



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

Implementación de un material compuesto utilizando polvo de neumático, para la fabricación de piso flexible para el uso en talleres automotrices.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Electromecánica.

Autor:

Mario Javier Llumitasig Calvopiña

Tutor:

MC.s. Edwin Homero Moreano Martínez

LATACUNGA-ECUADOR

2021

AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “Implementación de un material compuesto utilizando polvo de neumático, para la fabricación de piso flexible para el uso en talleres automotrices.” presentado por Llumitasig Calvopiña Mario Javier, para optar por el título magíster en Electromecánica.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, octubre, 24, 2021



.....
Mg.C. Edwin Homero Moreano Martínez
CC: 0502607500

AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: Implementación de un material compuesto utilizando polvo de neumático, para la fabricación de piso flexible para el uso en talleres automotrices, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electromecánica; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, diciembre, 09, 2021

.....
PhD. Laurencio Allfonso Héctor Luis
CC: 1758367252
Presidente del tribunal

.....
MSc. Navarrete López Luis Miguel
CC: 1803747284
Lector 2

.....
MSc. Portas Reyes Jefferson Alberto
CC: 0704400449
Lector 3

DEDICATORIA

El trabajo de titulación lo dedico principalmente a Dios a la virgencita de Baños de agua santa y al niño de Isinche, por haberme dado su santa bendición la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante y anhelado de mi formación profesional.

A mis padres Cesar Llumitasig y Rogelia Calvopiña, los cuales con su amor paciencia y dedicación supieron encaminarme por el camino del bien, para ustedes padres queridos que siempre fueron el pilar fundamental para alcanzar esta meta tan importante que me he planteado en mi vida, de todo corazón les agradezco papitos queridos por darme esta herencia única, el estudio.

A mi hermano Klever y a mi compañera de vida Lucia que siempre estuvieron en las buenas y en las peores siendo confidentes durante este periodo de formación académica, esta meta cumplida se los dedico con todo mi cariño.

Mario Javier Llumitasig Calvopiña

AGRADECIMIENTO

Primeramente, dar gracias a dios por darme salud y vida para seguir cumpliendo las metas que me he propuesto en mi vida, a la virgencita María al niño Jesús por ser mis intercesores ante nuestro padre celestial, por cuidarme y guiar mi vida.

Agradezco a mis padres por todo su apoyo brindado durante este camino de vida estudiantil y en general agradecer a toda mi familia Cesar, Rogelia, Klever Nataly, Domenica, Jaqueline, y en especial a mi compañera de vida Lucia, que siempre han estado ahí en las buenas y malas.

A la Universidad Técnica De Cotopaxi mi más profundo agradecimiento por haberme abierto las puertas y dado la oportunidad de formarme profesionalmente dentro de sus aulas, a todos los docentes que estuvieron al frente de este proceso de formación académica impartiendo sus conocimientos, en especial a mi tutor por ser nuestro guía durante el desarrollo del presente proyecto.

Mario Javier Llumitasig Calvopiña

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, diciembre, 09, 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Mario Javier Llumitasig Calvopiña', written over a horizontal line.

.....
Mario Javier Llumitasig Calvopiña
CC: 0503799751

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, diciembre, 09, 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Mario Javier Llumitasig Calvopiña', written over a horizontal line.

.....
Mario Javier Llumitasig Calvopiña
CC: 0503799751

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: Implementación de un material compuesto utilizando polvo de neumático, para la fabricación de piso flexible para el uso en talleres automotrices contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, diciembre, 09, 2021



.....
PhD. Laurencio Alfonso Héctor Luis
CC: 1758367252

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Título: Implementación de un material compuesto utilizando polvo de neumático, para la fabricación de piso flexible para el uso en talleres automotrices.

Autor: Llunitasig Calvopiña Mario Javier

Tutor: Mgs. Moreano Martínez Edwin Homero

RESUMEN

El trabajo de titulación obtuvo un material compuesto con forma y dimensiones de una baldosa mediante el aprovechamiento del polvo de neumático fuera de uso, mismo que es desechado y van a parar en sumideros, ríos y finalmente al mar, mediante procesos de trituración se tiene el polvo de neumático y aprovechando sus características mecánicas se puede utilizar como matriz para formar un material compuesto conjuntamente con un ligante como el poliuretano liquido en una concentración sugerida del 20% y bajo condiciones de presión y temperatura que nos proporciona una maquina prensadora tenemos el material compuesto aprovechando aproximadamente un 99% de la materia prima, se realizó probetas de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM D638 y D2240 para establecer sus propiedades mecánicas tracción y dureza respectivamente, teniendo valores de 68 en dureza en la escala de Shore A apto para usar como recubrimiento en un piso de un taller automotriz garantizando un piso flexible y la durabilidad del mismo.

PALABRAS CLAVE: Material compuesto; Polvo de neumático; Baldosa de caucho; Piso flexible; Tracción; Dureza.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Title: Implementation of a composite material using tire powder for the manufacture of flexible flooring for use in automotive workshops.

Author: Llumitasig Calvopiña Mario Javier

Tutor: Mgs. Moreano Martínez Edwin Homero

ABSTRACT

The degree work obtained a composite material with the shape and dimensions of a tile by using the dust from end-of-life tires, which is discarded and ends up in drains, rivers and finally in the sea, by means of shredding processes we have the tire dust and taking advantage of its mechanical characteristics it can be used as a matrix to form a composite material together with a binder such as liquid polyurethane in a suggested concentration of 20% and under pressure and temperature conditions provided by a pressing machine we have the composite material taking advantage of approximately 99% of the raw material, test pieces were made according to the specifications of the ASTM D638 and D2240 standards to establish its mechanical properties traction and hardness respectively, having values of 68 in hardness on the scale of Shore A suitable for use as a coating on a floor of an automotive workshop ensuring a flexible floor and durability of the same.

KEYWORDS: Composite material; Tire dust; Rubber tile; Flexible floor; Tensile strength; Hardness.

Yo, Mg Marco Paúl Beltrán Semblantes con cédula de identidad número 0502666514 Licenciado en Ciencias de la Educación especialización Inglés con número de registro de la SENESCYT: 1020-06-701921; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: "Implementación de un material compuesto utilizando polvo de neumático, para la fabricación de piso flexible para el uso en talleres automotrices" de: Llumitasig Calvopiña Mario Javier a Magister en Electromecánica.

Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes
0502666514



CENTRO
DE IDIOMAS

Latacunga, diciembre, 09, 2021

INDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN

| | |
|----------------------------------|---|
| Antecedentes:..... | 1 |
| Planteamiento del problema:..... | 4 |
| Objeto y campo de acción | 5 |
| Campo de acción..... | 5 |
| Objetivo general..... | 6 |
| Justificación:..... | 9 |
| Hipótesis..... | 9 |

CAPÍTULO I

| | |
|---|----|
| 1.1. Introducción y objetivo del capítulo | 10 |
| 1.2. Antecedentes de la investigación | 10 |
| 1.3. Material compuesto..... | 13 |
| 1.4. Poliuretano..... | 14 |
| 1.5. Mezcladora..... | 16 |
| 1.6. Prensa | 17 |
| 1.7. Caracterización del material | 18 |
| 1.7.1. Tracción..... | 18 |
| 1.7.2. Dureza | 21 |

CAPITULO II

| | |
|-------------------------------------|----|
| 2.1. Metodología..... | 23 |
| 2.2. Método de fabricación..... | 23 |
| 2.3. Material matriz..... | 24 |
| 2.4. Catalizador | 25 |
| 2.5. Mezcla | 26 |
| 2.6. Diseño experimental.-..... | 27 |
| 2.7. Compactación o prensado | 28 |
| 2.8. Corte de probetas | 28 |
| 2.9. Ensayo de dureza | 29 |
| 2.10. Ensayo de tracción | 30 |
| 2.11. Proceso de compactación | 31 |

CAPÍTULO III

| | |
|--|----|
| 3.1. Introducción y objetivo | 33 |
| 3.2. Proceso de conformación del material compuesto..... | 33 |

| | | |
|----------------------------------|--|----|
| 3.2.1. | Proporciones 50-50%. - | 34 |
| 3.2.2. | Proporciones 80-20%. | 39 |
| 3.2.3. | Proporciones 90-10% | 42 |
| 3.3.1. | Ensayo de dureza | 46 |
| 3.3.2. | Ensayo de tracción | 47 |
| 3.4. | Validación del producto. | 52 |
| 3.5. | Calculo de VAN y TIR | 53 |
| 3.5.1. | Influencia socioeconómica de la propuesta..... | 53 |
| CONCLUSIONES GENERALES | | 56 |
| RECOMENDACIONES..... | | 57 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 58 |
| ANEXOS | | 62 |

INTRODUCCIÓN

Antecedentes: Por lo general los pisos rígidos de concreto presentan fisuración inicial por contracción plástica: este tipo de patología se presenta antes de finalizar la construcción del piso o losa debido a múltiples factores como falta de barreras de viento y cubierta, o problemas de temperatura y manejabilidad del concreto[1]. Expertos en proyectos de pisos de concreto sugieren que se debe proyectarse y programarse de manera integral, es decir, en conjunto con el cliente, diseñador y constructor con el fin de determinar que las expectativas finales de uso sean consecuentes con lo especificado en cuanto a aspectos técnicos y económicos previstos, otra alternativa es el recubrimiento sobre ya una base sólida y firme.



Fig. 1. Caída de objetos.
Fuente: Propio

El diseño del piso de los centros de trabajo, independientemente de su tamaño y actividad, disponen de zonas específicas para almacenamiento de materiales. Las condiciones de seguridad que deben cumplir se pueden aplicar tanto a grandes almacenes del sector logístico, como a zonas destinadas al depósito de materiales en pequeñas y medianas empresas[2]. Un movimiento telúrico puede causar la caída de varios objetos y estos se impactan contra el piso sufriendo un deterioro parcial o total



Fig. 2. Consecuencias del impacto con piso rígido.
Fuente: Propio

El caucho es una sustancia que se caracteriza por su excelente elasticidad, impermeabilidad ante el agua y gran resistencia eléctrica, se obtiene de manera natural o sintética, el caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco denominado látex, que se encuentra en una variedad de plantas [1]. Cuando el caucho está en estado natural este se presenta forma de suspensión coloidal en el látex de las plantas productoras de dicha sustancia, una de estas plantas es el árbol de la especie *Hevea Brasiliensis*, de la familia de las Euforbiáceas, originario del Amazonas. También una de las plantas productoras del caucho proviene de un árbol de hule [1].

El caucho de rueda granulado obtenido por el método de trituración mecánica, esta trituración también puede ser criogénica, con la que se obtiene un tamaño de grano mucho más pequeño y una diferente rugosidad debido a las bajas temperaturas, este residuo es utilizado en la actualidad como modificador de capas asfálticas [2].

Un método para aprovechar los residuos del caucho, son los métodos mecánicos como la molienda el mezclado a una alta velocidad, los químicos mecánicos des vulcanización también los químicos con reactivos orgánicos e inorgánicos, térmicos como los digestores, en medios alcalinos y con ultrasonido [3]. De acuerdo a varios autores recomiendan para la mayoría de estos procesos, primero triturar el caucho para reducirlo a un tamaño y forma regular de los gránulos y así facilitar a los químicos, aditivos y agentes de expansión reaccionen de una manera adecuada con la estructura vulcanizada, también esto permite que las fibras de acero, textiles y aditamentos metálicos se separen de una manera más eficiente ya que estos están presentes en el caucho que se lo procesa.

En el estudio realizado por Crespo Amorós mencionan que, con adhesivos, la temperatura es uno de los parámetros que más en cuenta se debe tener para la utilización de los adhesivos que nos facilita el fabricante, la temperatura de sinterizado nos puede condicionar en esta parte del estudio [2].

A más de eso hay que tomar en cuenta que la temperatura más elevada de utilización de los adhesivos oscila entre los 180 °C, teniendo así una temperatura menor a la

óptima de sinterizado que se tiene para los resultados óptimos de sinterizado del CRG sin adhesivo que se dio a los 200 °C.

Los productos fabricados con caucho reciclado presentan en términos generales un desempeño inferior en relación a productos que utilizan cauchos en estado virgen, y para tratar de emparejar esta situación es necesario mejorar la compatibilidad del caucho reciclado con las matrices a las cuales se le agrega [3]. Para mejorar la compatibilidad se utiliza métodos avanzados en la modificación de las partículas de caucho a través de métodos como los químicos y los físico-mecánicos.

La recuperación elástica por torsión [1] este parámetro es significativo a la hora de valorar la eficiencia del proceso de modificación, los valores logrados del orden del 30% fueron un gran aliciente, máximo si se considera que se partió de valores del orden del 10%.

Al-Malki [4] realizaron mezclas de polietileno de alta densidad (HDPE) con caucho de llantas fuera de uso triturado de HDPE con caucho polibutadieno virgen, y compararon las propiedades mecánicas y reológicas de las mezclas, Álvarez [5] menciona que de la distancia entre partículas es el parámetro más crítico y por tanto que más efecto tiene sobre la tenacidad. El comportamiento mecánico que tubo fue muy parecido al que posee el polibutadieno virgen en la matriz de HDPE, presentándose así la oportunidad para el uso del caucho reciclado en este tipo de matrices, F. Moreno y colaboradores [6] mencionan que debido a las mejoras de las propiedades mecánicas del betún aportadas tras la incorporación de polvo de neumático, las mezclas fabricadas con estos ligantes se postulan como una posible solución a problemas como las fisuración por fatiga.

En un ensayo realizado en Chile, consiste básicamente en la medición del esfuerzo a la penetración a temperatura y velocidad controlada que presentan probetas de materiales compuestos con distintos ligantes, considerando que la mezcla más adecuada es aquella que presenta el valor máximo de esfuerzo a la penetración [7], por lo general las propiedades que se intentan mejorar son la resistencia bajo carga monotónica, al ahuellamiento, la fatiga, y el envejecimiento, y disminuir la susceptibilidad térmica [8], a más de eso el autor recomienda para evaluar las

propiedades físicas del material compuesto realizar ensayos de penetración (a la temperatura estándar de 25 °C) y punto de ablandamiento, adicionalmente se realizaron varios ensayos de viscosidad con el fin de definir las temperaturas adecuadas de mezcla y compactación.

Tras realizar un análisis a este efecto podemos decir que cuando se coloca un piso blando se flexibiliza la estructura, por lo que se tienen un periodo mucho más amplio, asignando así un coeficiente sísmico menor [9]. Sin embargo Peláez Arroyave y sus colaboradores [3] afirman que en la mayoría de las investigaciones se ha mostrado que a pesar de la reducción de densidad y la mejoría en propiedades de resistencia al impacto, tenacidad, ductilidad y aislamiento acústico, también se pueden generar una disminución en propiedades como resistencia a la compresión y a la tracción, evidenciando la necesidad de continuar buscando soluciones para superar este tipo de inconvenientes.

Planteamiento del problema: Generalmente los pisos en los talleres automotrices suelen ser de concreto y en otros casos de algún otro tipo de material rígido, el problema radica cuando un mecánico o técnico se encuentra laborando y de pronto involuntariamente suelta algún elemento o repuesto y el mismo se impacta con el piso, causa por la que sufre un deterioro y en el peor de los casos se rompa, tal es en el caso de electricidad automotriz donde se manipula bombillos de diferente tipo y tamaños que son elementos sumamente sensibles ante un impacto, generando un deterioro prematuro en las herramientas y repuestos automotrices por ende generando pérdidas económicas.

