

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana</p>	<p>PRESENTACIÓN INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	<p>VICERRECTORIA ACADÉMICA FO-IP-007</p>
--	--	---

**Modificación superficial de lonas comerciales con un recubrimiento de NBR
para bandas transportadoras**

Darío José Ramos Cuartas



**Universidad Pontificia Bolivariana
Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Facultad de Ingeniería Mecánica**

Montería

2021

**Modificación superficial de lonas comerciales con un recubrimiento de NBR
para bandas transportadoras**

Darío José Ramos Cuartas

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesor;

Javier Ricardo Sánchez Castillo

Ingeniero Metalúrgico

**Universidad Pontificia Bolivariana
Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Facultad de Ingeniería Mecánica**

Montería

2021

27/04/2021

Darío José Ramos Cuartas

“Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado para optar a un título, ya sea en igual forma o variaciones, en esta o en otra universidad” (Art.82.Acuerdo No.116 CD- de Mayo 26 de 2000).

Firma del autor

Darío Ramos Cuartas
1233343854

DEDICATORIAS

Dedico este proyecto de tesis a mis padres quienes me apoyaron en todo momento en el transcurso de la carrera.

A mi director Javier Sánchez por confiar y creer en este proyecto.

A mi hermana quien estuvo siempre buscando la manera de que pudiera estudiar y elaborar mis proyectos de cualquier forma.

A mis compañeros de estudio James, Ronaldo, Julio, Néider y María Fernanda por fomentar a estudiar y aprender cada tema superando las diferencias.

A cada uno de los profesores de la facultad por tomar el tiempo de explicar cada tema.

ÍNDICE:

INFORMACION GENERAL	¡Error! Marcador no definido.
PORTADA:.....	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE:	5
RESUMEN:.....	6
ABSTRACT:.....	7
INTRODUCCIÓN:.....	8
OBJETIVOS:.....	16
METODOLOGÍA.....	26
DESARROLLO Y RESULTADOS	32
CONCLUSIÓN	38
BIBLIOGRAFÍA	39

RESUMEN:

En la minería se implementan distintas formas de transportar los materiales, una de esas formas son las bandas transportadoras, las cuales pueden ser utilizadas en diferentes distancias, inclinaciones, o en contacto con sustancias. Sin embargo, el costo de la banda depende directamente de los requerimientos en servicio, siendo las más costosas, las bandas expuestas a sustancias químicamente abrasivas, aceites y sometidas a altas temperaturas.

Exactamente lo que buscamos con este proyecto es disminuir los gastos en bandas enfocadas en esas características, entonces se busca funcionalizar una banda común a una banda que tenga esas características, a través de una modificación realizada.

Para la modificación en la banda transportadora, se usará goma de nitrilo butadieno (NBR). Viendo los efectos y modificaciones que ganará dicha banda, como también los distintos compuestos usados y el proceso realizado para modificar la banda estará reflejado en el costo de la modificación de la banda.

ABSTRACT:

In mining, different ways of transporting materials are implemented, one of those ways is conveyor belts, which can be used at different distances, inclinations, or in contact with substances. However, the cost of the belt depends directly on the requirements in service, the most expensive being the belts exposed to chemically abrasive substances, oils and subjected to high temperatures.

Exactly what we are looking for with this project is to reduce expenses in bands focused on those characteristics, then we seek to functionalize a common band to a band that has those characteristics, through a modification made.

For the modification on the conveyor belt, nitrile butadiene rubber (NBR) will be used. Seeing the effects and modifications that said band will gain, as well as the different compounds used and the process carried out to modify the band will be reflected in the cost of the band modification.

1. INTRODUCCIÓN:

Uno de los medios de transporte de materiales más populares en la minería son las bandas transportadoras, estas se utilizan para trayectos variados y distintos grados de inclinación. Estas bandas pueden tener un costo elevado en el mercado, ya que, estas son tipo especial por estar en contacto con distintas sustancias que pueden ser químicamente abrasivas, aceites que deterioren sus funciones y ambientes expuestos con alta temperatura.

La minería tradicional en Colombia, data desde hace más de cinco siglos, inició con los aborígenes y españoles que la realizaban con los esclavos importados de África, pero hasta finales del siglo veinte apenas aparece la gran Minería en Colombia, en el Cerrejón con la explotación del carbón, y Cerro Matoso con el ferróniquel, pero las explotaciones auríferas en Córdoba y el bajo Cauca siguen siendo en su gran mayoría de minería tradicional de pequeña escala, produciendo aproximadamente un setenta por ciento (70%) del oro a nivel nacional, llegando a cifras de cincuenta toneladas en el año 2010, Minería que en su gran mayoría sigue siendo muy artesanal e informal.

En Colombia según Sistema de Inteligencia Comercial de Legiscomex.com en 2015. Las bandas transportadoras son el 1,7 % de productos derivados de caucho que se exportan exportadas en 1.76% en comparación con los otros elementos derivados del caucho (correas, artículos para vestir, neumáticos, etc.). Como también se presentó el incremento del precio de 2014 (209.541 USD) a 2015 (445.136 USD) con una variación del 112,4% (Legiscomex.com, 2016).

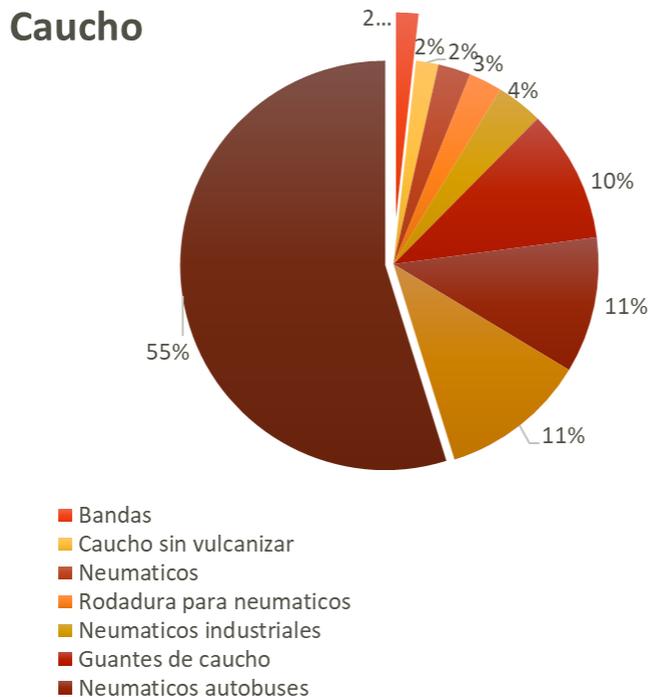


Figura 1. Gráfico de exportación de caucho en Colombia. Legiscomex.com

Los principales productores de caucho en Colombia están ubicados en Cali, con un 45.09% del caucho exportado en Colombia. Como también Estados Unidos es el país más beneficiado con la exportación de caucho colombiano con un 50.67% en comparación con otros países.

En Colombia muchas empresas que pertenecen a la industria minera hacen uso de este tipo de bandas transportadoras, enfocado a la zona del bajo Cauca y Córdoba, se tienen algunos reportes internos de una de las empresas ubicadas en este sector (Mineros de Antioquia), este reporte fue revisado en el año 2017. Como también información detallada sobre las otras empresas de la zona.

