU ante la absorción de gasolina.

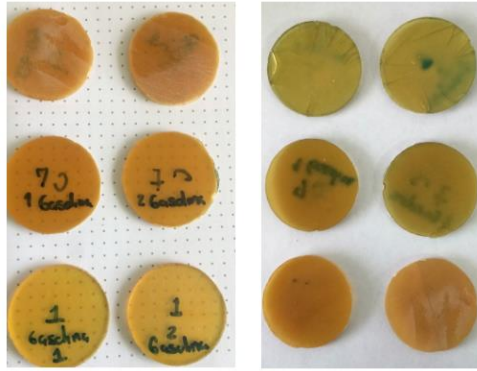


Figura 33. Comportamiento del neolite ante la absorción de gasolina.

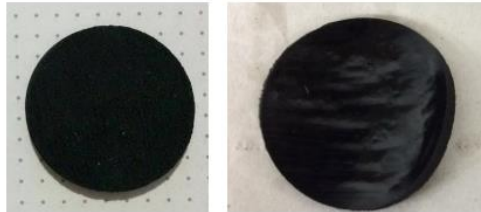


Figura 34. Comportamiento del caucho ante la absorción de gasolina.



Figura 35. Comportamiento del PVC ante la absorción de gasolina.