El problema radica en la rigidez del piso donde se trabaja, si tan solo se pudiera tener un piso flexible, suave, resistente, que el daño que sufre un cuerpo al impactarse con el mismo no sufra deterioros y por supuesto sea de una vida útil similar o más prolongada que el piso de concreto.

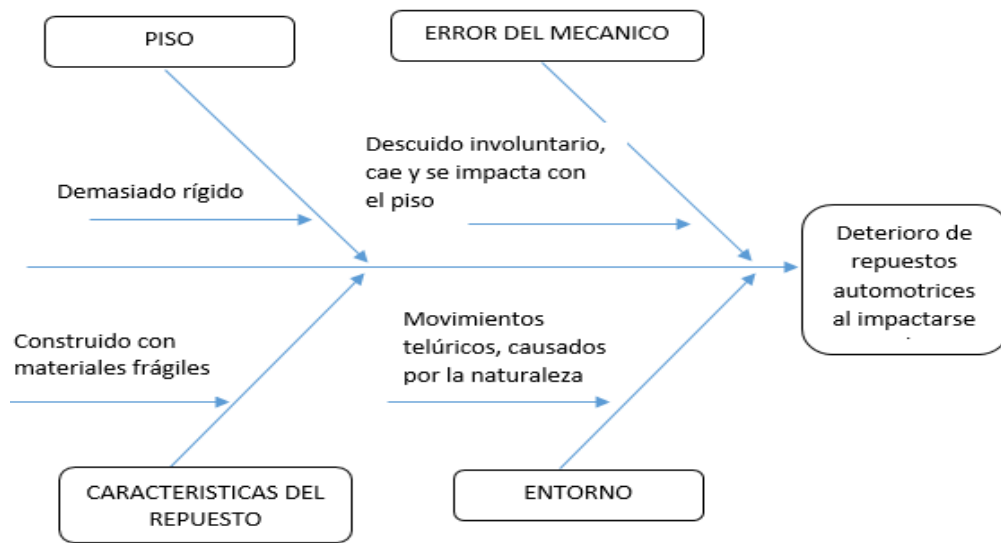


Fig. 3. Diagrama Ishikawa.

Fuente: Propio

Es inevitable saber cuándo y dónde va a impactarse un repuesto automotriz y sufra un deterioro o simplemente salga de uso debido a las condiciones del piso y errores involuntarios y condiciones ambientales, lo que sí es posible es disminuir los daños que estos pueden sufrir implementando un piso flexible y que mejor que de materiales fuera de uso que después de su vida útil solo contaminan el medio ambiente, con la implementación de piso flexible se pretende disminuir los deterioros y la baja de algún repuesto.

Objeto y campo de acción

El objeto de estudio comprende el material compuesto a base de neumático triturado.

Campo de acción: los componentes que forman el material compuesto y las propiedades mecánicas del mismo.

Tras conocer esta situación nace la idea de formar un material compuesto con características mecánicas distintas al piso tradicionalmente utilizado, que sea flexible y a la vez resistente a las deformaciones capaz de soportar grandes cargas puesto que un taller automotriz no solo trabaja con elementos eléctricos si no también con elementos mecánicos como por ejemplo pitones, árbol de levas, zapatas, etc.

Objetivo general: Generar un material compuesto utilizando polvo de neumático, para la fabricación de piso flexible para el uso en talleres automotrices.

Como primer objetivo, compilar información necesaria para determinar el material y método de compactación adecuado para formar el material compuesto teniendo como matriz el neumático triturado.

El segundo objetivo, determinar las propiedades mecánicas (tracción y dureza) del material compuesto con distintas probetas.

Finalmente, como tercer objetivo validar la propuesta según las propiedades mecánicas de cada piso.

Sistema de tareas en relación a los objetivos específicos

Tabla 1

Sistema de tareas en función a los objetivos específicos

| Objetivo Específico | Actividad(tareas) | Resultado de la actividad | Descripción de la actividad |
|---|---|--|---|
| Determinar el material más adecuado para formar el material compuesto con el polvo de neumático. | Búsqueda de información sobre materiales candidatos para formar el material compuesto. | Datos de características de materiales compuestos | Herramientas digitales, investigaciones, publicaciones y artículos científicos. |
| | Organización de la información y selección del material más idóneo tomando en consideración aspectos como: disponibilidad en el mercado y costo de adquisición. | Información referente a costos de insumos para la fabricación de este tipo de materiales | Lecturas comprensivas, cuadros para organizar la información. |

| | | | |
|---|---|--|-----------------------------------|
| | Adquisición del material de acuerdo a la cantidad necesaria. | | |
| | Investigación bibliográfica de métodos de compactación. | Mencionar los métodos de compactación | Cuadros sinópticos |
| Establecer el método de compactación adecuado de acuerdo al material que formara parte del material compuesto. | Selección del método adecuado tomando en consideración aspectos como lugar donde se va llevar a cabo, materiales y de ser necesario maquinaria. | Selección del método adecuado para la compactación | Utilizando un cuadro comparativo. |
| | Determinación de volumen o porcentaje de cada material. | Determinación de la cantidad de material | Balanzas |
| | Proceso de compactación. | Obtención del material compuesto | Moldes para probetas |
| Determinar las propiedades mecánicas (tracción, tensión, compresión, flexión, resistencia al impacto) del material compuesto | Recopilación de información sobre propiedades mecánicas de un material compuesto. | Datos de propiedades de materiales similares | Bibliografía digital |
| | Selección del lugar y disponibilidad de instrumentos y máquinas para llevar a cabo las pruebas. | La disponibilidad de las máquinas. | Indagación |
| | Dimensionamiento de probetas de acuerdo a la | Dimensiones exactas de las probetas | Tablas, tabular resultados |

| | | | |
|--|---|---|--|
| con distintas probetas. | disponibilidad de instrumentos y maquinas. | | |
| | Construcción de probetas de acuerdo a las especificaciones para realizar las pruebas. | Probetas listas para los ensayos | Moldes para probetas. |
| | Llevar a cabo las pruebas. | Datos de las características mecánicas del material compuesto | Máquina de ensayo de tracción, compresión e impacto. |
| Validar la aplicación según la resistencia mecánica del material en la fabricación de piso. | División del taller automotriz por áreas de trabajo. | Estableces características del material compuesto | Software para planos |
| | Selección de la forma y dimensiones para construir el elemento que recubrirá el piso. | Forma de baldosa, ladrillo y alfombra | Criterio de empleados “encuesta” |
| | Selección del material compuesto con las propiedades mecánicas adecuadas para el piso de cada área. | Electricidad automotriz ”flexibilidad”, Mecánica de patio “Resistente al impacto” motores “resistente al impacto” | Tabulaciones |
| | Validar los resultados obtenidos. | Pruebas de tracción, impacto de objetos | Análisis de curvas |

Fuente: Propia

Justificación: Con la implementación de un piso flexible se pretende disminuir el deterioro de herramientas y especialmente de repuestos automotrices, por ende la disminución de las pérdidas económicas generado por los elementos antes mencionados, el presente trabajo de investigación se enfoca básicamente en construir un material compuesto, especialmente con caucho triturado de neumáticos fuera de uso, el neumático en si es flexible y muy resistente como para recubrir un piso, previo a esto se debe darle un tratamiento iniciando por la trituración, según investigaciones anteriores el caucho ayuda a mejorar las propiedades mecánicas de capas asfálticas, esta vez el neumático triturado será la matriz principal que brindara sus características de flexibilidad ente otras para la fabricación de pisos de diferentes características mecánicas, esto debido a que un taller automotriz puede tener áreas con elementos más propensos a sufrir deterioros frente a un impacto con el piso donde se está trabajando tal es el caso del área de electricidad automotriz y el área de mecánica de patio donde se manipula elementos frágiles y elementos pesados y resistentes respectivamente.

No todos los pisos necesitan ser flexibles, resistentes a impactos o estar expuestos a fatiga, de acuerdo a estas consideraciones se debe analizar el comportamiento de diferentes porcentajes de concentración de los materiales que formaran al material compuesto, propiedades mecánicas como tracción y dureza con estas características mecánicas se seleccionara el material compuesto adecuado para la fabricación de elementos que recubrirán el piso de cada área de un taller automotriz, pudiendo ser posibles candidatos forma y dimensiones de una baldosa, ladrillo o dependiendo de la disponibilidad de la tecnología para fabricar alfombra para recubrir el piso y así solucionar problemas de deterioro o perdida de algún objeto que se impacte con el piso, e incluso podría ser de gran utilidad para pisos de los laboratorios de química donde se manipula instrumentos muy frágiles y costosos a la vez.

Hipótesis. - Con la implementación del piso flexible a base de polvo de neumático, reducirá los daños de los elementos que sufren un impacto en el piso rígido sobre el que se está trabajando

CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEORICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO, PARA EL USO EN TALLERES AUTOMOTRICES

1.1. Introducción y objetivo del capítulo. - La implementación de un material compuesto demanda de varios factores para tener una compactación con el material matriz y sus propiedades mecánicas, este capítulo trata sobre la recolección de información de los procesos para obtener el material compuesto. El objetivo del presente capítulo es: exponer los fundamentos teóricos necesarios para la implementación del material compuesto revisando trabajos precedentes con respecto a materiales compuestos, consolidando el conocimiento científico establecido en la literatura consultada en propiedades mecánicas de este tipo de materiales.

1.2. Antecedentes de la investigación. - El caucho es una sustancia natural o sintética que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. El caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, que se encuentra en numerosas plantas [1]. En estado natural, el caucho aparece en forma de suspensión coloidal en el látex de plantas productoras de caucho. Una de estas plantas es el árbol de la especie *Hevea Brasiliensis*, de la familia de las Euforbiáceas, originario del Amazonas. Otra planta productora de caucho es el árbol del hule, *Castilloa elástica*, originario de México, muy utilizado desde la época prehispánica para la fabricación de pelotas, instrumento primordial del juego de pelota, deporte religioso y simbólico que practicaban los antiguos mayas [1].

El caucho de neumático granulado es obtenido a través de una trituración mecánica. La trituración criogénica es una alternativa, con la que se obtiene un tamaño de grano mucho más reducido y una rugosidad diferente debido a las bajas temperatura, este residuo es utilizado actualmente como modificador de asfalto [2].

Los métodos de aprovechamiento de los residuos de caucho se clasifican en procesos mecánicos, criomecánicos, termo-mecánicos (molienda, mezclado de alta velocidad), químico-mecánicos (desvulcanización, proceso criogénico de

Trelleborg - TCR por sus siglas en inglés -, hinchamiento en benceno), químicos (con reactivos orgánicos, e inorgánicos), térmicos (en digestores, en autoclaves, en medios alcalinos, en medios neutros, con acción de vapor de alta presión), biotecnológicos, procesos con microondas y con ultrasonido [3]. En la mayoría de estos procesos, es necesario primero triturar el caucho hasta reducirlo a gránulos de tamaño y forma regular, y de esa manera facilitar que los aditivos químicos y agentes de expansión reaccionen adecuadamente con la estructura vulcanizada, a la vez que se separan más eficientemente las fibras de acero, textiles y aditamentos metálicos que puedan estar presentes en el caucho que se procesa.

En el estudio realizado por [2] mencionan que con adhesivos, uno de los parámetros a tener en cuenta es la temperatura de utilización de los adhesivos facilitada por el fabricante, ya que esta nos puede condicionar la temperatura de sinterizado en esta parte del estudio.

A más de eso hay que tomar en cuenta la temperatura máxima de utilización de los adhesivos, puesto que se encuentra en 180 °C, y por lo tanto ésta es menor que la temperatura óptima de sinterizado obtenida en los resultados óptimos de sinterizado del CRG sin adhesivo que fue de 200 °C.

Los productos fabricados con caucho reciclado presentan en términos generales un desempeño inferior al de los que utilizan cauchos vírgenes, y para reducir esta diferencia es necesario mejorar la compatibilidad del caucho reciclado con las matrices a las cuales se adiciona [3]. Para mejorar la compatibilidad se ha avanzado en la modificación de las partículas de caucho a través de métodos químicos y físico-mecánicos.

La recuperación elástica por torsión [1] este parámetro es significativo a la hora de valorar la eficiencia del proceso de modificación, los valores logrados del orden del 30% fueron un gran aliciente, máximo si se considera que se partió de valores del orden del 10%.

Al-Malki [4] realizaron mezclas de polietileno de alta densidad (HDPE) con caucho de llantas fuera de uso triturado de HDPE con caucho polibutadieno virgen, y compararon las propiedades mecánicas y reológicas de las mezclas, Alvarez [5]

menciona que de la distancia entre partículas es el parámetro más crítico y por tanto que más efecto tiene sobre la tenacidad. El comportamiento mecánico fue muy similar al del polibutadieno virgen en la matriz de HDPE, lo cual representa una oportunidad para el uso de caucho reciclado en ese tipo de matrices, F. Moreno y colaboradores [6] mencionan que debido a las múltiples mejoras en las propiedades mecánicas del betún que aporta al incorporar al polvo de neumático, las mezclas que se están fabricando con este tipo de ligantes se postulan como una posible solución a diferentes problemas como las mismas fisuras por fatiga.

En un ensayo realizado en Chile, consiste básicamente en la medición del esfuerzo a la penetración a temperatura y velocidad controlada que presentan probetas de materiales compuestos con distintos ligantes, considerando que la mezcla más adecuada es aquella que presenta el valor máximo de esfuerzo a la penetración [7], por lo general las propiedades que se intentan mejorar son la resistencia bajo carga monotónica, al ahuellamiento, la fatiga, y el envejecimiento, y disminuir la susceptibilidad térmica [8], a más de eso el autor recomienda para evaluar las propiedades físicas del material compuesto realizar ensayos de penetración (a la temperatura estándar de 25 °C) y punto de ablandamiento. Adicionalmente, se realizaron ensayos de viscosidad con el fin de determinar las temperaturas de mezcla y compactación.

Tras analizar este efecto se puede decir que cuando se coloca un piso blando se flexibiliza la estructura, por lo que tiene un periodo mayor, al cual se le asigna un coeficiente sísmico menor [9]. Sin embargo Peláez Arroyave y sus colaboradores [3] afirman que en la mayoría de las investigaciones se ha mostrado que a pesar de la reducción de densidad y la mejoría en propiedades de resistencia al impacto, tenacidad, ductilidad y aislamiento acústico, también se pueden generar una disminución en propiedades como resistencia a la compresión y a la tracción, evidenciando la necesidad de continuar buscando soluciones para superar este tipo de inconvenientes.

La construcción de áreas para juegos infantiles está regida a reglamentaciones de construcción donde implican el estricto cumplimiento de parámetros de seguridad que establece la norma UNE EN 1177[3].



Fig. 4. Aplicación del polvo de NFU en parques.
Fuente: [3]

El empleo de granulado evita lesiones de los más pequeños y da seguridad a los más mayores. En su elaboración se utiliza una mayoría de granulado junto con aglomerantes y pinturas especiales que convierten a estas zonas de juego en lugares llamativos y seguros[3].

La incorporación del neumático fuera de uso favorece la aparición del aire en el estado fresco del hormigón esto debido a la baja adherencia entre el DFU-G y NFU-F y la mezcla de cemento. Como consecuencia directa de esto, los hormigones fabricados con NFU ofrecen una mayor absorción y porosidad, aumentando éstas con el tamaño del NFU[4].