Las empresas son mineros de Antioquia, AngloGold Ashanti Colombia S.A., abarcan casi un 50% del oro de las regiones de Antioquia y Córdoba, lo que equivale a un domino homogéneo del sector, siendo estas empresas los principales compradores de las bandas trasportadoras junto a Cerro Matoso S.A.,

pero este último se dedica a la comercialización de ferroníquel. La empresa Mineros de Antioquia tiene 20 dragas las cuales requieren bandas transportadoras y se hacen cambio cada 3 meses, siendo ellos un potencial comprador debido a que son una multinacional, pero por otro lado los pequeños mineros, no pueden darse el lujo de hacer estos mismos gastos, ya que su margen de ganancia disminuiría por el alto costo aproximado de las mismas. La empresa AngloGold tiene alrededor de 9 dragas que requieren bandas transportadoras, pero estas con tamaño mayor que las que manejan las otras 2 multinacionales antes mencionadas, ya que, su movimiento de tierras es mayor en menor maquinaria, y la empresa cerro matoso maneja a alrededor de 50 bandas transportadoras siendo ellos el líder en el mercado, estas 3 empresas son los mayores compradores de bandas transportadoras. Por eso la mayoría de bandas que llegan a el país son para ellos, ya que, son demasiado costosas y no cualquier empresa puede adquirirlas y utilizan, pero de bajos costos. (Fuente: Trabajadores anónimos, Administrativo-Operativos entrevistados en la empresa Mineros de Antioquia).

En la siguiente fotografía se puede ver una pequeña parte de la minería en Córdoba, evidenciando un carácter hechizo y rudimentario en su implementación, donde los montajes se realizan con guadua o lata de corozo, actualmente en Colombia se ha venido implementando este sistema para diferentes estructuras, no exclusivamente con la minera, se ve en estructuras para casas, soportes de construcción (andamios), como estructuras que distribuyan ciertos fluidos por una zona (sistema de riego, acueducto) (Salas Delgado, 2005). Esto demuestra la necesidad de resolver problemas en poco tiempo, y de la forma recursiva que la minería tradicional opta para solucionar sus problemas.



Figura 2. Minería tradicional en Córdoba. Elaboración propia.

Actualmente la minería en Córdoba consta de 115 empresas tituladas, distribuidas en; 49 exploraciones, 9 construcciones y montaje, 57 explotando actualmente. Una de las minas más grandes en la explotación de Níquel en el país, es realizada por la empresa Cerro matoso S.A. y sus puntos están ubicados en Montelíbano y San José de Uré, como también la producción de oro y plata que proviene de los municipios de Puerto Libertador, Ayapel, y San Antero, la explotación de carbón proviene del municipio de Puerto Libertador y los materiales de construcción se realizan en Montería y Ciénaga de Oro. Desde el año 2014 al 2017 Córdoba tuvo una contribución a nivel nacional de: níquel 100%, materiales de construcción 1,53%, oro 0,85%, plata 0,24%, platino 0,01% y carbón 0,41%. (Colombiano, 2017)

La industria minera, en esta zona (bajo Cauca y Córdoba), actualmente ha presentado muchas denuncias y acusaciones, ya que esta ha sido utilizada para financiar grupos ilegales. Como también la minería ilegal en esta zona porque

contaminan y no tienen cuidado al momento de llevar a cabo los procesos, esto ha traído cierta evolución de peligro en las zonas rurales de esta zona.

En el año 2018 fueron desmantelados grupos mineros ilegales que se habían ubicado cerca del municipio de Ayapel, destruyendo dragas, y retroexcavadoras de estos grupos no formales de minería (Ramón Campos Iriarte, 2018). Actualmente la minería en el bajo cauca, no es muy alentadora frente a los reportes presentados, esta presenta uno de los índices más altos en contaminación. Teniendo en cuenta que lleva 510 veredas contaminadas, el 75% del río Nechi contaminado, hectáreas contaminadas 60-6 mil. Se estima que recaudan aproximadamente los grupos informales de minería 2.400 millones de pesos en un año. (CARACOL RADIO MEDELLÍN, 2019).

Las operaciones militares realizadas en esta zona en enero del 2019 lograron incautar 7 excavadoras, 6 dragas y 3 motores, todo evaluado en 10.300 millones de pesos. Estos grupos pueden extraer aproximadamente 20 kg de oro mensual evaluados en 2.300 millones de pesos. En el año 2018 fueron obtenidas 16 retroexcavadoras, 15 dragas y 18 motores. (Medellín, 2019).

Lo que se busca en este proyecto es modificar una banda tipo industrial de manera que obtenga las cualidades de las bandas especializadas para el ambiente de trabajo ya mencionado disminuyendo para así disminuir los gastos en bandas con características específicas.

El componente principal para la modificación de la banda transportadora será la goma de nitrilo butadieno (NBR), en este proceso se evidenciará de manera clara las características y ventajas que tendrá la banda modificada, como también se presentará de manera clara y descriptiva los procesos llevados a cabo para la modificación realizada en la banda.

El NBR es uno de los materiales mundialmente utilizados para la elaboración de guantes, botas, bandas transportadoras, empaquetaduras de uso industrial, entre otros. En Colombia podemos encontrar una cantidad significativa de empresas que utilizan este tipo de materiales para este uso, entre estas empresas tenemos a Semaco que utiliza el NBR para la elaboración específica de empaquetaduras.

Los cauchos de Nitrilo Butadieno, se caracteriza por tener presencia de grupos funcionales Nitrilo, que aportan una alta inercia química en los enlaces altamente reactivos de los grupos funcionales hidroxilo, típicos de los isoprenos presentes en los cauchos convencionales empleados en las lonas, aplicadas en el sector minero-energético y agroindustrial. El NBR o caucho nitrilo butadieno es con copolímero conformado por acrilonitrilo y varios monómeros de butadieno (figura 3).

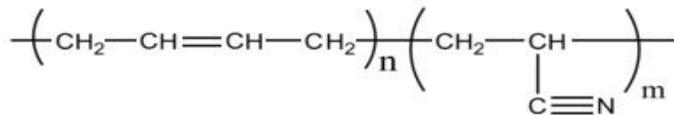


Figura 3. Formula general cauchos nitrilos. Tecnología de los plásticos.

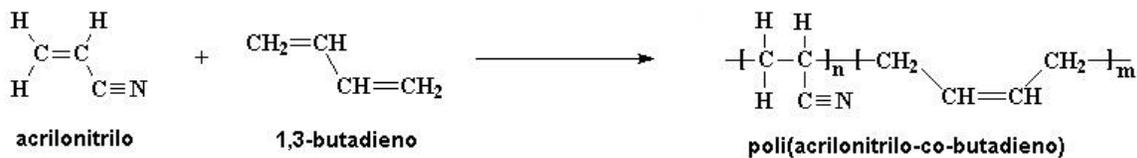


Figura 4. Reacción de polimerización Tecnología de los plásticos.

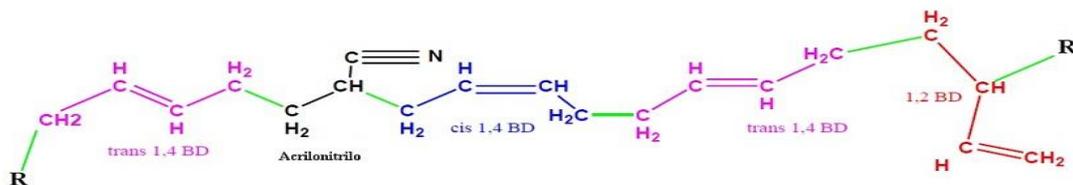


Figura 5. Estructura del NBR. Tecnología de los plásticos.

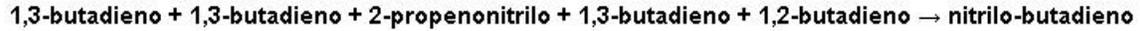


Figura 6. Porción posible de la estructuración del NBR. Tecnología de los plásticos.

Las propiedades químicas y físicas varían dependiendo de la composición de nitrilo que este en el polímero, cabe resaltar que las características principales de este elastómero es la alta resistencia a los aceites, combustibles, entre otros productos químicos. Una de las relaciones entre el porcentaje de nitrilo en el material y la flexibilidad del material es que es inversamente proporcional, esto significara que el nitrilo le da mayor dureza o resistencia de perforación en el caso que necesitemos de esta característica en nuestro material. La proporción de nitrilo en este tipo de material varia de la siguiente manera; alto contenido (35-40%) se caracterizan por resistencia a los aceites, más rígidos y pocas propiedades a bajas temperaturas. Grado medio (25%) y bajo contenido (18%) (Mariano. 2012).

Según Torretriangular el caucho NBR es uno de los polímeros que se está proporcionando para los mercados internacionales, gracias a las últimas tendencias de desarrollo, el análisis competitivo y su desarrollo en distintas áreas. En el mercado el NBR se divide por su contenido de acrilonitrilo, el cual se encuentra entre un 18% a un 40%, las aplicaciones de este caucho están divididas en; Automotriz, transporte, industrial, petróleo, gas, minería, metalurgia, construcción, entre otros.

Las zonas geográficas que fueron foco para estos análisis fueron; América del norte (EE. UU., Canadá), Europa (Reino Unido, Francia, Alemania, España, Italia y resto de Europa), Asia (China, Japón, Corea del Sur, ASEAN, India, Resto de Asia Pacífico), América latina Brasil, Argentina, Colombia y resto de L.A.) y Oriente medio Turquía, CCG, Emiratos Árabes Unidos y Sudáfrica Resto de Oriente Medio). Como también unas de las empresas beneficiadas con el

desarrollo internacional del NBR son; Lanxess, Sinopec, Kumho Petrochemical, TSRC Corporation, JSR Corporation, LG Chem, Versalis SPA, Zeon Corporation, Sibur Holding, y Omnova Solutions Inc. (Torretriangular, 2020).

En la industria minera las bandas transportadoras se han implementado y han generado una mejoría en el transporte de los minerales, por lo que este proyecto puede brindar una evolución en la economía y/o en el avance, transporte de materiales dentro de la zona minera.

Este proyecto hace parte de SIMEC (Semillero de investigación en ingeniería mecánica) en la línea de investigación DANM (desarrollo y aplicación de nuevos materiales), por otro lado, ha contado con una convocatoria interna de semillero en la UPB sección Montería, y otra en la feria Caimán, donde participó frente a tesis postuladas a grado. Este proyecto ha sido beneficiado por las oportunidades de formulación de proyectos realizados por el CIDI, como también por el apoyo de personas que han respaldado este proyecto, como lo es el ingeniero Javier Ricardo Sánchez Castillo el cual cuenta con un pregrado en Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales, una maestría en Ciencias de la Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales.

Como también la participación en la feria del caimán, la cual es llevada a cabo anualmente en la Universidad Pontificia Bolivariana sede Montería, en esta feria se da un espacio a proyectos pertenecientes al semillero de investigación de Ingeniería Mecánica (SIMEC) como distintos proyectos llevados a cabo en asignaturas de la carrera ya mencionada.

En el año 2020 este proyecto fue postulado para “MEMORIAS II ENCUENTRO INTERNO DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN MULTICAMPUS” el cual se realizó con la idea de presentar y divulgar a toda la comunidad académica, los avances y resultados obtenidos en las investigaciones desarrolladas por estudiantes durante el último año, a través de La Red para el

Desarrollo de Competencias Científicas e Investigativas de la Universidad Pontificia Bolivariana – REDECCI.

Este proyecto ha contado con el apoyo de la Universidad Pontificia Bolivariana, como de su infraestructura y de los equipos que en esta hay, los equipos usados de mayor relevación son; Mufla, herramientas mecánicas de corte, máquina universal, durómetro. En el área de investigación se utilizaron las plataformas brindadas por la Universidad Pontificia Bolivariana (Science Direct, ASTM, etc.). Por otro lado, también se realizaron trabajos con la ayuda de personal técnico brindado por la universidad en el área de los laboratorios mecánicos. Como también se justifica dentro de la maya curricular por los cursos de; polímeros y mecánica de materiales I.

OBJETIVOS:

OBJETIVOS GENERAL.

Caracterizar el efecto sobre la composición, las propiedades físico-mecánicas, físico- químico y térmicas de modificaciones superficiales por adhesión térmica de NBR en lonas de caucho comercial, empleadas en el sector minero de Córdoba y Bajo Cauca.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Realizar un barrido experimental de condiciones de temperatura y tiempo para lograr un ablandamiento sin cristalización, ni modificación química superficial del caucho comercial y el recubrimiento de NBR.
- Caracterizar las variaciones en los grupos funcionales de los diferentes tratamientos térmico en las lonas y en el NBR
- Caracterizar el comportamiento mecánico y físico-químico de la adhesión superficial de NBR, en una lona de caucho comercial.

2. ESTADO DEL ARTE

En Colombia el NBR es utilizado en algunas empresas enfocadas en la realización de guantes y botas de cauchos (mundial, s.f.). Estos son utilizados para tareas específicas y con características requeridas. Otra de las empresas que utilizan NBR es Semaco, la cual lo utiliza para la fabricación de materiales de sellado, empaques, entre otros. (semaco, s.f.).



Figura 7. Empaques y sellos. Semaco.

También hay distintos fabricantes de lonas con características, funcionamientos y propiedades diferentes ubicadas dentro del país, como o es BANTRACOL que es una empresa colombiana ubicada en Medellín que se distingue por sus trituradoras y sus bandas transportadoras. Las bandas transportadoras catalogadas para trabajo pesado son las conocidas como bandas inclinadas (20-35 grados), estas pueden ser con botones, en V o lisas. Estas cuentan con dos o tres lonas de espesor y distintas medidas de longitud y de anchura. También dentro de sus catálogos se encuentran otros tipos de banda como lo son tipo Runner, PVC, aunque de igual manera cuentan con bandas de mallas plásticas y metálicas para transporte de alimentos. (batracol, s.f.)



Figura 8. Banda para minería. Fuente; bandas y bandas.



Figura 9. Banda inclinada. Fuente; bandas y bandas.

Otras de las empresas conocidas son Cauchos El Cacique, o también conocida como CAELCA SAS. Esta empresa se ha manejado dentro del mercado cauchos por más de 20 años. Esta empresa maneja las bandas lisas como los rodillos donde van estas, las bandas lisas están compuestas por diversas lonas para tener una mayor seguridad al momento de ejercer trabajo sobre ellas. También cuentan con una gran variedad de cauchos relacionados con la línea automotriz, industrial, de construcción y la línea de muebles. (cauchos el cacique, s.f.)

También se encuentra la empresa Bandas y Bandas S.A.S. tiene una gran variedad de bandas, para todo tipo de funciones. Entre una de las principales están las bandas transportadoras industriales, para elevar y las especiales. Cada una de estas cuentas con una característica que las hace diferenciar del resto, como puede ser la composición de cada una de las lonas y sus cualidades. Las bandas especiales contienen alma de acero o una capa de acero que le da mejores propiedades a esta, las bandas industriales solo cuentan con caucho y varias capas de lona, esta se utiliza para el transporte de materiales dentro de industrias y/o empresas, y como última está la banda para elevar que son bandas realizadas con poliéster, estas tienen características como de flexibilidad y se caracteriza por tener bajos costos en mantenimiento. (ingeniería y manejo de materiales, s.f.)