1.3. Material compuesto.- Son numerosos los fenómenos que intervienen en el proceso de aleación mecánica, siendo igualmente complejo aislar las etapas a través de las cuales evoluciona el polvo hasta la consecución del elevado nivel de propiedades que los caracteriza [10], La aleación mecánica presenta por ello, frente a otros métodos de obtención de polvo, la característica fundamental de realizarse en estado sólido, eliminando de esta forma las limitaciones asociadas a los puntos de fusión y solubilidades relativas, permitiendo así, la síntesis de nuevas aleaciones, esto partiendo de una mezcla inicial de elementos de alta y baja temperatura de fusión, junto con la síntesis de aleaciones o materiales compuestos enormemente dispersados y muy lejos de su estado de equilibrio térmico.

Según Crespo y colaboradores “las condiciones de sinterizado aplicadas están comprendidas entre 160-180°C de temperatura y 6000 kg de fuerza para la compactación y se analiza el comportamiento del GTR con el adhesivo de policloropreno 575” [2].

El sinterizado, es un proceso de transformación en el cual por medio de la aplicación de presión y temperatura se conforma un objeto, en este caso una lámina de residuo de neumático con unas medidas determinadas. La cantidad de residuo empleada en la obtención de cada lámina es de 150 gramos, ya que se comprobó en estudios previos de sinterizado que esta cantidad era la más adecuada para la obtención de una lámina de aproximadamente 4 mm de espesor, lámina que es troquelada para la obtención de probetas para su ensayo mecánico.

Como matriz termostable se ha utilizado el producto resultante del curado completo de diglicil éter de bisfenol A (DGEBA) (Figura 5) con un peso medio molecular de 348 g/mol ($n = 0.03$, donde n representa la contribución media debida a la presencia de diferentes oligómeros).

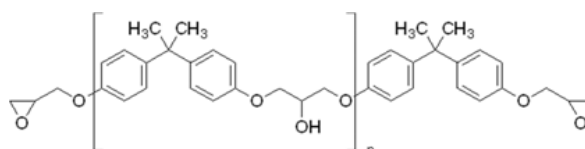


Fig. 5. Monómero de diglicidil éter de bisfenol A (DGEBA)

Fuente: [11]

Mientras que con 1,5-diamino-2-metilpentano, DAMP (Figura 6), suministrados ambos dos por Aldrich Co [11].

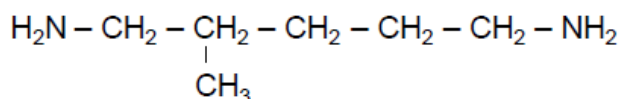


Fig. 6. 1,5 - diamino-2-metilpentano (DAMP).

Fuente: [11]

1.4. Poliuretano. - Teniendo en cuenta en el campo que se encuentra desarrollando la investigación, así como los procesos que se deben llevar a cabo para desarrollarlo, es necesario tener en cuenta algunos conceptos que nos

permitirán entender y conceptualizar la propuesta para poder darle una aplicación y desarrollo consecuentes[5]. Para la elaboración de baldosas en polvo de neumático fuera de uso es importante identificar las materias primas a emplearse en la construcción de esta.

Poliuretano, la resina de poliuretano es una sustancia que aglomera las partículas de caucho. Además “Son conocidos como aislantes térmicos y espumas resilientes, elastómeros durables, adhesivos y selladores de alto rendimiento”[5].

El poliuretano es uno de los polímeros ampliamente utilizado en numerosos procesos industriales. Es el resultado de una mezcla de polioli e isocianato[6].

Actualmente, el poliuretano se encuentra en muchos ámbitos nuestra vida diaria. Sus aplicaciones son muy diversas. Además de tener una mayor flexibilidad que otros agentes que otros agentes muy similares, pues este destaca por su resistencia al impacto de solventes químicos, esto le permite ser utilizado en una variedad de procesos productivos[6].

El poliuretano presenta algunas características favorables en diferentes aplicaciones dentro de las ventajas esta lo siguiente:

Reducción del exceso de ruido.

Resistencia estructural

Estabilidad térmica

Resistencia a la humedad.

Crea una película sólida y duradera.

Resistencia al agua y los químicos.

Impermeabilidad[6].

Tiene una excelente adherencia a los materiales normalmente usados en la construcción sin necesidad de adherentes de ninguna especie, muy buena estabilidad dimensional entre rangos de temperatura desde -200 °C a 100 °C[7].

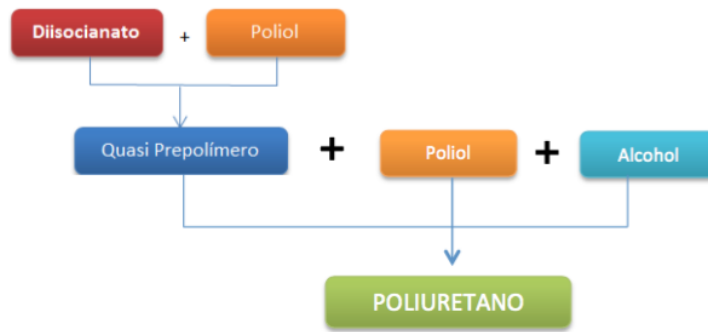


Fig. 7. Obtención del poliuretano
Fuente: [8]

Los macroglicoles tipo poliéster con grupos hidroxilo terminales, utilizados en la elaboración de poliuretanos, generalmente son sinterizados a partir de ácido adípico y un exceso de glicol como el etilenglicol, 1,4-butanodiol, 1,6-hexanodiol. O neopentilglicol, entre otros[9].

1.5. Mezcladora. - El mezclador desarrolla un proceso de mezcla con suavidad y fluidez de sólido / sólido en cualquier porcentaje y sólido / líquido en forma de polvo o granulado y con distintos pesos específicos, por su forma, crea en su interior unas corrientes axiales que separan y unen el material a mezclar y que, unido a la acción radial de la mezcla, da como resultado una mezcla rápida y homogénea sin utilizar palas deflectoras u otros dispositivos mecánicos[10].



Fig. 8. Mezcladora de polvo de neumático
Fuente: [11]

La máquina mezcladora M-100 tipo para la mezcla en cualquier tipo de jobsites, esta máquina equipada con un motor reductor mezcla la papilla de goma

directamente, esta función es fácil de controlar, uniforme de agitación y de alta eficiencia. La estructura de la maquina es compacta y muy fácil de manejar, pensada en clientes nacionales y extranjeros[11].

Ocasiones aplicables:

1. La mezcla de caucho Deportivo
2. La mezcla de la construcción de carreteras de asfalto
3. Mezcladoras de hormigón de la construcción de casas
4. La mezcla de partículas de alimento agrícola

1.6. Prensa. – Las prensas multi-plataforma, servimos a la industria del caucho con prensas de moldeo por compresión dedicadas a la producción de neumáticos, prensas equipadas con placas de calentamiento, sistema de carga y descarga de moldes automatizado y sistema de expulsión de neumáticos[12].



Fig. 9. Máquina para baldosas de caucho
Fuente: [13]

Cubrir con adhesivo anti paño, empujar el molde para que sea vulcanizado, el tiempo de vulcanización es de acuerdo al espesor de la baldosa, en general 8 hasta 20 minutos y finaliza el proceso, Después de eso, el molde se separa automáticamente y ya puede quitar la baldosa y pasarles a los estantes para secar[13].

1.7. Caracterización del material. – Para estudiar el comportamiento del material compuesto con matriz de polvo de neumático, tener la certeza de que el material va a ser útil para el propósito planteado se tiene que utilizar un método de ensayo que permita determinar sus propiedades mecánicas[14].

Se realiza una prueba casera, donde se tomara una de las baldosas de caucho, en la que aplicando nuestra propia fuerza se tratara de romper la baldosa, por lo cual permitirá determinar a simple vista la resistencia del material compuesto[5].

1.7.1. Tracción. – Uno de los ensayos mecánicos tensión-deformación más común es el que se realiza a tracción, varias propiedades de los materiales de los materiales pueden ser determinadas mediante el ensayo tracción y se realiza con una maquina universal, la versatilidad del ensayo de tracción radica en el hecho de que nos permite medir al mismo tiempo, la ductilidad y la resistencia, el valor de la resistencia es directamente utilizado en todo lo que se refiere al diseño, los datos relativos a la ductilidad, proveen una buena medida de los límites hasta los cuales se puede llegar a deformar el acero Normalmente se deforma una probeta hasta rotura, con una carga de tracción que aumenta gradualmente y que es aplicada uniaxialmente a lo largo del eje de la probeta [12].

Se ata a un punto fijo llamado Barandilla la cuerda o pinza, la cual sujeta el extremo superior de nuestra probeta con unas pinzas especiales y cinta americana[15].

Las propiedades de tracción de los polímeros son importantes para el diseño de piezas de plástico y la predicción de su rendimiento bajo tensión, particularmente cuando se usan en aplicaciones estructurales un ensayo de tracción son pruebas mecánicas fundamentales donde se carga una muestra cuidadosamente preparada de una manera muy controlada, mientras que la medición de la carga aplicada y el alargamiento de la muestra de más de una cierta distancia. Los ensayos de tracción se utilizan para determinar el módulo de elasticidad, límite elástico, alargamiento, límite proporcional, reducción de la superficie, resistencia a la tracción, límite de elasticidad, límite elástico a la tracción y otras propiedades[16].

Las propiedades de tracción son la mejor indicación de la resistencia de un material el dato de tracción más útil, porque las piezas se deberán diseñar de tal manera que los esfuerzos estén por debajo de este valor.



Fig. 10. Máquina universal de ensayos
Fuente: [16]

La curva de carga-alargamiento tendrá la misma forma que las curvas de esfuerzo-deformación de ingeniería[16]. Cómo realizar un ensayo de resistencia a la tracción en elastómeros de acuerdo con el estándar ASTM D638-14[17].

Este método de prueba abarca la determinación de la tensión, propiedades de los plásticos reforzados y no reforzados en forma de muestras de prueba estándar en forma de una pesa cuantos las mismas se prueban bajo condiciones ya definidas de pretratamiento, temperatura, humedad y prueba de la velocidad de la maquina[18]. Este método de prueba se puede utilizar para probar materiales de cualquier espesor de hasta 14 mm [0,55 pulg.], la ASTM D 618 Práctica para acondicionamiento de plásticos para pruebas.

La muestra de ensayo debe ajustarse a las dimensiones mostradas en la Fig. 8. La probeta de Tipo I es el espécimen preferido y se utilizará cuando el material tiene un espesor de 7 mm (0,28 pulg.) o está menos disponible. La muestra de Tipo II se puede utilizar cuando un material no se rompe en la sección estrecha con el preferido Especimen tipo I. La muestra de Tipo V se utilizará solo cuando material está limitado con un espesor de 4 mm (0,16 pulg) o menos, o donde un gran número

de las muestras deben exponerse en un espacio limitado (término y pruebas de estabilidad ambiental, etc.). la muestra de tipo IV debe utilizarse cuando las comparaciones que se requieren sean directas entre materiales que tienen diferentes casos de rigidez como los no rígidos y semirígidos, mientras que la muestra de Tipo III debe ser utilizada para todos los materiales con un espesor superior a 7 mm(0,28 pulg) pero no más de 14 mm (0,55 pulg) [18].

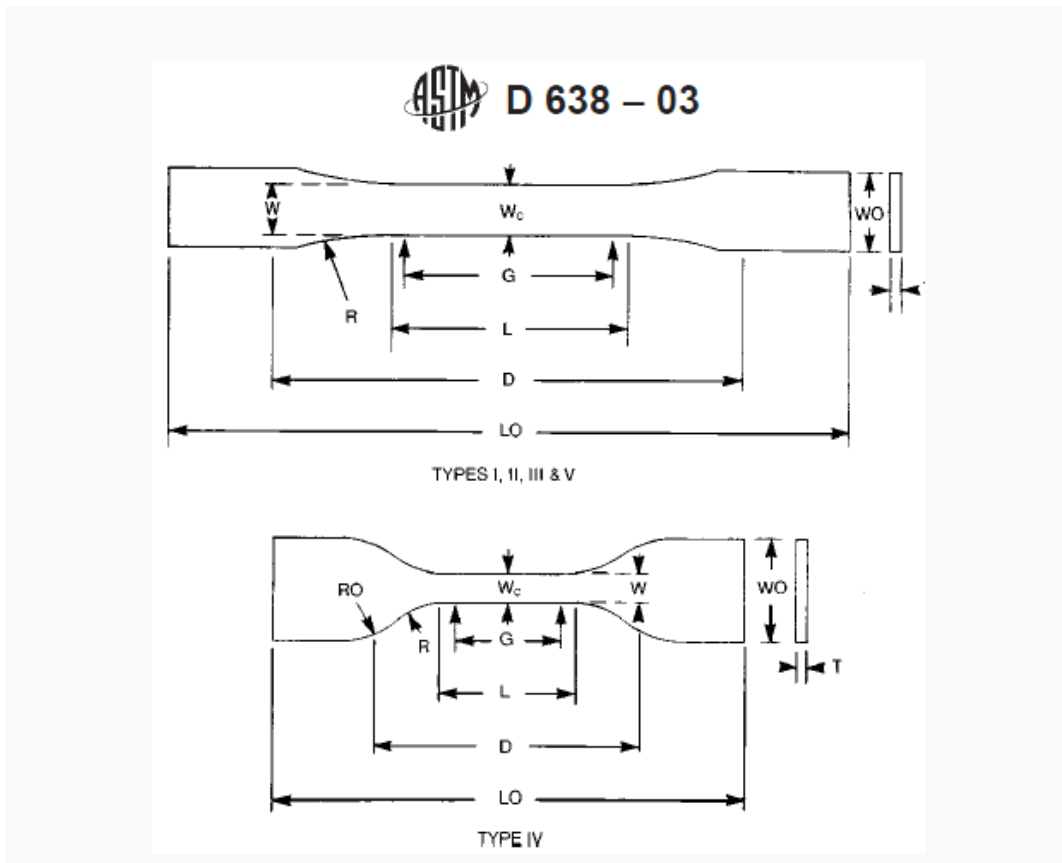


Fig. 11. Formas geométricas para ensayos de tracción

Fuente: [18]

| Dimensions (see drawings) | Specimen Dimensions for Thickness, T , mm [in.] ⁴ | | | | | Tolerances |
|---|--|-----------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|---|
| | 7 [0.28] or under | | Over 7 to 14 [0.28 to 0.55], incl | 4 [0.16] or under | | |
| | Type I | Type II | Type III | Type IV ^B | Type V ^{C,D} | |
| W —Width of narrow section ^{E,F} | 13 [0.50] | 6 [0.25] | 19 [0.75] | 6 [0.25] | 3.18 [0.125] | ± 0.5 [± 0.02] ^{B,C} |
| L —Length of narrow section | 57 [2.25] | 57 [2.25] | 57 [2.25] | 33 [1.30] | 9.53 [0.375] | ± 0.5 [± 0.02] ^C |
| W_O —Width overall, min ^G | 19 [0.75] | 19 [0.75] | 29 [1.13] | 19 [0.75] | ... | + 6.4 [+ 0.25] |
| W_O —Width overall, min ^G | ... | ... | ... | ... | 9.53 [0.375] | + 3.18 [+ 0.125] |
| L_O —Length overall, min ^H | 165 [6.5] | 183 [7.2] | 246 [9.7] | 115 [4.5] | 63.5 [2.5] | no max [no max] |
| G —Gage length ^I | 50 [2.00] | 50 [2.00] | 50 [2.00] | ... | 7.62 [0.300] | ± 0.25 [± 0.010] ^C |
| G —Gage length ^I | ... | ... | ... | 25 [1.00] | ... | ± 0.13 [± 0.005] |
| D —Distance between grips | 115 [4.5] | 135 [5.3] | 115 [4.5] | 65 [2.5] ^J | 25.4 [1.0] | ± 5 [± 0.2] |
| R —Radius of fillet | 76 [3.00] | 76 [3.00] | 76 [3.00] | 14 [0.56] | 12.7 [0.5] | ± 1 [± 0.04] ^C |
| RO —Outer radius (Type IV) | ... | ... | ... | 25 [1.00] | ... | ± 1 [± 0.04] |

Fig. 12. Dimensiones para las probetas de Tipo I-Tipo V

Fuente: [18]

1.7.2. Dureza. – La dureza es la característica de una goma que se indica con mayor frecuencia y muchas veces la que sirve para establecer las distintas clases en una especificación, existen distintas razones de esta amplia aceptación para la determinación de esta característica, es una propiedad que se puede determinar de forma sencilla y rápida, y con un equipo poco costoso también es un ensayo no destructivo, que muy frecuentemente se puede realizar directamente sobre el artículo terminado[19].