Figura 10. Bandas y bandas. Elaborado por bandas y bandas.

Por otro lado, en 2013 Jenny Araque y Lina Buitrago para trabajo de tesis realizaron la síntesis y caracterización de distintos polímeros, en los cuales se encontraba el NBR. En este proyecto de tesis se exponía las distintas normas y métodos que se llevaron a cabo para evaluar y catalogar que polímeros tenían mejores usos dentro de la línea industrial, como también evaluaron las propiedades físico-químicas, físico-mecánicas y térmicas. Estas se realizaron bajo la normativa AISI y otras medidas convencionales. (ARAQUE & BUITRAGO, 2013)

Relacionado con la caracterización, el 18 de junio del 2020 N. Vennemann, C. Kummerlöwe, M. Mertes, F. Kühnast, D. Bröker, A. Siebert. Realizaron un proyecto llamado “Comportamiento dieléctrico y electromecánico de NBR a alta intensidad de campo eléctrico”. El cual presenta un nuevo enfoque para

caracterizar las propiedades dieléctricas de elastómeros especialmente a bajas frecuencias y alta intensidad de campo eléctrico, cerca de las condiciones de funcionamiento del elastómero dieléctrico actuadores (DEA). Por medio de una celda de medida electrorreológica, estática (DC) y alterna (AC) de alta electricidad. La intensidad de campo se aplicó a diferentes tipos de cauchos de acrilonitrilo-butadieno (NBR), con contenido variable de grupos de acrilonitrilo polares. Basado en la teoría fundamental de la permitividad del complejo eléctrico y la polarización fueron calculado a partir de las mediciones de tensión de Coulomb a distintas frecuencias.

Durante las mediciones de alto voltaje fue observado, que la corriente de pérdida dieléctrica aumenta, si se excede una cierta intensidad de campo crítica. Se muestra que los cauchos polares NBR exhiben una fuerza de campo crítica muy por debajo del caucho de polibutadieno no polar (BR), actuando como una muestra de referencia. NBR exhibe una permitividad extraordinariamente alta a baja frecuencia, lo que hace que este material no sea un candidato favorito para la DEA. Además, las propiedades mecánicas de NBR se pueden alterar fácilmente mediante la aplicación de un campo eléctrico alterno. Este fenómeno abre nuevas oportunidades en una gran variedad de aplicaciones

En 2015 Ahmed Alhareb realizó una realizó un estudio de FTIR sobre el NBR, donde encontró los distintos grupos en que este se compone.

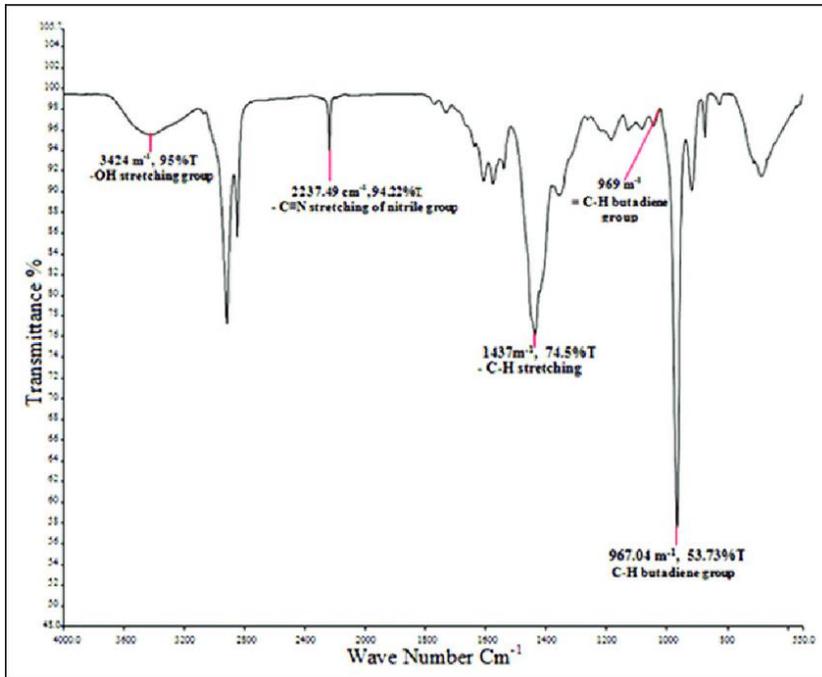


Figura 11. FTIR de NBR. Ahmed Alhareb, 2015.

Como se observa en las gráficas de FTIR del nitrilo butadieno, se tiene que existen grupos butadienos y grupos de hidroxilo. Estos grupos son los que están resaltados en las gráficas con sus respectivas reflexiones. El butadieno es el hidrocarburo que se necesita para la realización del caucho y el grupo hidroxilo es común en los alcoholes, fenoles y ácidos. Este también es común en diversos compuestos orgánicos.

En otras instancias, como lo fue en enero del 2017 en la Universidad Militar de Nueva Granada, Oscar Buitrago en su proyecto “Pegado de láminas elastómero Nitrilo/Retamo Liso: Empleo de adhesivos ecológicos con silano y halógeno” utilizó el caucho nitrilo butadieno para probar adhesivos ecológicos aplicados al NBR y el retamo listo.

Fue elegido el NBR para este tipo de prueba porque es uno de los más importantes en la industria y se usa en juntas tóricas que requieren severidad de aceites y combustibles, empaquetaduras, sellantes, mangueras y tanques, aviones, etc. Tiene una adecuada respuesta a tensiones dinámicas. Cuando se

refuerza con fibras cortas el material compuesto de caucho adquiere propiedades mecánicas únicas que combinan la rigidez de la fibra y la elasticidad del caucho.



a

Figura 12. NBR laminado. Buitrago, O.



b

Figura 13. Muestras de NBR. Buitrago, O.

El NBR también es utilizado para funcionalizar muchos materiales, como lo es la dispersión de arcilla, para este se utiliza como base NBR y a este se le adiciona polietilenglicol para así mejorar las propiedades mecánicas del NBR evitando la dispersión de arcilla en la montmorillonita (Santibañez Sabel, 2018).

La vulcanización del NBR también se ha investigado y modificado. Una de estas innovaciones al momento de vulcanizar el NBR es en el uso de aerogel para mejorar las propiedades y/o características del NBR. El proyecto llamado La influencia del aerogel en las propiedades de los vulcanizados de

cauchoacrilonitrilo-butadieno (NBR). Uno de los cambios significativos se vio reflejado en la dureza y la resistencia a la tracción. (Jacek Magryta, 2012).

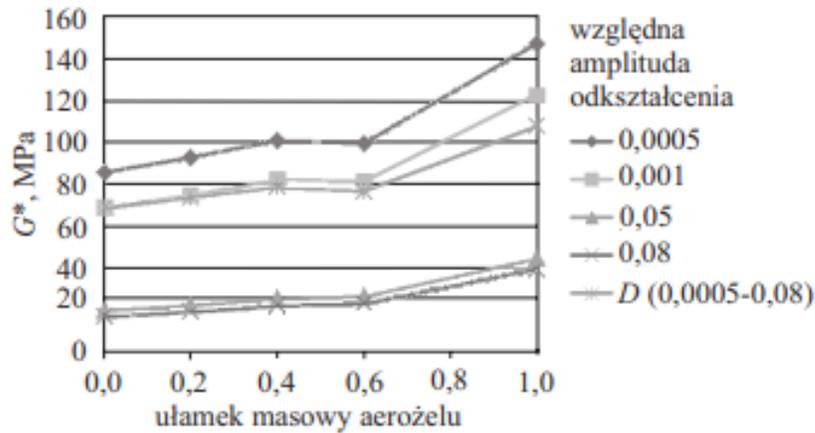


Figura 14. Grafica resistencia de NBR con aerogel vs sin. Jacek Magryta, 2012

El NBR también ha sido utilizado en otros aspectos como es en la elaboración de zapatos, Tratamientos de plasma a presión atmosférica de NBR para la mejora de adherencia en aplicaciones de calzado, es un proyecto liderado por Rodolfo Múgica-Vidal, Juan Mercadal-Guillén, Elisa Sainz-García y Fernando Alba-Elías publicado el 29 de marzo del 2021, donde se realizaron tratamientos sobre caucho de nitrilo butadieno (NBR) plano y mecánicamente rugoso se estudiaron alternativas amigables al proceso habitual de halogenación para mejorar la adherencia entre NBR y partes de cuero.