Los elastómeros termoplásticos se miden en la escala Shore A y Shore D definidos en la ISO 868, la dureza Shore es la medida de la resistencia de un material ante una penetración de una aguja bajo la fuerza definida de un resorte. Se determina como un número de 0 a 100 en las escalas A o D. Cuanto mayor sea el número, mayor será la dureza. La letra A se utiliza para los tipos flexibles y la letra D para los tipos rígidos[20].

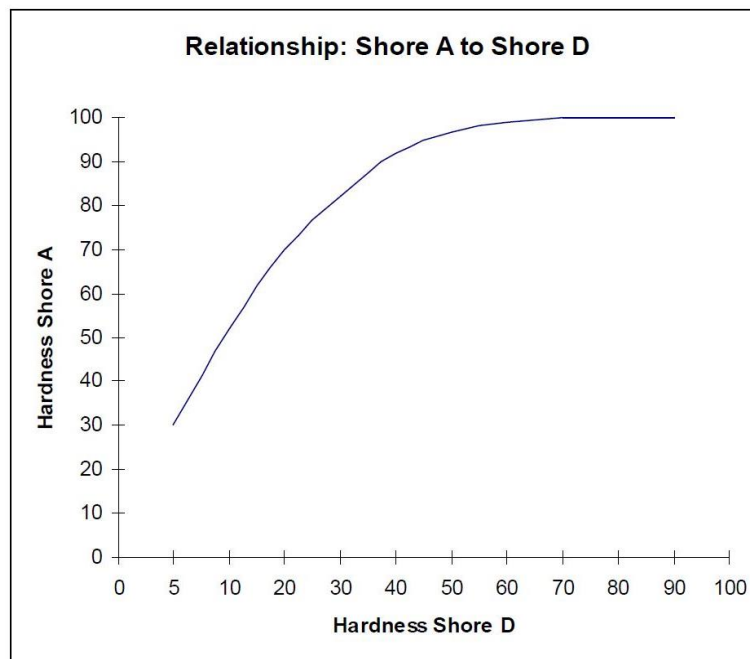


Fig. 13. Comparación dureza Shore A hasta Shore D
Fuente: [20]

Un ejemplo, el valor 30 Shore A es mucho más blando que 80 Shore A. Una vez que un material alcanza el Shore 95 A, se asemejará más a un plástico que a un material flexible en cuanto a su tacto[21].

Mediante los múltiples tipos de durómetros de bolsillo la fuerza es aplicada con la mano, y por lo consiguiente esta es indeterminada. Se obtiene mayor precisión y reproducibilidad mediante durómetros fijos en soportes, en los que la fuerza aplicada es siempre de 1 kgf para el durómetro A y de 5 kgf para el D[19].

Tabla 2
Aplicaciones del caucho según la dureza SHORE A

| Dureza del caucho - Clasificación A | |
|--|--|
| 5 - 35 Shore A | Bandas elásticas |
| 50 Shore A | Sellos de caucho |
| 55 Shore A | Sellos para puertas y gomas de borrar |
| 60 Shore A | Limpiaparabrisas |
| 65 Shore A | Neumáticos de coche |
| 70 - 80 Shore A | Suelas y tacones de zapatos, cinturones de cuero |
| 75 - 80 Shore A | Ruedas blandas de patines y monopatines |
| 75 Shore A | Almohadillas de manipulación de abrasivos |
| 70 - 90 Shore A | Juntas tóricas hidráulicas |
| 80 Shore A | Alfombrillas de ratón |
| 85 Shore A | Arandelas para grifos |
| 90 Shore A | Cable de teléfono |
| 95 Shore A | Neumáticos sólidos para carretillas elevadoras |
| 98 Shore A | Ruedas duras de patines y monopatines |
| 100 Shore A | Goma Ebonita |

Fuente: [21]

El valor de la dureza se determina por la penetración del pie del durómetro en la muestra que se está probando.

CAPITULO II. METODOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y CARACTERIZACION MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO.

Los ensayos destructivos y resistencia constituyen una herramienta que permite observar el comportamiento del material cuando esté expuesto a cargas y esfuerzos, y garantizar la durabilidad y cumplimiento de su objetivo que es preservar la integridad de elementos eléctricos y mecánicos de los elementos automotrices.

En este capítulo se definen los métodos, procedimientos y condiciones experimentales que fundamentan las propiedades a investigar para dar solución al problema planteado.

La investigación se llevará a cabo mediante el método de cálculo para determinar la cantidad de cada uno de los componentes, método experimental para determinar las propiedades mecánicas del material compuesto y nuevamente el método de cálculo para determinar ciertas características mecánicas.

Este capítulo se plantea como objetivo establecer el proceso más adecuado para la formación y determinación de las propiedades mecánicas del material compuesto.

2.1. Metodología. Para la elaboración de un material que recubra los pisos a partir de residuos de llantas es muy importante conocer la materia prima y sus características, la materia prima necesaria para la fabricación de pisos a partir del neumático triturado o polvo de neumático fuera de uso, proveniente de la trituración de las llantas [13], hay empresas que se dedica a la trituración de los neumáticos fuera de uso, el kilo de polvo de neumático tiene un costo de 60 centavos de dólar adicionalmente se requiere de resina de poliuretano y si se desea agregar pigmentos para dar color al producto en la tabla 2.1 se detalla los componentes necesarios en porcentajes de cada uno.

2.2. Método de fabricación.- Éstas se obtienen por fusión y son habitualmente empleadas como productos abrasivos y refractarios, por lo que presentan bajo coste y alta disponibilidad[22]. El objetivo no es analizar el efecto que tiene sobre las propiedades mecánicas el tamaño del grano, entonces tomando en cuenta esto, se toma como referencia algunas investigaciones que tienen procesos establecidos para la compactación y obtención del material compuesto.

Las etapas del proceso de obtención del material compuesto se resumen en: mezcla, compactación y desmoldeo.

2.3. Material matriz. – Una empresa ubicada en el sector de la Piedra Colorada provincia de Cotopaxi recicla neumáticos fuera de uso, mediante el método de trituración mecánica para obtener la materia prima para diversas aplicaciones como en calzado, sector automotriz, mezclas asfálticas, entre otras[23].

El denominado polvo de neumático fuera de uso PNFU, obtenido del reciclaje y trituración de los neumáticos usados, es una solución favorable e inocua que ofrece enormes posibilidades como recubrimientos en instalaciones de césped sintético para un campo de futbol[23].

Granulo de caucho reciclado aplicable en pavimento para reducir abrasividad, aumenta la seguridad y la absorción del agua en escenarios deportivos e infantiles[24].



Fig. 14. Forma granulométrica del polvo de neumático
Fuente: El autor

Su aplicabilidad es sobre pavimentos, pisos, baldosas para parques, el granulo de caucho reciclado desde 0,6 mm hasta 2 cm, teniendo un acabado granulométrico con un nivel de impermeabilización 90%, una resistencia eléctrica hasta 240 voltios y un grado de abrasividad o vida útil de 50% (comparado con otros materiales como asfalto y cemento), una de las ventajas es que es resistente al agua y una vida útil muy alta[24].



Fig. 15. Presentación de la materia prima
Fuente: El autor

2.4. Catalizador. - Esta etapa del proceso tiene como fin dosificar e impregnar el tipo de gránulo de caucho, en este caso Fino con un producto aglomerante que mantenga la cohesión entre los mismos otorgando homogeneidad a todo el granulado sin alterar su capacidad de elasticidad y, por consiguiente, su capacidad amortiguadora[25].



Fig. 16. Poliuretano
Fuente: El autor

Dicho producto es una resina de poliuretano de baja viscosidad cuyo curado se produce entre las 24 y 36 horas a temperatura ambiente por reacción con la humedad atmosférica, o bien, como es el caso en la fabricación de las baldosas, a altas temperaturas y humedades disminuyendo el tiempo de curado a cuestión de

minutos. Para disminuir el tiempo de reacción aún más entre la resina y los gránulos de caucho agregamos a la mezcla una sustancia más llamada catalizador que está presente en una cantidad de 50%, 20% y 10% del total del material matriz[25].

2.5. Mezcla.- Existe varias consideraciones que tomar antes de realizar el mezclado de los materiales, la humedad de cada uno de ellos es un aspecto clave, puesto que podría alterar las propiedades físicas y mecánicas del material resultante, es importante entonces realizar un secado de los materiales esto utilizando un horno, ya una vez retirado los materiales del horno, se procederá a mezclarlos manualmente en la dosificación propuesta, 50/50%, de caucho y poliuretano reciclado respectivamente[26].

Para el mezclado del polvo de neumático con el poliuretano se utilizará una mezcladora denominada M-100 para gránulos de caucho, esta máquina está equipada con reductor de motor, mezcla directamente todos los componentes[27].

Tabla 3
Características de la maquina mezcladora

| | |
|--|---------------------|
| Volumen de la tolva | 350L |
| Mezcla de rendimiento | 200 kg(cycle0.2min) |
| Velocidad de rotación del eje principal | 72 rpm |
| Poder | 3 kW |
| Peso | 190 kg |
| Dimensión (L.W.H) | 1270*920*1270 mm |

Fuente: [27]

Antes de usar, conectar a la fuente de alimentación (según la fuente de alimentación local), a continuación, haga que la máquina funcione durante 5 minutos, el siguiente paso es colocar el material gránulos y pegamento en el recipiente, el mezclado tardara de 5-6 minutos en terminar de mezclar y obtener una mezcla homogénea[27].

Tabla 4
Cantidad y costo de los productos

| Materia prima e insumos | | |
|-------------------------|---------------|--------------------------|
| Materiales | Porcentaje | Costo |
| Polvo de neumático | 80% | 60 centavos el kilo |
| Resina de poliuretano | 20% | 45 dólares el litro |
| Pigmentos | 10% del total | 3,5 dólares el kilogramo |

Fuente: El autor

2.6. Diseño experimental. - Para llevar a cabo la fabricación de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con partículas, fibras o laminas, diferentes tipos de materiales han sido combinados como matrices se han empleado cauchos sintéticos y naturales también plásticos.

Los materiales y herramientas necesarias para el desarrollo experimental son parte fundamental y debe ser de alta calidad y presión respectivamente, los materiales que componen o forman parte de este estudio consiste en mezclas volumétricas de 50, 20 y 10% de poliuretano líquido, con una matriz de polvo de neumático fuera de uso con dimensiones de 0,6 a 2 mm del grano.

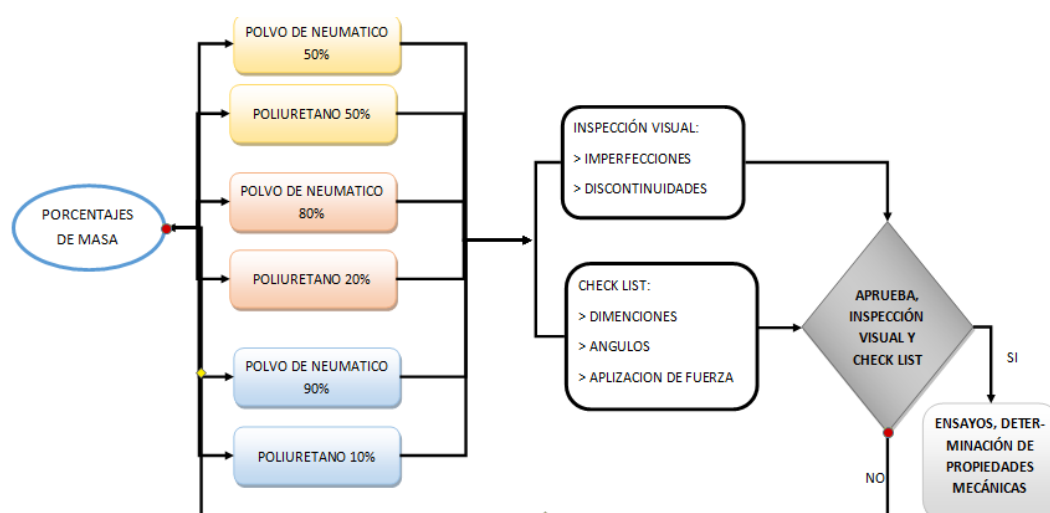


Fig. 17. Diseño experimental porcentajes de masa
Fuente: El autor

2.7. Compactación o prensado.- Teniendo seleccionado el molde adecuado, cantidad de material dosificado y mezclado en la etapa anterior y condiciones de temperaturas y presión requeridas se introduce a la prensa hidráulica por un determinado tiempo de acuerdo al espesor de la baldosa en este caso será de 15 a 20 minutos, así tendremos baldosas que cumplan las normativas vigentes, se procederá a realizar el prensado del compuesto[15].



Fig. 18. Prensa hidráulica a 180°C
Fuente: [28]

La prensa expulsa el material compuesto de caucho compactado mediante presión para formar planchas en forma de baldosa, que posteriormente se usaran para cubrir pisos tas[29]. El moldeado es la etapa quizás más relevante porque es donde se produce la concepción de la forma final que presentará el producto[25].

2.8. Corte de probetas.- En esta etapa se procederá a dimensionar probetas para los ensayos de tracción y dureza, esto según lo establece la normativa utilizada para cada ensayo[30].

Varios autores como [2] han comprobado que de los residuos de partículas trituradas de neumáticos fuera de uso, mediante el proceso de sinterizado y bajo unas condiciones de temperatura de 200 °C y una presión de 6000 kg óptimas, se puede obtener un material con buenas prestaciones mecánicas.

Los materiales necesarios para la creación del material compuesto, con antecedentes de basado en otras investigaciones, criterio del tutor y maestrante se determinó el volumen de los materiales que intervienen en el proceso, en el lugar seleccionado (laboratorio) materiales listos y con el método adecuado, se procede a la formación del material compuesto, un compendio de distintas fuentes bibliográficas referente a las pruebas de tracción, y dureza la selección del método y maquina adecuada para llevar a cabo todas estas pruebas, como primera opción es utilizar los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi, de no existir las maquinas necesarias se buscara otras alternativas.