Se estudió la evolución de su eficacia durante los siguientes 30 días. Ambos tipos de tratamiento lograron adherencia resistencias superiores a las del NBR sin tratar. Los tratamientos de revestimiento provocaron un aumento inicial en la especie de carbono-oxígeno de la superficie polar, que se mantuvo durante al menos los siguientes 6 días y se permitió una mejora de la fuerza de unión cuando los revestimientos se unieron con el cuero dentro de ese período. Sin embargo, la presencia de estas especies en los recubrimientos disminuyó durante el almacenamiento, lo que resultó en una adhesión más débil que la del NBR sin

tratar antes del final del estudio de envejecimiento. La efectividad más duradera (30 días) fue demostrada por NBR activado por plasma, mecánicamente rugoso.

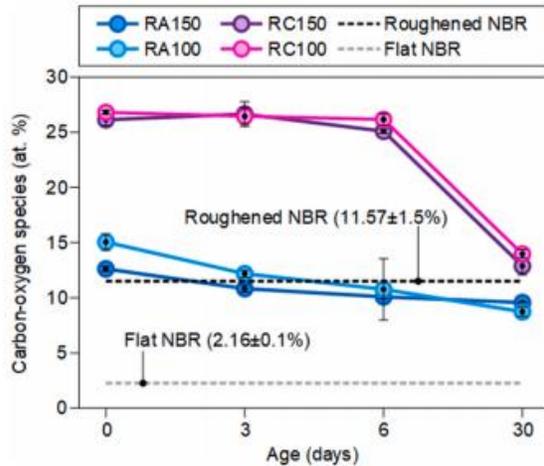


Figura 15. Grafica porcentaje de carbono-oxigeno vs tiempo. Rodolfo Múgica-Vidal. 2021

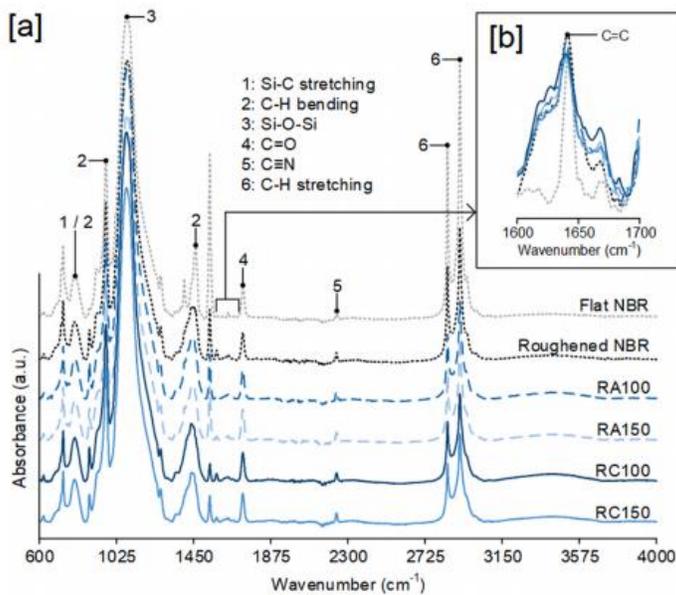


Figura 16. FTIR. Rodolfo Múgica-Vidal

En el año 2016 se realizaron pruebas para probar el envejecimiento del NBR modificándolo térmicamente. Jie Liu, Xiangbo Li, Likun Xu, Peiqing Zhang realizaron un artículo llamado “Investigación del comportamiento y mecanismo de envejecimiento del nitrilo-butadieno (NBR) en el entorno de envejecimiento térmico

acelerado". En este proyecto el caucho de nitrilo-butadieno (NBR) se expuso a un entorno de envejecimiento térmico acelerado producido por un horno de circulación de aire para diferentes períodos de tiempo. El envejecimiento de NBR se evaluó por morfología, reticulación densidad, propiedades mecánicas, cambios químicos y estabilidad térmica. Los resultados mostraron que el daño superficial de NBR se volvió severo y no homogéneo, y el grado de envejecimiento fue más grave en la región de borde de huecos. Las reacciones de reticulación se produjeron principalmente en el proceso de envejecimiento.

La resistencia a la tracción aumentó con el aumento en la densidad de reticulación hasta un valor máximo y luego disminuyó con aumento adicional de la densidad de reticulación. Espectroscopía foto electrónica de rayos X (XPS) y gas de pirólisis El análisis de cromatografía-espectrometría de masas (Py-GC / MS) demostró que los grupos hidroxilo se formaron y los aditivos migraron del interior a la superficie de las muestras de NBR.

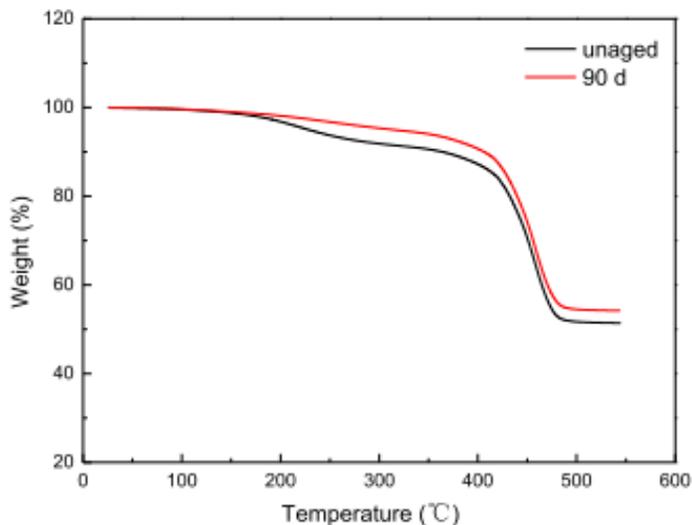


Figura 17. Porcentaje de peso vs temperatura. Jie Liu. 2016

3. METODOLOGÍA

La metodología implementada en este proyecto es una metodología de campo, ya que está en un primer concepto se realizará las investigaciones necesarias para luego llevarlas a la práctica o los distintos ensayos que demuestren la validez de la información planteada. Como lo es el investigar sobre la normativa para la caracterización y probar a través de ensayos las características que se modificarán con la adhesión de NBR.

Este proyecto será desarrollado empleando un estudio piloto, ya que se realizarán pruebas de cada tipo de caracterización para brindar seguridad al momento de exponer los resultados, y por la falta de información de otros proyectos que se vinculen directamente con este tipo de cauchos. Por tanto, el proyecto contará con 6 etapas

Revisión bibliográfica

En el transcurso de este proyecto se realizó una investigación descriptiva retrospectiva de fuentes formales como artículos, informes y estadísticas del gobierno, patentes, trabajos de investigación y/o trabajos de grado de distintas universidades, entre otras. Estas fueron encontradas y consultadas en distintas bases de datos brindadas por la Universidad Pontificia Bolivariana, como lo son Science direct, ASME, ASTM, repositorios de la UPB, UNAL y otras instituciones nacionales e internacionales, etc.

Permitiendo identificar un recubrimiento que permitiera aumentar la resistencia a la fatiga térmica y a las sustancias químicamente abrasivas, permitiendo identificar el NBR como material adecuado en el recubrimiento de cauchos comerciales empleados en bandas transportadoras comunes, para adaptarlas a los requerimientos de bandas transportadoras de alto rendimiento empleadas en el sector minero.

Adhesión térmica de NBR sobre lona.

Luego de adquirir la lona y el NBR, se realizará la adhesión térmicamente, calentando el NBR para después recubrir la lona con este aprovechando cuando esté en un estado viscoso y maleable. Este proceso se realizará tomando un intervalo de temperaturas de 120 a 150 grados Celsius, en un tiempo de 15 a 30 minutos para evaluar cada una de las características y modificaciones que se realicen en el NBR, tanto positivas y negativas.

Tabla 1.

Diseño experimental de la modificación térmica de NBR para funcionalización de caucho comercial

Modificación térmica en NBR	Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)
Muestra 1	15	120
Muestra 2	15	130
Muestra 3	15	140
Muestra 4	15	150
Muestra 5	20	120
Muestra 6	20	130
Muestra 7	20	140
Muestra 8	20	150
Muestra 9	30	120
Muestra 10	30	130
Muestra 11	30	140
Muestra 12	30	150

Fuente: Elaboración propia.

El medio utilizado para realizar esta adhesión será mediante una mufla, la cual tiene como multipropósito son hornos de temperatura hasta 1200°C para aplicaciones como: copelación, fundición de vidrio y vitrofusión, eliminación de cera, esmalte al fuego, diferentes pruebas de laboratorio, fundición de metales y tratamientos térmicos. Poseen resistencias tipo espiral ubicadas en ranuras especialmente diseñadas para permitir una radiación adecuada hacia la cámara interna y en materiales de alta calidad para una vida útil prolongada. Su construcción en ladrillo aislante de alta calidad los hace eficientes y livianos. Poseen termocuplas tipo K recubiertas con un material cerámico para prolongar su vida útil. Todos estos equipos están disponibles con controles de temperatura que permiten rampas de calentamiento.



Figura 18. Mufla. Elaborado por Terrigeno.

Modelo	D8
Dimensiones internas (útiles)	Ancho: 20 cm
	Alto: 17 cm
	Profundo: 26 cm
Dimensiones Externas	Ancho: 40 cm + 20 cm de control
	Alto: 37 cm
	Profundo: 46 cm
Volumen	8.8 Litros
Peso	45 kg
Temperatura máxima	1200 °C
Sistema de calentamiento	Resistencias Eléctricas espiral marca Kanthal
Control automático	Control de temperatura automático programable 8 Rampas de temperatura, opción On-Off o PID Doble display (temperatura programada y real)
Sensor de temperatura	Tipo K
Conexión eléctrica	220 V Monofásica
Acabado interior	Ladrillo aislante Porta resistencia
Acabado exterior	Acero al carbono con pintura Horneable

Figura 19. Especificaciones técnicas mufla. Elaborado por Terrigeno.

Caracterización de los efectos

La caracterización del NBR (físico-química, físico-mecánica y térmica) se realizará bajo las distintas normas ASTM planteadas para elastómeros y otros ensayos donde se puede caracterizar polímeros, como lo son:

- Físico-Mecánico:

Prueba de tensión:

Esta prueba consiste en tensionar el material (NBR) hasta encontrar su límite de rotura identificando los esfuerzos aplicados en cada momento asumiendo un área transversal constante, permitiendo encontrar las características elastoplásticas del material. Para esta etapa se dimensionaron y se tomaron los valores de velocidad de desplazamiento, carga aplicada, área transversal, desplazamiento total, dimensiones iniciales y finales, como se detalla el proceso según las normas autorizadas para elastómeros (ASTM D7791 – 17. (2017)). Para este ensayo se utilizó la máquina universal MTS.

MTS Exceed Series 40 Specifications - Common

Accuracy Class	ISO 7500 Class 0.5 / Class 1 or ASTM E4	
Force capacity	± 0.5% of reading	± 1% of reading
Force range*	1 to 100% of rated force capacity	0.5 to 1% of force rated capacity
Rated maximum force at max. test speed	100%	
Rated maximum test speed at maximum force	100%	
Speed accuracy	Set speed < 0.01 mm/min: speed accuracy is within ± 1.0% of set speed Set speed ≥ 0.01 mm/min: speed accuracy is within ± 0.5% of set speed	
Position accuracy	Within ± 0.5%	
Strain measuring range	0.2% - 100% FS	
Strain accuracy** (depending on extensometer)	Class 0.5 and Class 1	
Security protection	Over-force, travel limits, over-voltage and others	
Over force protection	10%	
Data acquisition rate	1000 Hz	
Control loop rate	1000 Hz	
Environmental requirements (For indoor use only)		
Operating temperature	5° C to 40° C (41° F to 104° F)	
Operating humidity	5% - 85% non-condensing	
Storage temperature	-18° C to 49° C (0° to 120° F)	
Maximum storage humidity	90% non-condensing	
Maximum altitude	2000 meters	
Motor & drive system	AC Servo Motor	
Ballscrews	Pre-Forced	
Position measurement	Encoder	
Additional DC conditioning channels	2 channels (Examples: resistive extensometers and load cells)	
Additional digital conditioning channels	1 channel (Examples: long travel extensometer and quadrature encoders)	

Figura 20. Especificaciones técnicas máquina universal MTS. Elaboración MTS



Figura 21. Máquina Universal. Elaboración propia.

Prueba de dureza:

La probeta es sometida en la prueba de dureza con una carga de 150 kg. Norma ASTM D859 (2016). Este ensayo se realiza en el equipo HSM51 Rockwell /BRINELL Combined System, en Rockwell tipo C.

Model	LM110 863-790-202 (K) 863-790-204 (V)	LM110AT 863-790-201 (K) 863-790-203 (V)	LM310AT 863-790-229 (K) 863-790-230 (V)
Turret Mechanism	Manual	Automatic	Automatic
Loading Mechanism	Automatic loading and unloading		
Load Application Speed	50 $\mu\text{m}/\text{second}$		
Dwell Time	5 to 40 seconds		5 to 99 seconds
Objectives	Three positions: 10X and 50X are included; one additional objective lens is optional		
Total Magnification	For measurement: 500X (Objective 50X; Eyepiece 10X) For observation: 100X (Objective 10X; Eyepiece 10X)		
Measuring Microscope	Analog		Digital
Max. Measuring Length	200 μm (At 500X)		200 μm (At 500X)
Min. Resolution	0.5 μm (user estimate to 0.1 μm)		0.1 μm
Display and Touch Control Panel	Loading start, status LEDs		Operation and Test Conditions Dwell Time, Brightness of Light Source, Loading Start, and Rotation of Turret Data Display Diagonal Length (D1/D2), Hardness Value (HV/HK), OK/NG Criteria
Data Output	—		USB and RS232C
Max. Height of Specimen	(3.6 in.) 91 mm		
Max. Depth of Specimen	(4.3 in.) 110 mm		
Available Tests	Micro-Vickers, Knoop		
Manual X-Y Stage	Dimensions: 3.9 in. x 3.9 in. (100 x 100 mm) • Max. Movement: 1.0 in. x 1.0 in. (25 x 25 mm) Minimum micrometer handle graduation: 0.001 in.		
OK/NG Criteria	—		Upper and lower limits setting and HI/OK/LO display
Light Source	LED		LED: Automatic brightness reduction during loading sequence
Conforms To	JIS B-7734, ASTM E-384, ISO 4545, and ISO 6507		
Video Port	Standard		
Dimensions	19.7 in. H x 17.1 in. D x 7.3 in. W (499 mm x 435 mm x 186 mm)		
Weight	Approximately 79.4 lb. (36 kg)—including standard accessories		
Power Supply	100 to 220V switchable 50/60 Hz		