2.9. Ensayo de dureza. - La dureza de los cauchos blandos se mide sobre una escala arbitraria, por medio de un indentador de carga de resorte, que emplea un durómetro Shore de tipo A, las lecturas de 30 a50 son típicas del caucho blando, de 60 a 80 del caucho rígido, de 85 a 95 del caucho duro, y más de 98 para el caucho duro inflexible[23].

Dentro de la norma ASTM D2240 está el método de prueba el cual describe ocho tipos de dispositivos de medición de dureza de caucho conocidos como durómetros: tipos A, B y otros más, el procedimiento para determinar la dureza de indentación de sustancias clasificadas como termoplásticas, elastómeros, caucho vulcanizado (termoestable), materiales elastomericos y algunos plásticos también se describen[31].

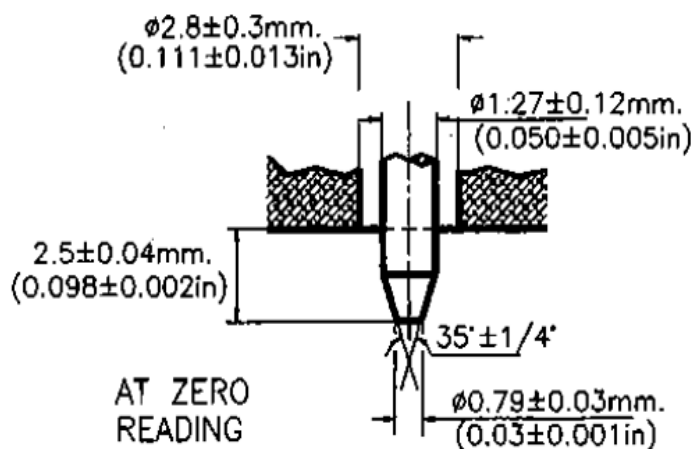


Fig. 19. Indentador de tipo A y C.

Fuente: [31]

2.10. Ensayo de tracción. – tanto la norma ISO 527-1/2 ya la norma ASTM D638 definen métodos para llevar a cabo los ensayos de tracción. Ambas normas son técnicamente equivalentes pero no ofrecen resultados completamente comparables, ya que las geometrías de las probetas, velocidades de ensayo y la manera de hallar los resultados difieren entre sí para el ensayo de nuestro material nos basaremos en la ASTM D638[32]. la norma nos presenta la forma y las dimensiones de la probeta como se muestra en la figura 13 que se presenta a continuación.

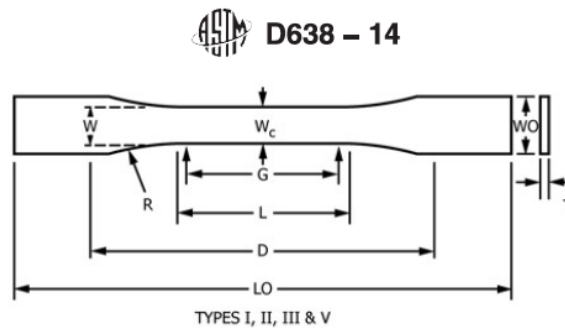


Fig. 20. Forma de la probeta para ensayos de tracción
Fuente: [33]

La primera prueba, tracción, de caracterización se busca saber que tan resistente es a un estiramiento obteniendo las curvas tensión-deformación del material a diferentes velocidades de deformación en un ensayo de tracción uniaxial [14].

Las probetas se fabrican habitualmente por inyección, para nuestro caso no se utilizara este método debido a que las probetas serán extraídas de una baldosa fabricada por el método antes descrito, mediante herramientas de corte y desprendimiento de material se obtendrá la forma y dimensiones de las probetas definidas en la norma ASTM D638 tipo 1[32].



Fig. 21. Montaje de la probeta en la máquina de ensayos
Fuente: [32]

El espesor y ancho de la probeta se suele determinar con un micrómetro con trinquete. La superficie de contacto es plana y circular con un diámetro de 6,35 mm. El trinquete tiene la función de limitar la fuerza de medición a un rango entre 5 N y 15 N[32].

Se proporcionan siete tipos de probeta, es decir, los tipos 1, 2, 3, 4 y 1A en forma de campana y los tipos A (normal) y B (miniatura) en forma de anillo. Es probable que los resultados obtenidos para un material determinado varíen según el tipo de probeta utilizada, por lo que los resultados obtenidos para diferentes materiales no deben considerarse comparables a menos que se haya utilizado el mismo tipo de probeta [15].

Acondicionamiento: acondicione las muestras de ensayo a $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ [$73,4 \pm 3,6^{\circ}\text{F}$] y $50 \pm 5\%$ de humedad relativa, para continuar con el procedimiento A de Práctica D 618, a menos que se especifique lo contrario por contrato o la especificación de material ASTM relevante. Acondicionamiento antes de iniciar con la prueba de referencia o muestra, para resolver cualquier inconveniente o desacuerdo existente, se aplicará también tolerancias de temperatura de 61°C [1.8°F] y 62% de humedad relativa.

2.11. Proceso de compactación. - Para la elaboración de los materiales se definió estrategias metodológicas. una de las estrategias fue para la formación de las planchas de polvo de neumático en combinación resina de poliuretano mediante moldeo por compresión, una vez definidos los parámetros de moldeo de las planchas del material compuesto. Este proceso inició con la adquisición y preparación del polvo de neumático fuera de uso, para después junto con la resina de poliuretano realizar el moldeo bajo cierta presión y temperatura antes definida. Una vez más se llevó a cabo un método iterativo para definir los parámetros de procesamiento, esta metodología se describe en la figura 22-

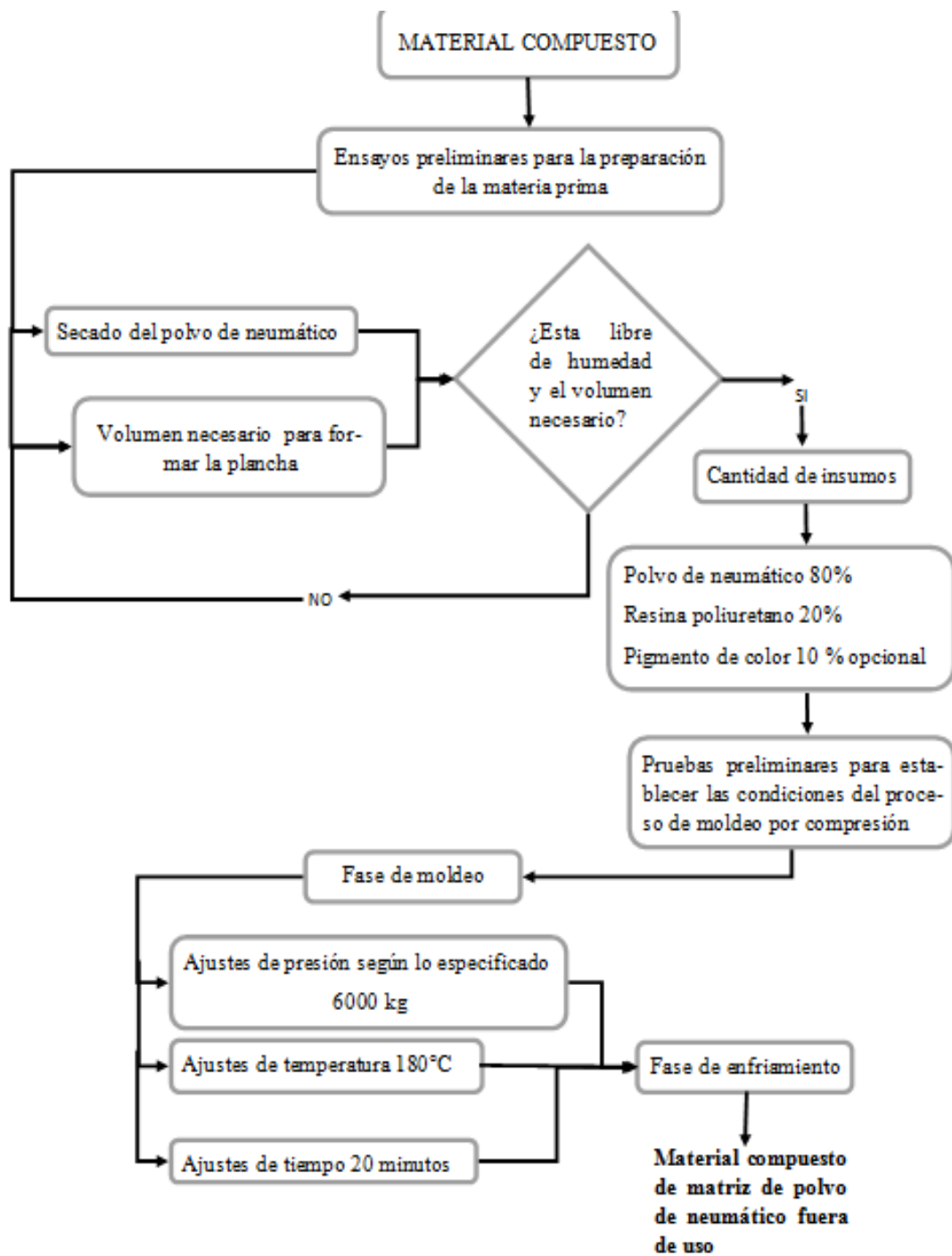


Fig. 22. Estrategia metodológica para la elaboración del material compuesto

Fuente: Propia

CAPÍTULO III. ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.

3.1. Introducción y objetivo: En este capítulo se inicia la fase de desarrollo y pruebas conforme a la metodología expuesta en el capítulo anterior. Se presenta la conformación del material compuesto con matriz de polvo de neumático, empleando la información de investigaciones previas, y del proceso de experimentación durante la investigación.

El objetivo de este capítulo es valorar los resultados obtenidos mediante los procesos empleados, las características o propiedades de los materiales que intervienen en el proceso, así como también la determinación de la mejor composición y la realización de los ensayos para explicar los fundamentos científicos e interpretar los resultados observados que conducen a la solución del problema identificado.

3.2. Proceso de conformación del material compuesto. - Una vez seleccionado el tamaño del grano del neumático fuera de uso y establecido las condiciones de conformación figura 20, se debe seguir un proceso estrictamente establecido en la metodología antes descrita, para la obtención del material compuesto, puesto que la variación de un parámetro altera los resultados, es decir el producto tiene algún defecto mecánico e imperfecciones superficiales.

Tabla 5

Granulometría en el mercado del neumático fuera de uso.

| Tamaño del grano disponible en el mercado | | |
|--|---------------------|---------------|
| Tipo | Presentación | Tamaño |
| 2 | Granulado | 0,6 a 2 mm |

Fuente: El autor

Como matriz es, grano de caucho reciclado o también conocido como polvo de neumático fuera de uso (GCR, PNFU), fue adquirido con un proveedor especializado en la recolección reciclado, almacenamiento y trituración del caucho de llantas.

3.2.1. Proporciones 50-50%. - Es necesario partir de una mezcla y tomar como patrón con la finalidad de comparar con la mezcla de diferentes porcentajes de polvo de neumático y poliuretano, para el primer experimento se tendrá 50% de polvo de neumático y 50% de aglutinante es decir el poliuretano, en este caso no se tendrá presencia de pigmentos para dar color.

Es necesarios la precisión en la cantidad de cada componente, para tener una baldosa con propiedades mecánicas favorables, se utilizó como agregado una homogenización del material seleccionado.



Fig. 23. Polvo de neumático de 0.6 mm
Fuente: El autor

El diseño de una mezcla adecuada consiste basicamente en seleccionar una granulometria y un porcentaje exacto de poliuretano.



Fig. 24. Poliuretano
Fuente: El autor

Para el primer experimento se utilizará 2 kilogramos de polvo de neumático de 0.6 a 2 mm, con una granulometría fina de 0.6 mm, como se había mencionado se

requiere mucha precisión, para poner la cantidad exacta también se requiere de un instrumento de medición preciso como una balanza electrónica.



Fig. 24. Cantidad requerida para una baldosa
Fuente: El autor

La compactación del polvo de neumático depende en general de las mezclas en frío y en mezclas con a una temperatura diferente esto dependiendo del aglutinante que se utilice, la manera en la que se realice el mezclado, la granulometría del polvo de neumático, otro aspecto a considerar es el estado del material, reciclado o fino, en esta ocasión para la compactación se utilizara 250 ml de resina de poliuretano líquido.

Tabla 6
 Volumen de poliuretano requerido para la mezcla 50-50 %

| Polvo de neumático | Porcentaje de poliuretano en masa(gramos) | | Porcentaje de poliuretano en volumen(mililitros) | | | |
|--------------------|---|-----------------------------------|--|----------------------|------------|---------------------|
| | Porcentaje (%) | Ecuación | Masa requerida | Densidad poliuretano | Ecuación | Volumen poliuretano |
| 2000 gramos | 50 | (%)*(Cantidad Polvo de neumático) | 1000 | 1,622 gr/ml | $V=m/\rho$ | 617 |

Mediante el diagrama ternario ubicamos el punto de equilibrio entre las dos sustancias solidas (polvo de neumático y pigmentos) y una sustancia liquida (poliuretano)

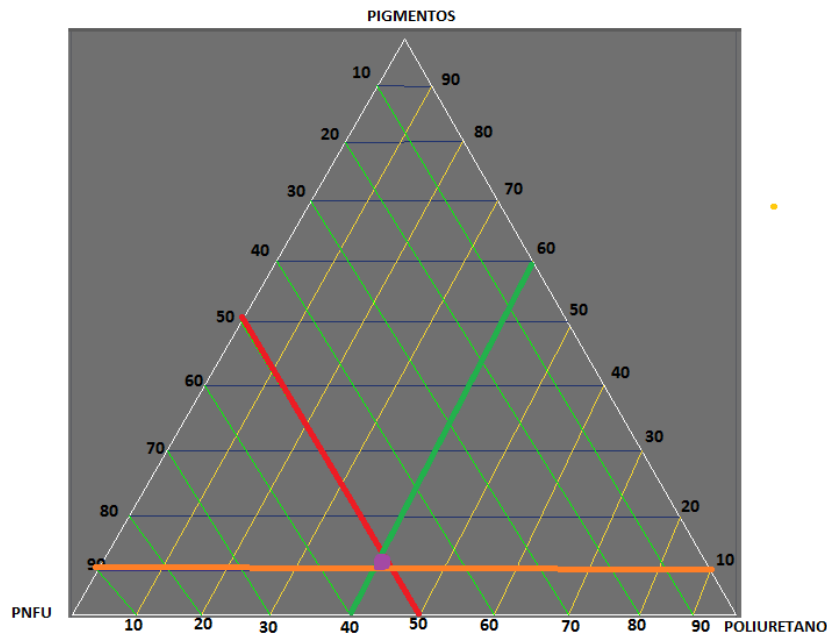


Fig. 25. Diagrama ternario 50% PNFU y 50 Poliuretano
Fuente: El autor

Con el punto de equilibrio, intersección de tres líneas encontramos el punto de equilibrio y solubilidad entre las tres sustancias mezclándose y listos para ser compactados.