Figura 22. Especificaciones técnicas durometro. Elaborador por LECO



Figura 23. Prueba de dureza. Elaboración propia

- Físico-química:

Se realizó mediante la espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR). El equipo IRTracer-100 logra una excelente sensibilidad con una relación SN de 60.000: 1, alta resolución a 0,25 cm⁻¹ y escaneo de alta velocidad capaz de 20 espectros / segundo. El rendimiento de los modelos de gama media y alta está respaldado por una alta fiabilidad que incluye una alineación dinámica avanzada y un interferómetro con deshumidificador. Esto es compatible con aplicaciones activas en una variedad de circunstancias, con una biblioteca de aproximadamente 12,000 espectros y programas de análisis de datos para el análisis de contaminantes, y programas de escaneo rápido y de curso temporal para el seguimiento de reacciones.

En este equipo se pudo ubicar gráficamente la composición química del NBR sin modificar y la diferencia de esta grafica con la del NBR modificado. Teniendo en cuenta de esta manera la ausencia de los picos de grupos funcionales característicos del NBR y sus propiedades específicas.



Figura 24. FTIR. Elaboración Propia.

Redacción informe final.

Se construirá un informe final que recopile los hallazgos y resultados del proyecto, realizando un análisis de los mismos que permitan concluir la validez de las hipótesis iniciales, además de consignar recomendaciones para mejorar estos resultados.

4. DESARROLLO Y RESULTADOS

- **Adhesión térmica sobre la lona:** Al realizar las pruebas con los distintos intervalos de temperatura como de tiempo, se encontró la temperatura y el tiempo deseado el cual es de (15 min y 150 °C). En este intervalo de tiempo y temperatura el NBR alcanzaba una textura viscosa logrando así que este se pudiera adherir en la superficie de la banda transportadora.



Figura 25. NBR adherido térmicamente a lona tipo industrial. Elaboración propia.

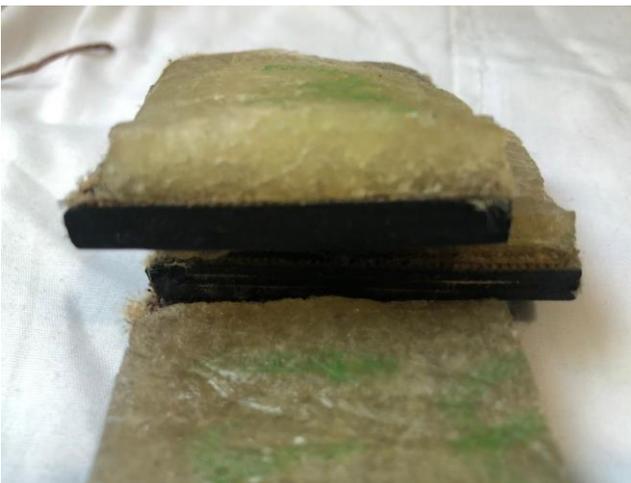


Figura 26. NBR adherido térmicamente a lona tipo industrial. Elaboración propia.

- **Composición química:** Para hallar una gráfica de los grupos funcionales que constituyen al NBR, se utilizó el FTIR Tracer 100 adaptado a un sistema ATR Miracle 10 para el NBR modificado y sin modificar, para así observar los cambios en los grupos funcionales identificados por el espectroscopio, luego de realizar un tratamiento térmico.



Figura 27. Espectro Infrarrojo de muestras replicadas de NBR empleadas en la modificación superficial de caucho comercial, después del tratamiento térmico de adhesión, caracterizadas por espectroscopia por transformada de Fourier (FTIR). Fuente: Elaboración propia.

La figura presentada por el FTIR mostró los grupos funcionales presentes en el NBR como también los picos de intensidad (grupo butadieno e hidroxilo), con referente a la gráfica de NBR sin modificar (Figura 11), se puede observar que los grupos funcionales se mantienen con los grupos funcionales con valores aproximados en los picos de cada grupo, como también los espectros que realizan espejo de estos.

- **Caracterización:**

a) **Mecánica:** Para la realización de las pruebas mecánicas se modificaron 4 probetas térmicamente para tener un valor certero y más preciso de los resultados que planteen las pruebas, como también se utilizaron 4 probetas de NBR sin modificar para así tener un valor de las pruebas de este material. Las probetas tenían las medidas estandarizadas (115 x 33 x 8) mm³.

Tensión: La prueba de tensión se realizó con una velocidad de 7.5 mm/min, dando como resultado una diferencia notoria entre el NBR sin modificar y el modificado, como las gráficas de comportamiento del NBR a medida que la carga aumentaba sobre este, el promedio de carga soportada por el NBR sin modificar fue 56 N, mientras que el NBR modificado soporto 93.5 N. Basado en 4 muestras que fueron ensayadas tanto modificadas y sin modificar, se evidencia un aumento en la carga soportada al momento de realizar una modificación térmica en el NBR, se pueden mejorar las propiedades mecánicas en tensión de este elastómero.

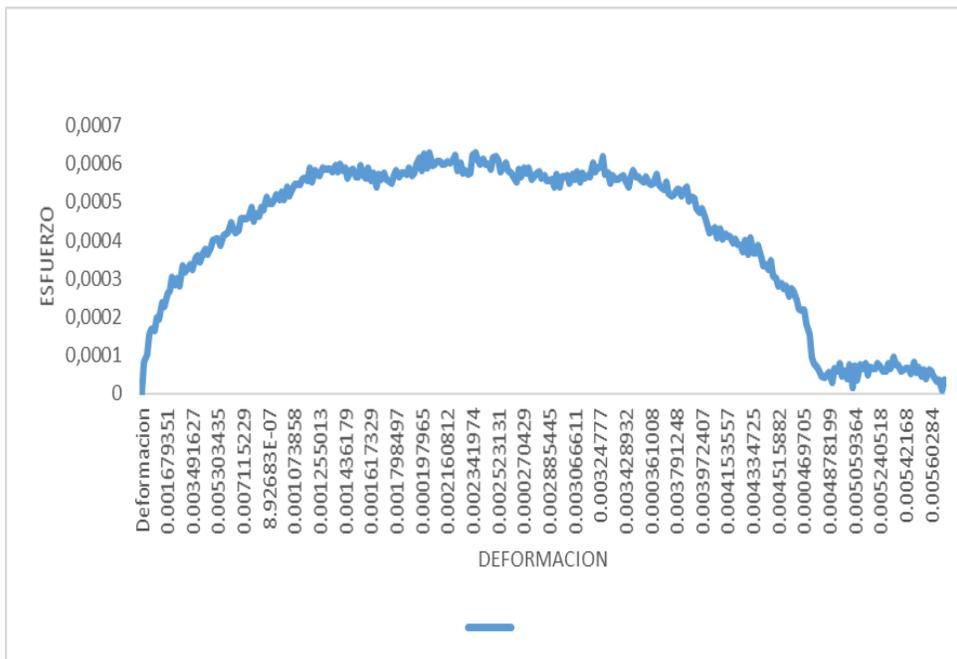


Figura 28. Grafica NBR sin modificar prueba de tensión. Fuente: Elaboración propia.

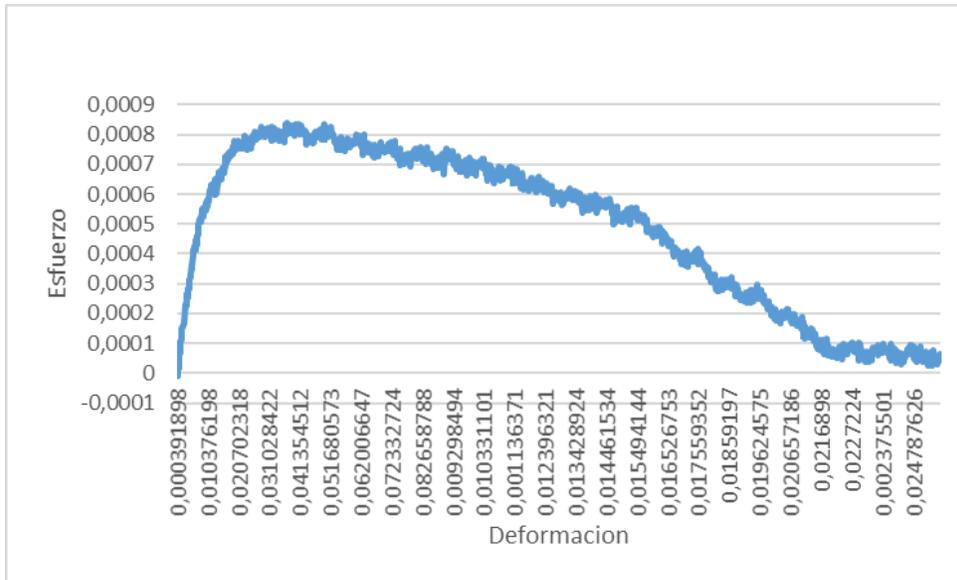


Figura 29. NBR modificado prueba de tensión. Fuente Elaboración propia.



Figura 30. Ensayo de tensión. Elaboración propia

Dureza: Para este ensayo se realizó con las indicaciones de la normativa ASTM D859 (2016), se proporcionó una carga de 150 kg, con un indentador de diamante.

Como resultado, el NBR sin modificar reportó durezas de 27.85 HRC, mientras que el NBR modificado obtuvo una dureza de 30.8 HRC. Al momento de modificar el NBR este obtiene mejor valores o mejores características mecánicas en cuanto a dureza y a tensión, por lo que el NBR se comporta de manera positiva para ser adherido en la banda transportadora tipo industrial.

5. CONCLUSIÓN

Se concluye a partir de los resultados finales obtenidos en el presente estudio exploratorio:

- Se logra por medio del presente estudio exploratorio, probar diferentes tiempos y temperaturas de adhesión de NBR en lona tipo industrial, encontrando resultados óptimos para 150°C y 15 min, ya que, en las otras condiciones se llega a una combustión parcial y cristalización, que generan un endurecimiento y encogimiento del NBR, sin embargo, en estas condiciones no se evidenció un encogimiento significativo.
- Si bien las curvas de tensión deformación, tanto de las probetas modificadas como sin modificar muestran el comportamiento típico de un elastómero, se evidencia un aumento de la carga máxima soportada por el NBR modificado, asociadas a un grado mínimo cristalización (no hubo cambio dimensional mayor al 5%) en el proceso térmico de ablandamiento.
- Las curvas de NBR evidencian que no hay un cambio significativo de los grupos funcionales, lo cual será verificado posteriormente en la prueba de exposición a ácidos.
- Los resultados de dureza no son concluyentes de la adherencia, por tal razón se está verificando la caracterización de la adherencia por medición de la dureza con la empresa, acorde a los resultados de la norma ASTM H D 2240.

BIBLIOGRAFÍA

Ahmed Alhareb. (11 de 2015). FTIR spectra shown of NBR gloves particles analyzed. FTIR: Fourier transform infrared; NBR: nitrile-butadiene rubber. RESEARCHGATE.

ARAQUE, J., BUITRAGO, L. (2013). *SINTESIS Y CARACTERIZACION DE ELASTOMEROS DE POLIURETANO OBTENIDOS A PARTIR DE MDI POLIMÉRICO Y ACEITE DE RICINO MODIFICADO CON GLICEROL PARA DEFINIR CRITERIOS DE APLICABILIDAD COMO MATERIAL INDUSTRIAL*. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

batracol. (s.f.). *BATRACOL bandas transportadoras de Colombia*. Obtenido de <https://www.bantracol.com/medellin-bandas-transportadoras>

CARACOL RADIO MEDELLÍN. (2019). 510 veredas están contaminadas por minería ilegal en el bajo Cauca. *Caracol Radio*.

cauchos el cacique. (s.f.). CAELCA SAS. Obtenido de bandas transportadoras: <https://cauchoselcacique.com/Cauchos/330/mecanizados/bandas-en-caucho-con-lonas.html>

Colombiano, C. (2017). Departamento de Córdoba . 4-5.

ingeniería y manejo de materiales. (s.f.). *Bandas y Bandas SAS*. Obtenido de <http://www.bandasybandas.co/bandas.html#industriales>

International, A. (1998). Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. *ASTM Standards*, 16, 1-4.

Legiscomex.com. (2016). Inteligencia de Mercados – Informe sectorial de caucho y sus manufacturas en Colombia. *IOSR Journal of Economics and Finance*, 3(1), 56.

El tiempo. (22 de 1 de 2019). *Más de 430 hectáreas afectadas por minería ilegal en el Bajo Cauca*.

Ministerio de Minas y Energía. (2016). PINE - Córdoba. *PINE - Córdoba*.

mundial. (s.f.). *Guante nitrilo examen*. Obtenido de mundial modernizando el comercio ferretero: <http://www.mundial.com.co/index.php/guante-nitrilo-examen>

- Ramón Campos Iriarte. (2018). *Las mil cabezas de la minería ilegal*. Revista *Semana*, 3(mineria ilegal).
- Salas Delgado, E. (2005). *Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia : Simón Velez : símbolo y búsqueda de lo primitivo*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- semaco. (s.f.). *productos*. Obtenido de Semaco:
<http://www.semaco.com.co/nuestros-productos/>
- Corporación LECO (2015). *Especificaciones y numero de parte FTIR*.
- Terrigeno (2019). *Hornos Eléctricos y a Gas para alta Temperatura (mufla)*.
- MTS (s.f.). *MTS Exceed® Series 40 Electromechanical Universal Test Systems*.
Obtenido de; MTS.
- SHIMADSU (s.f.). *Espectrofotómetro infrarrojo por transformada de Fourier, IRTracer-100*.
- Mujica, R. Mercadal, J. Sainz, E. Alba, F. (2021). *Tratamientos de plasma a presión atmosférica de NBR para la mejora de adherencia en aplicaciones de calzado*.
- N. Vennemann, N. Kummerlowe, C. Mertes, M. Kühnast, F. Broker, D. Siebert, A. (2020). *Comportamiento dieléctrico y electromecánico de NBR a alta potencia eléctrica*.
- Luo, P. Wen, S. Prakashan, K. Zhang, Z. Tridib K. Sinha. Kim, J. (2019) *Propiedades físico-mecánicas de la mezcla NBR / CPVC*
- Magryta, J. (2012). *Influencia del aerogel en las propiedades de los vulcanizados de caucho acrilonitrilo-butadieno (NBR)*.