El 50% en volumen representa una cantidad de 617 mililitros de poliuretano, con la ayuda de un vaso de precipitación hay que colocar la cantidad exacta

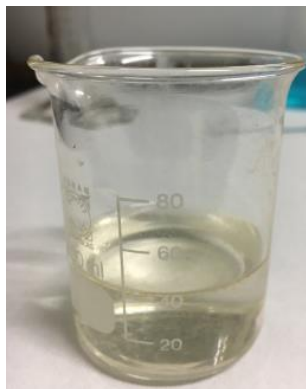


Fig. 26. Poliuretano liquido
Fuente: El autor

Una vez que se tenga las porciones necesarias y exactas para conformar una baldosa se debe llevar a cabo el siguiente proceso que es el mezclado, para esto se utiliza una mezcladora, instrumento encargado de entregarnos una mezcla homogénea lista para depositar en los moldes y llevar a la compactación mediante una presión y temperatura.



Fig. 27. Mezcla del polvo de neumático con el poliuretano.

Fuente: El autor

Con una mezcla homogénea estamos listos para pasar a los moldes, para también establecer el comportamiento según las características de cada composición. Todo se parte del diseño para la mezcla del polvo de neumático y el poliuretano siguiendo con la metodología establecida para el diseño de las mezclas.

Verter en el molde seleccionado de acuerdo a la figura y volumen establecido para el experimento, en este caso será una baldosa de 50x50 cm.



Fig. 28. Mezcla en molde de baldosa de 50x50 cm.

Fuente: El autor

Para la distribuir y asegurar que la mezcla llegue a cada rincón de la bandeja” molde” puede utilizar sus manos con la protección adecuada, espátula o una paleta para distribuir la mezcla de manera homogénea.



Fig. 29. Distribución homogénea en el molde.
Fuente: El autor

El moldeo por compresión y cronometradas con temperaturas de moldeo normalmente entre 165°C y 200°C y compactamos con una fuerza de 6000 kilogramos durante un tiempo de 15 a 20 minutos.



Fig. 30. Maquina prensadora.
Fuente: El autor

Finalmente, en se tiene el material compuesto de acuerdo a la forma del molde y el espesor deseado, para posteriormente pasar a la inspección visual a ver si cumple con lo establecido y pueda pasar a los ensayos mecánicos para determinar sus

propiedades mecánicas es fácil identificar si existe algún tipo de desperfecto en la superficie en especial en las esquinas.

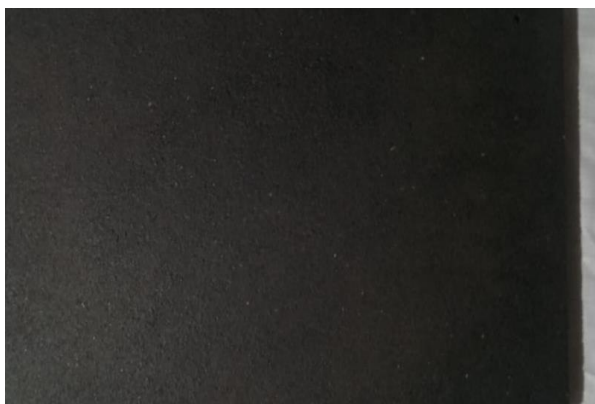


Fig. 31. Producto final.

Fuente: El autor

3.2.2. Proporciones 80-20%. - Esta vez el porcentaje de polvo de neumático es de 80% y poliuretano en 20%, denominaremos como segundo experimento.

Es necesarios la precisión en la cantidad de cada componente, para tener una mezcla en el porcentaje especificado y poder determinar sus propiedades mecánicas san estas favorables o no favorables, nuevamente la homogenización del material seleccionado es de vital importancia.



Fig. 32. Cantidad requerida para una baldosa

Fuente: El autor

Para el segundo experimento se utilizará 2 kilogramos de polvo de neumático de 0.5mm, con una granulometría fina de 0.5 mm, la precisión y la cantidad exacta también es indispensable, se requiere de una balanza electrónica.

Sabiendo que la compactación del polvo de neumático depende en general de las mezclas en frío y la temperatura mientras de compacta, la granulometría del polvo de neumático es la misma.

Es indispensable volver a calcular la cantidad en volumen que representa el 20 % de poliuretano para el experimento 2.

Tabla 7
Volumen de poliuretano requerido para la mezcla 80-20 %

| Polvo de neumático | Porcentaje de poliuretano en masa(gramos) | | Masa requerida | Porcentaje de poliuretano en volumen(mililitros) | | |
|--------------------|---|---------------------|----------------|--|------------|---------------------|
| | Porcentaje (%) | Ecuación | | Densidad poliuretano | Ecuación | Volumen poliuretano |
| 2000 gramos | 20 | (%)*(Cantidad PNFU) | 400 | 1,622 gr/ml | $V=m/\rho$ | 247 |

Es necesario encontrar el punto de equilibrio y verificar si las proporciones son las correctas para que exista la solubilidad del polvo de neumático entre el poliuretano.

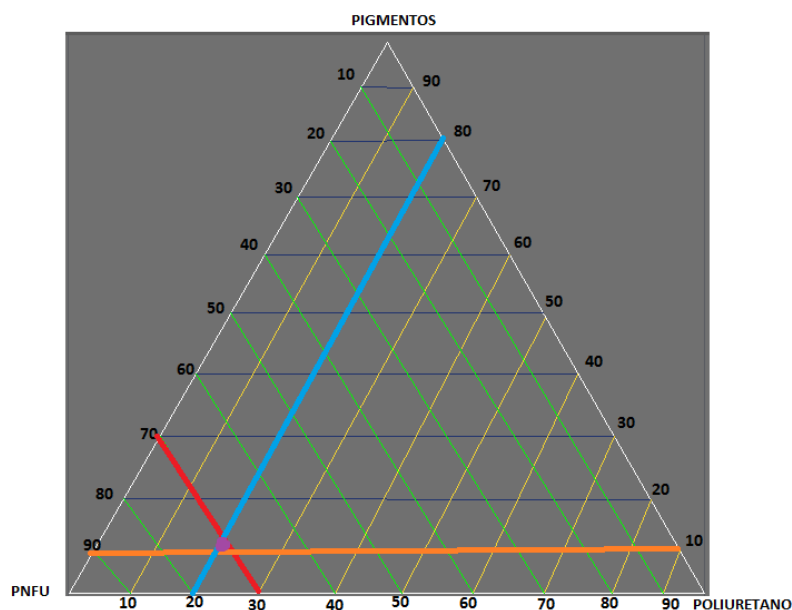


Fig. 33. Diagrama ternario 80% PNFU y 20% Poliuretano
Fuente: El autor

Según el diagrama los 247 mililitros de poliuretano son suficientes para que la mezcla y compactación resulte.

En esta ocasión para la composición utilizara 247 mililitros de resina de poliuretano líquido.

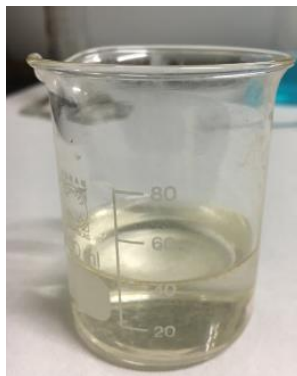


Fig. 34. Poliuretano liquido
Fuente: El autor

Colocar en la bandeja y distribuir de una manera uniforme asegurándose que no quede vacíos esto afecta el producto final a lugar a imperfecciones que deterioran el producto final.



Fig. 35. Poliuretano liquido
Fuente: El autor

El uso de una espátula o paleta para la distribución, tampoco se debe presionar con demasiada fuerza, es importante cubrir con una tela que no permita el contacto directo entre la mezcla y la superficie de la siguiente bandeja, ya que esto también afectara el acabado superficial.

Una vez transcurrido los 20 minutos a una temperatura de 180 °C y 6000 kg de fuerza se procede a retirar, es importante dejar que en reposo durante unos 20 minutos a temperatura ambiente.



Fig. 36. Poliuretano liquido
Fuente: El autor

En el producto que se muestra en la imagen anterior se utilizó también un pigmento para darle una tonalidad verdosa, la baldosa a simple vista muestra buenas características, para evidenciar es sometido a diferentes esfuerzos con se muestra en la imagen a continuación.



Fig. 37. Poliuretano liquido
Fuente: El autor

3.2.3. Proporciones 90-10%.- Esta vez el porcentaje de polvo de neumático es de 90% y poliuretano en 10%, denominaremos como tercer experimento.

Para esto procedemos a pesar los dos kilos de polvo de neumático teniendo en cuenta que hay que ser precisos en las medidas.



Fig. 38. Cantidad requerida para una baldosa
Fuente: El autor

De la misma manera para la compactación se requiere del poliuretano líquido, esta vez estará presente en un 10%.

Tabla 8
Volumen de poliuretano requerido para la mezcla 90-10 %

| Porcentaje de poliuretano en masa(gramos) | | Porcentaje de poliuretano en volumen(mililitros) | | | | |
|---|----------------|--|----------------|----------------------|------------|---------------------|
| Polvo de neumático | Porcentaje (%) | Ecuación | Masa requerida | Densidad poliuretano | Ecuación | Volumen poliuretano |
| 2000 gramos | 10 | $(\%)*(\text{Polvo de neumático})$ | 400 | 1,622 gr/ml | $V=m/\rho$ | 124 |

Para esta muestra el 10% representa a 124 mililitros de poliuretano para compactar 2000 gramos de polvo de neumático.

Finalmente, el diagrama nos permite ver el punto de equilibrio con un 10% de poliuretano.

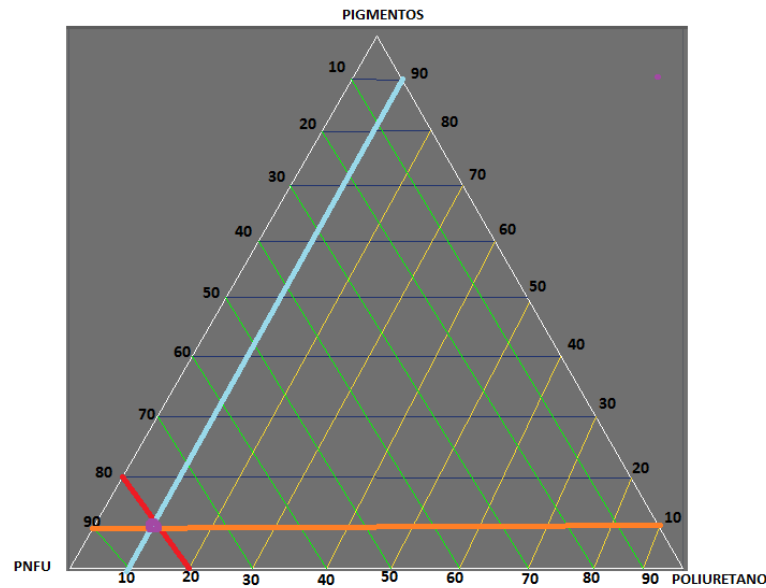


Fig. 39. Diagrama ternario 90% PNFU y 10% Poliuretano
Fuente: El autor

Determinando nuevamente el punto de intersección entre las tres sustancias para un mezclado adecuado entre el pigmento, polvo de neumático y el poliuretano siendo el 10% que en volumen de poliuretano líquido representa a 124 mililitros suficientes para formada de la baldosa.

Una vez realizado los respectivos cálculos se tiene que el 10% de poliuretano en volumen representa en 124 mililitros, utilizando el vaso de precipitación nos aseguramos de colocar el valor exacto.



Fig. 40. Poliuretano líquido
Fuente: El autor

Una vez que se tiene las cantidades exactas se procede a la mezcla tomando en cuenta que la misma debe ser homogénea para evitar fallos en el producto.

El proceso de producción es el mismo ya descrito en los procesos anteriores experimento 1 y 2, bajo las mismas condiciones de temperatura y presión y claro el enfriado a temperatura ambiente del producto final, una vez finalizado el proceso se tiene el producto final figura 21.

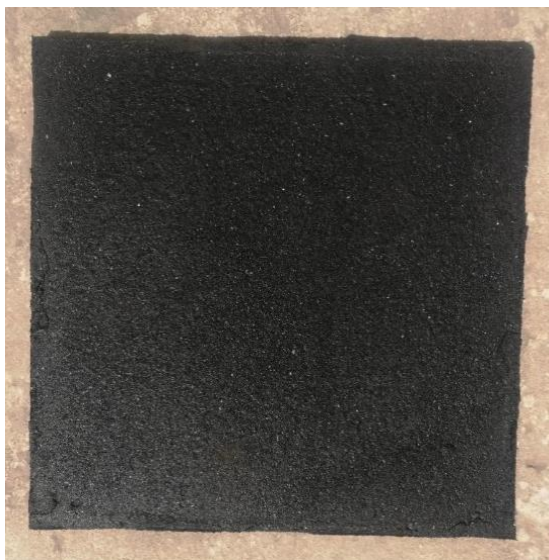


Fig. 41. Baldosa 90-10%
Fuente: El autor

Una vez concluido con los tres experimentos se procede a resumir en una tabla los resultados con respecto a las cantidades de cada uno de los componentes para formar las baldosas tabla 4 importante en caso de requerir dimensiones diferentes a las descritas el proceso que antecede.

Tabla 10

Cantidad de PNFU según sus dimensiones.

| CANTIDAD DE POLVO DE NEUMATICO SEGÚN DIMENCIÓN DE LA BALDOSA | | | | |
|---|--------------|--------------|-------------|-------------------------|
| Área de la baldosa | Largo | Ancho | Alto | Cantidad de PNFU |
| 2500 cm² | 50 cm | 50 cm | 1 cm | 2 kg |
| 2500 cm² | 50 cm | 50 cm | 2 cm | 4 kg |

3.3. Ensayos mecánicos.- Los ensayos mecánicos nos permiten conocer algunas de las propiedades mecánicas de metales, no metálicos y materiales compuestos, para nuestra investigación es vital determinar la dureza que tiene el material compuesto con matriz de polvo de neumático, esto ayuda a entender si la baldosa de caucho puede ser una alternativa para recubrir el piso de concreto y tener una superficie más suave y flexible, por otro lado está el ensayo de tracción, ensayo clave que nos permite ver cuál es la cantidad de fuerza que soporta antes del fallo del material.

3.3.1. Ensayo de dureza.- Este método de prueba se basa en la penetración de un tipo específico de indentador cuando se fuerza en el material en condiciones específicas[34]. La dureza de la indentación está inversamente relacionada con la penetración y depende del módulo elástico y del comportamiento viscoelástico del material[34].

Para esta prueba se ha utilizado una probeta del material de 5x5 centímetros para determinar la dureza SHORE A como se muestra en la figura 42.



Fig. 42. Probeta para dureza SHORE A
Fuente: El autor

Condiciones ambientales, temperatura: $19,4 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ y la humedad relativa: $53,9 \pm 1,3 \%$, bajo estas condiciones se realizó el ensayo de dureza teniendo los siguientes resultados ilustrados en la tabla 11.

Tabla 11
Resultados del ensayo de dureza Shore A.

| Mediciones en escala Shore A | | | | | Promedio |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Medición | Medición | Medición | Medición | Medición | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 67 | 69 | 69 | 67 | 68 | 68 |

De los resultados obtenidos en el ensayo de dureza se tiene un promedio de 68 en la escala de dureza Shore A, como valor mínimo se tiene un valor de 67 y un valor de 69 como máximo, de acuerdo a la dureza se es el uso en diferentes ámbitos o en productos de uso cotidiano, en la tabla 12 que se muestra a continuación se tiene algunos de esos productos y su aplicación según la dureza en la escala Shore A.

Tabla 12
Dureza Shore A aplicación según su clasificación.

| Dureza del caucho - Clasificación A | |
|--|--|
| 5 - 35 Shore A | Bandas elásticas |
| 50 Shore A | Sellos de caucho |
| 55 Shore A | Sellos para puertas y gomas de borrar |
| 60 Shore A | Limpiaparabrisas |
| 65 Shore A | Neumáticos de coche |
| 70 - 80 Shore A | Suelas y tacones de zapatos, cinturones de cuero |

Una dureza que este comprendida entre 65 y 70 es para neumáticos de vehículos, y no podíamos esperar menos puesto que nuestro producto tiene como matriz polvo de neumático y como ligante el poliuretano, nuestra dureza en promedio tiene un valor de 68 con la diferencia que es una baldosa y está recubriendo un piso de un taller.

3.3.2. Ensayo de tracción.- Este método de prueba está diseñado para producir datos de propiedades de tracción para el control y especificación de materiales

plásticos[35]. Estos datos también son útiles para la caracterización cualitativa y para la investigación y el desarrollo[35].

Para efectos de la determinación y comprobación de la resistencia a la tracción, se procede a la fabricación de probetas de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM D638-14 para materiales plásticos y elastoméricos, la resistencia a la tracción es una de las especificaciones o características más comunes que cubre las propiedades de materiales reforzados y no reforzados[36]. Este método de prueba utiliza muestras estándar en forma de "hueso de perro" de menos de 14 mm de espesor. Se requiere una máquina de prueba universal (máquina de prueba de tracción) para realizar esta prueba.

El ensayo de tracción se lo llevara a cabo con la probeta de Tipo I.

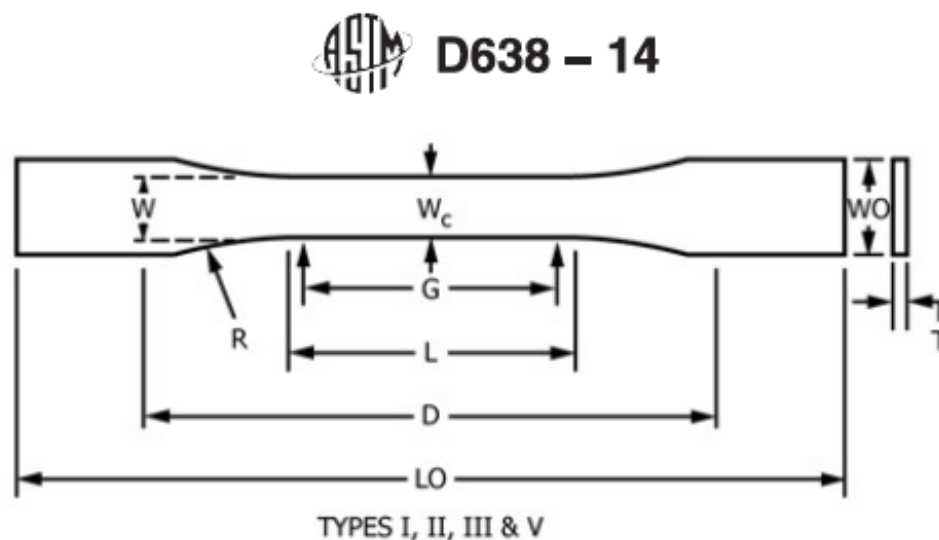


Fig. 43. Forma de la probeta para ensayos de tracción

Fuente: [33]

Es importante las dimensiones exactas, el material compuesto que estamos manejando no permite una fácil manipulación al momento de obtener las probetas por lo que una exactitud es bastante difícil, para esto la misma norma a planteado un margen de error, a continuación, en la figura 44 se muestran las dimensiones recomendadas para el ensayo que se llevara a cabo.

| Dimensions (see drawings) | Specimen Dimensions for Thickness, T , mm (in.) ^A | | | | | Tolerances |
|---|--|-----------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|---|
| | 7 (0.28) or under | | Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl | 4 (0.16) or under | | |
| | Type I | Type II | Type III | Type IV ^B | Type V ^{C,D} | |
| W —Width of narrow section ^{E,F} | 13 (0.50) | 6 (0.25) | 19 (0.75) | 6 (0.25) | 3.18 (0.125) | ± 0.5 (± 0.02) ^{B,C} |
| L —Length of narrow section | 57 (2.25) | 57 (2.25) | 57 (2.25) | 33 (1.30) | 9.53 (0.375) | ± 0.5 (± 0.02) ^C |
| WO —Width overall, min ^G | 19 (0.75) | 19 (0.75) | 29 (1.13) | 19 (0.75) | ... | + 6.4 (+ 0.25) |
| WO —Width overall, min ^G | ... | ... | ... | ... | 9.53 (0.375) | + 3.18 (+ 0.125) |
| LO —Length overall, min ^H | 165 (6.5) | 183 (7.2) | 246 (9.7) | 115 (4.5) | 63.5 (2.5) | no max (no max) |
| G —Gage length ^I | 50 (2.00) | 50 (2.00) | 50 (2.00) | ... | 7.62 (0.300) | ± 0.25 (± 0.010) ^C |
| G —Gage length ^I | ... | ... | ... | 25 (1.00) | ... | ± 0.13 (± 0.005) |
| D —Distance between grips | 115 (4.5) | 135 (5.3) | 115 (4.5) | 65 (2.5) ^J | 25.4 (1.0) | ± 5 (± 0.2) |
| R —Radius of fillet | 76 (3.00) | 76 (3.00) | 76 (3.00) | 14 (0.56) | 12.7 (0.5) | ± 1 (± 0.04) ^C |
| RO —Outer radius (Type IV) | ... | ... | ... | 25 (1.00) | ... | ± 1 (± 0.04) |

Fig. 44. Dimensiones para la probeta de ensayos de tracción

Fuente: [33]

Bajo estas especificaciones se tiene las 5 probetas extraídas de las baldosas de caucho previamente fabricadas, en la figura 23 se muestra las probetas antes del ensayo.



Fig. 45. Dimensiones para la probeta de ensayos de tracción

Fuente: El autor

Las 5 probetas fueron enviadas al laboratorio de Nuevos materiales para el ensayo de tracción.

En la tabla 13 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D638-14 para las probetas muestra 1 denominada M1 hasta la muestra 5 denominada M5.

Tabla 13

Resultados del ensayo de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D638-14 para las probetas M1 a M5

| ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D638-14 | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|---------|-------------------------|---------------|-------------|----------------|--------------|--------------|
| Muestra No | Ancho | Espesor | Área (mm ²) | Carga | Resistencia | Módulo secante | Deformación | Deformación |
| | (mm) | (mm) | | última | última | de elasticidad | última | a la rotura |
| | | | | (N) | (MPa) | (MPa) | (%) | (%) |
| M1 | 12,56 | 4,53 | 56,81 | 116,67 | 2,05 | 8,68 | 36,12 | - |
| M2 | 13,8 | 4,55 | 62,79 | 118,33 | 1,88 | 9,5 | 31,73 | 33,2 |
| M3 | 13,01 | 4,48 | 58,26 | 120,83 | 2,07 | 10,06 | 33,57 | 35,28 |
| M4 | 12,62 | 4,33 | 54,58 | 122,5 | 2,24 | 10,82 | 37,06 | 38,52 |
| M5 | 13,42 | 4,70 | 62,98 | 123,33 | 1,96 | 9 | 35,55 | 38,96 |
| Promedio | | | | 120,33 | 2,04 | 9,61 | 34,81 | 36,49 |
| Desviación estándar | | | | 2,8 | 0,14 | 0,85 | 2,14 | 2,74 |
| Coeficiente de variación | | | | 2,33 | 6,62 | 8,88 | 6,15 | 7,51 |

En la figura 46 se muestran las condiciones de las probetas M1 a M5 después de los ensayos de resistencia a tracción.

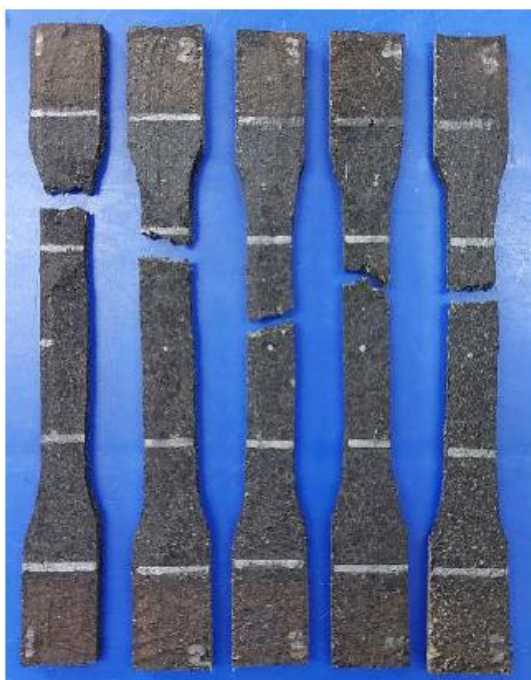


Fig. 46. Estado de las probetas después del ensayo
Fuente: El autor

La falla del material según las especificaciones de la norma ASTM D638-14 para ensayos de tracción en materiales elastómericos y plásticos se debe dar en la zona denotada como “G” que se muestra en la figura 43, para la probeta 1 denominada M1, el fallo se da fuera de esta zona por lo que el dato obtenido no es tomado en cuenta, por otro lado, las 4 probetas restantes si se produce el fallo dentro de la zona especificada como se puede observar en la imagen que antecede a este párrafo.

3.3.2.1. Curvas de Esfuerzo vs Deformación de las probetas ensayadas.

- Los datos derivados de los ensayos de tracción se trasladaron a gráficas de esfuerzo vs deformación, como la que se muestra a continuación en la figura 47, se observa que para llegar al punto de ruptura de la probeta se requiere aproximadamente de 2 MPa.

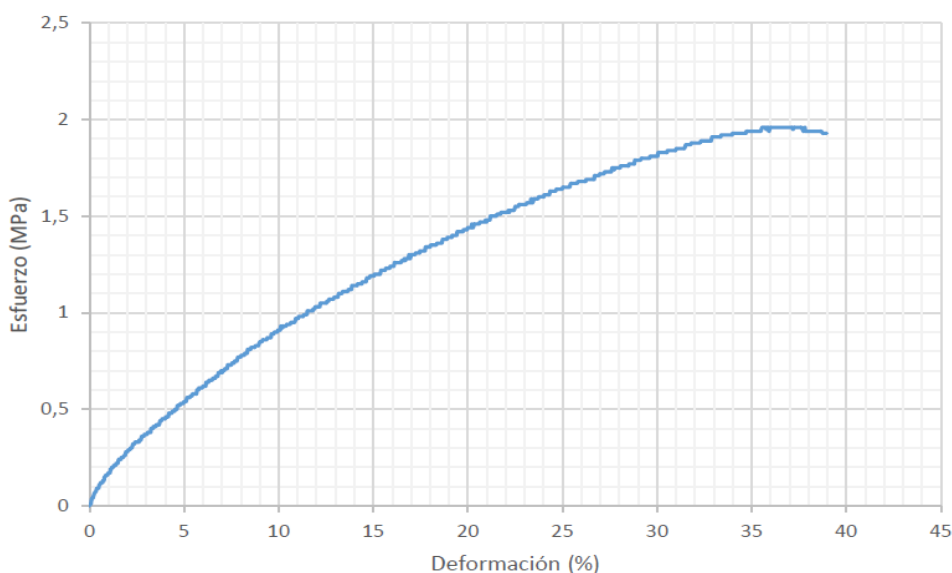


Fig. 47. Curva Esfuerzo vs Deformación para la probeta M5
Fuente: El autor

El método de ensayo que se está empleando determina la resistencia a la tracción en el plano, las propiedades del material compuesto de matriz de polvo de neumático reforzado con poliuretano. A continuación, en la figura 48 se presenta las curvas obtenidas de cada una de las 5 muestras

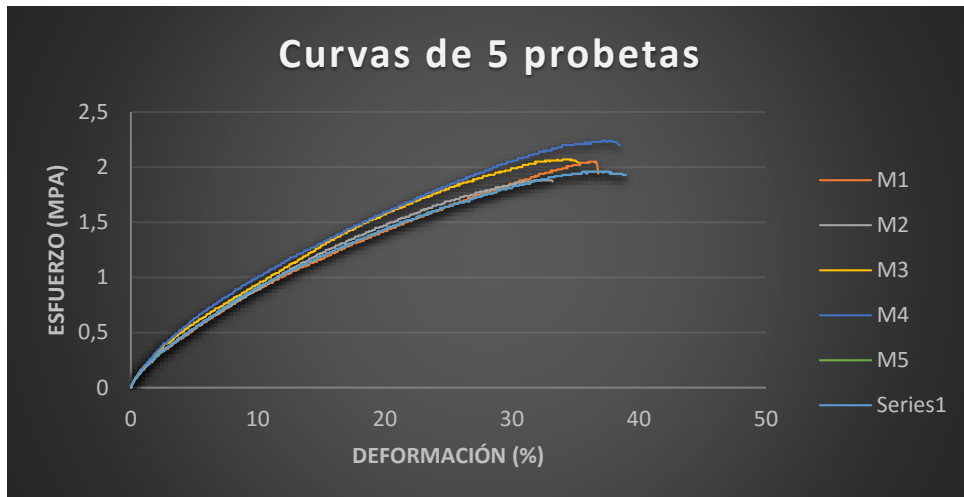


Fig. 48. Curva Esfuerzo vs Deformación de las 5 muestras
Fuente: El autor

De acuerdo a las gráficas se tiene que la resistencia ultima se tiene para una de las probetas de 1,88 MPa, mientras que para otra de las probetas se tiene un máximo de 2,24 MPa, teniendo al resto de probetas dentro de estos rangos.

3.4. Validación del producto.

Tenemos identificado el mercado, conceptualizado el producto teniendo en cuenta las necesidades que existe en el mercado en especial en los talleres automotrices, ofreciendo una solución una solución ante la problemática de caída de objetos al piso y el deterioro de los mismos, en la figura 49 se presenta los resultados obtenidos con la implementación de un piso flexible.



Fig. 49. Prueba de impacto de bombillo con piso flexible
Fuente: El autor

La necesidad de tener un piso flexible para mitigar los daños en un repuesto automotriz es lo que nos muestra la imagen que antecede se soltó un bombillo de una altura aproximada de 1,5 metros, uno de los objetos más sensibles ante una caída, este mantiene su integridad tal cual podemos ver en la imagen.

3.5. Cálculo de VAN y TIR. - El siguiente análisis económico de factibilidad y de costos que tendría la producción de la baldosa a partir del polvo de neumático.

En la tabla 14 se detalla los costos de materiales y operación de las máquinas para necesarios para recubrir 1 m² de piso.

Tabla 14
Costo de producción de un metro cuadra de baldosa de caucho
COSTO DE OBTENCIÓN DE UN METRO CUADRADO (1m²)

| Orden | Ítem | Cantidad insumos | Cantidad costo unitario \$ | Valor total \$ |
|----------|--------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------|
| 1 | Polvo de neumático | 8 kg | 0,6 | 4,8 |
| 2 | Poliuretano | 1 lt | 20 | 20 |
| 3 | Pigmentos | 0,8 kg | 3,5 | 3 |
| 4 | Mezclado | 3 kW*h | 0,12 | 0,36 |
| 5 | Compactación | 6 kW*h | 0,12 | 0,72 |
| 6 | TOTAL | | | 28,88 |

El metro cuadrado tiene un costo aproximado de 29 dólares americanos, este costo es para la producción de una baldosa de color y la baldosa de sin pigmentación alguna tendrá un costo inferior de aproximadamente 26 dólares americanos.

En conclusión, el uso de este tipo de material viene a ser competitivo puesto que el valor de una baldosa de cerámica bordea los mismos valores, a mas no poseer características que la baldosa de caucho tiene.

3.5.1. Influencia socioeconómica de la propuesta. - La propuesta es utilizar el polvo de neumático fuera de uso como matriz para formar un material compuesto que sea apto para recubrir un área de un taller a más de brindar un aporte en la

mejora de las propiedades físicas del piso ante el impacto de la caída de un objeto o repuesto.

El siguiente análisis económico de factibilidad y de costos que tendría la producción de baldosa a partir de polvo de neumático para recubrir un área determinada.

La producción de la baldosa se estimó para 50 metros cuadrados (1 m^2) y de un centímetro (1 cm) de espesor, tomando en cuenta estos datos se procede a realizar una tabla para conocer la cantidad de polvo de neumático y el resto de insumos que se requiere.

Tabla 15
Costo para producir 50 metros cuadrados de baldosa
COSTO DE OBTENCIÓN DE UN METRO CUADRADO

| Insumos | Cantidad (1 m²) | Cantidad (50 m²) | Costo \$ por (m²) | Valor total \$ |
|---------------------------|---------------------------------------|--|---|-----------------------|
| Polvo de neumático | 8 kg | 400 kg (1 tonelada) | 4,8 | 200(mayorista) |
| Poliuretano | 1 lt | 50 lt | 20 | 1000 |
| Pigmentos | 0,8 kg | 40 kg | 3 | 120 |
| Mezclado | 3 kW | 5 kW | 0,6 | 0,6 |
| Compactación | 6 kW | 10 kW | 1,2 | 1,2 |
| TOTAL | | | | 1321,80 |

Los costos de producción se han generado para cubrir un área de 50 metros cuadrados teniendo un costo de producción de 1322 dólares aproximadamente esto en baldosas con gama de colores y el valor para producir baldosa de color negro es un valor más bajo que se detalla más adelante.

Es importante aclarar que mientras más alto sea la adquisición de insumos valor del mismo va reduciendo, el Kilo de PNFU tiene un valor de 60 centavos de dólar, mientras que la tonelada (quintales) tiene un costo de 200 dólares americanos, teniendo un valor del Kilo de 22 centavos de dólar, permitiendo que el costo de producción del metro cuadrado de baldosa reduzca también.

Con estos antecedentes se procede al cálculo del VAN y TIR para ver la viabilidad del proyecto, considerando como un desembolso inicial para cubrir un área de 50 metros cuadrados con baldosas de color con el porcentaje de 80% de polvo de neumático y un 20% de poliuretano.

También es importante mencionar que se ha tomado una tasa de interés del 15%.

Tabla 16
Plan de costos y flujo de caja

| AÑOS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
| INVERSION INICIAL | | | 1322 | | |
| EGRESOS | 1322 | 2644 | 5288 | 10576 | 21152 |
| INGRESOS | 1520,3 | 3040,6 | 6081,2 | 12162,4 | 24324,8 |
| FLUJOS | 198,3 | 396,6 | 793,2 | 1586,4 | 3172,8 |

Con una calculadora en línea calcularemos el Valor Actual Neto conocido como el VAN añadiendo una tasa de descuento y también esta herramienta te permite calcular automáticamente la Tasa Interna de Retorno TIR.

Inversión inicial: \$

Tipo de interés: %

Flujos de caja:

Año 1: \$

Año 2: \$

Año 3: \$

Año 4: \$

Año 5: \$

Valor actual neto (VAN): \$

Tasa interna de retorno (TIR): %

Fig. 50. Calculo VAN y TIR del proyecto
Fuente: El autor

Se analiza una inversión inicial de 1322 dólares americanos para 5 años con un precio de 28 dólares el metro cuadrado de baldosa de caucho, teniendo un VAN de 2156,33 mayor que cero, y un TIR de 48,474%, siendo un proyecto viable puesto que se tiene un VAN mayor que cero y el TIR presenta una rentabilidad para poner en marcha el proyecto.

CONCLUSIONES GENERALES

Los trabajos investigación desarrollados sobre materiales compuestos con matriz de polvo de neumático, no describen una metodología y pasos a seguir para la constitución del producto final, se enfocan más en la cantidad y la contaminación que los neumáticos fuera de uso provocan al medio ambiente.

Se seleccionó la resina de poliuretano bajo consideraciones como su costo y en especial características mecánicas como la elasticidad que aporta al unirse con este tipo de material (PNFU), propiedades que se requiere que tenga el producto para cumplir con el objetivo de tener un piso suave y a la vez resistente a ciertas condiciones que se expone el taller.

La aplicación de las propuestas de composición entre Polvo de neumático y poliuretano 50/50, 80/20 y 90/10 respectivamente fueron llevadas a cabo con éxito haciendo énfasis en las condiciones, especificaciones y metodología para la compactación empleada.

A los productos resultantes de cada una de las mezclas se realizó una inspección visual y comparación global, donde se determinó que la baldosa con el porcentaje de 80% de polvo de neumático y 20% de poliuretano presenta condiciones favorables, no se desprende el material al doblarla, siendo la seleccionada para realizar las pruebas mecánicas y determinar sus características.

Mediante la aplicación de diagramas ternarios ubicamos los puntos de equilibrio y solubilidad para las tres mezclas en diferentes concentraciones de peso de y volumen de los componentes.

Para determinar la dureza de elastómeros se utiliza una máquina que mide la dureza tipo SHORE A según describe la ISO 868, es una medida de resistencia que tiene

un material ante la penetración de una aguja, en un rango de 0 a 100 en la escala de SHORE A.

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir del ensayo de dureza se tiene un valor promedio de dureza de 68 en la escala de SHORE A, siendo de 65 el valor de dureza de los neumáticos, con esto confirmamos que la resina poliuretano efectivamente a más de ser un ligante aporta mejorando las propiedades mecánicas del material compuesto resultante, permitiendo que sea 3 puntos más duro que el neumático y más flexible que el mismo.

Con un 20% de poliuretano incorporado en el polvo de neumático se logró tener una resistencia promedio de 2,04 MPa, teniendo una resistencia superior a la obtenida por otro investigador al añadir un 10% de resina logrando tener un valor de resistencia última de 1,765 MPa.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar el análisis de la influencia del tiempo de prensado sobre las propiedades mecánicas para establecer un tiempo más preciso sin que este afecte las propiedades del producto final.

Al ser incalculables los neumáticos fuera de uso existentes, es esencial la utilización del polvo de neumático en la fabricación de pisos, baldosas o adoquín para así tener en el piso material reciclado y ayudar a reducir el impacto ambiental que estamos provocando.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. Botasso, . O. Rebollo y A. Cuattrocchio, «Utilización de caucho de neumáticos en mezcla asfáltica densa en obras de infraestructura,» nº 20, 2008.
- [2] J. E. Crespo Amorós, A. V. Nadal Gisbert y D. Juárez Varón, «AVANCES EN EL ÁREA DE MATERIALES Y SUS PROCESOS,» *Ingeniería y Tecnología 3 ciencias*, vol. 1, 2015.
- [3] G. J. Paláez Arroyave, S. M. Velásquez Restrepo y D. H. Giraldo Vásquez, «Aplicaciones del caucho reciclado: Una revisión de literatura,» *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 27, nº 2, 2017.
- [4] Al-Malki, Al-Nasir, Khalaf y Zidan, «Study the Effect of Recycled Tire Rubber on the Mechanical and Rheological Properties of TPV(HDPE/Recycled Tire Rubber),» *Open Journal of Polymer Chemistry*, vol. 3, pp. 99-103, 2013.
- [5] A. A. Junceda, «Efecto de partículas de caucho provenientes de neumáticos fuera de uso como modificador de la tenacidad en materiales compuestos».
- [6] N. F. Moreno, G. M. C. Rubio y F. E. Tomás, «Evaluation of the fatigue macro-cracking behavior of crumb rubber modified bituminous mixes,» *Materiales de Construcción*, vol. 64, nº 315, 2014.
- [7] H. Rioja , "RP" *Método experimental para el diseño de mezclas asfálticas abiertas.*
- [8] F. A. Reyes Lizcano, C. Guáqueta Echeona, L. M. Porras Salcedo y H. A. Rondón Quintana, «COMPORTAMIENTO DE UN CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON UN DESECHO DE PVC,» *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 12, nº 22, pp. 77-84, 2013.

- [9] R. González H., J. Aguilar C., C. Narcía L. y R. Cruz D., «EFECTOS DEL PISO BLANDO EN ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA EN CHIAPAS,» *PAKBOL*, nº 40, pp. 5-7, 2017.
- [10] E. M. Ruiz Navas y C. E. Costa, «Aleación mecánica: Método de obtención de polvos metálicos y de materiales compuestos,» *Revistademetalurgia*, vol. 36, pp. 279-286, 2000.
- [11] A. J. Alfredo, *Efecto de partículas de caucho provenientes de neumáticos fuera de uso como modificador de la tenacidad en materiales compuestos.*
- [12] J. F. PRIETO VILLAMIZAR y C. . A. HERNANDEZ BARRAGAN, *ENSAYO DE TRACCION.*
- [13] P. A. CALDERÓN BENAVIDES, «repository.usta,» 2018. [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13717/2018paulacalderon.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 11 Noviembre 2020].
- [14] V. J. C. Molina, «e-archivo,» 2019. [En línea]. Available: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/28651/TFG_Victor-Jose_Casas_Molina.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 14 Noviembre 2020].
- [15] I. STANDARD, «Rubber, vulcanized or thermoplastic-Determination of tensile stress-strain properties,» Quinta edición, 2011.
- [16] R. R. Mujal, P. J. Orrit, G. M. Marin, R. Ahmed y F. X. Colom, «Propiedades dieléctricas y mecánicas del polietileno de alta densidad (HDPE) reforzado con neumáticos fuera de uso (GTR),» *Revistes catalanes amb accés orbet*, vol. 67, nº 545, 2010.
- [17] K. TIREL, *INGENIERÍA DE PERFIL DE MODERNAS PLANTAS PARA RECICLAJE DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU)*, Santiago de Chile, 2017.
- [18] Meyers, 1994.

- [19] R. URIBE, 2011.
- [20] T. KÉVIN, *INGENIERÍA DE PERFIL DE MODERNAS PLANTAS PARA RECICLAJE DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU)*, Santiago de Chile, 2017.
- [21] J. Terán, J. González, J. Hallen y M. Martínez, «Efecto del tamaño de probeta y orientación en la resistencia a la tracción y a la tenacidad a la fractura,» *REVISTA DE METALURGIA* , vol. 5, nº 43, pp. 337-351, 2007.
- [22] Ortega, «Prueba de impacto: ensayo Charpy,» *REVISTA MEXICANA DE FISICA*, vol. 1, nº 52, pp. 51-57, 2006.
- [23] INEN, «Determinación de la dureza Brinell,» *Inen*, vol. 0970, 1984.
- [24] ASTM, *Dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción ASTM D 3039-08..*
- [25] N. I. 527-1:1993, *Plastics-Determination of Tensile Properties - Part 1: General Principles*, Suiza-Geneve, 2004.
- [26] N. I. 178:2001, *Plastics Determination of Flexural Properties*, Suiza-Geneve, 2001.
- [27] M. Matos, J. Sánchez, M. J Jiménez, L. C Salas, O. Santana, A. O Gordillo, M. Maspoch y A. J. LI Müller, «PROPIEDADES MECÁNICAS Y COMPORTAMIENTO A FRACTURA DE UN IMPACTO GRADO COMERCIAL,» *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2005*, vol. 25, nº 2, pp. 31-45, 2006.
- [28] W. JG y A. Pavan, «Kc and Gc at Slow Speeds for Polymers y Determination of Fracture Toughness (Glc and Klc) at Moderately High Loading Rates,» *Elsevier Science Ltd*, vol. 28, pp. 11-58, 2001.
- [29] D. Alessio, S. Robles, M. Lilian y M. René, «ENSAYOS DE CREEP POR TORSIÓN Y TRACCIÓN,» *Avances en ciencias e ingeniería*, vol. 8, nº 4, pp. 39-45, 2017.
- [30] P. A. Ferreirós, P. R. Alonso y G. H. Rubiolo, «Método innovador de ensayos de impacto en altas temperaturas aplicando aceros al carbono,» *REVISTAMATERIA*, vol. 23, nº 2, 2028.

- [31] M. MONROY J., A. DÍAZ ARIAS y H. F. ACEVED, «INSTRUMENTACIÓN DEL EQUIPO DE LABORATORIO DE RESISTENCIA DE,» *Scientia Et Technica*, vol. 15, nº 41, pp. 352-356, 2009.
- [32] Wordpress, «Reciclaje Verde,» 2020. [En línea]. Available: <https://reciclajeverde.wordpress.com/2012/06/26/reciclaje-de-neumaticos-procesos-y-usos/>. [Último acceso: 11 Noviembre 2020].
- [33] J. L. Meseguer, A. Portoles y E. Martínez, «Revisión de los principales tipos de elastómeros y ensayos normalizados,» *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 2020.
- [34] I. 48, «Caucho vulcanizado o termoplástico Determinación de la dureza (dureza entre 10 IRHD y 100 IRHD),» 2010.

ANEXOS

Informe resultados del ensayo de dureza



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

F01-PE-LAEV-01 Rev.01

INFORME TÉCNICO

LAEV – M21.037

Quito, 18 de junio de 2021

Solicitado por: Mario Llumitasig
Persona de contacto: Mario Llumitasig
Teléfono: 0995170295
Correo: mjllumitasig16@gmail.com
Fecha de recepción: 16/06/2021
Fecha de ejecución: 17/06/2021

ORDEN DE TRABAJO N°: DM-OT0053-2021

1. **MUESTRAS:** Una (1) muestra de material compuesto de matriz de polvo de neumático para barrido de dureza.

2. IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:

En la tabla 1 se realiza la identificación de la muestra a ser ensayada:

Tabla 1. Identificación de la muestra.

| Id. cliente | Id. del LAEV |
|-------------|--------------|
| M1 | M21.037.01 |

3. CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura: $19,4 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$

Humedad relativa: $53,9 \pm 1,3 \%$



4. ENSAYO DE DUREZA SHORE A

En la tabla 2 se presentan los resultados del ensayo de barrido de dureza shore.

Tabla 2. Resultados del ensayo de dureza Shore A.

| Id | Mediciones en escala Shore A | | | | | Promedio |
|------------|------------------------------|------------|------------|------------|------------|----------|
| | Medición 1 | Medición 2 | Medición 3 | Medición 4 | Medición 5 | |
| M21.037.01 | 67 | 69 | 69 | 67 | 68 | 68 |

Nota.- Los resultados contenidos en el presente informe corresponden únicamente a las muestras ensayadas por el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV).

| | REVISADO POR: | APROBADO POR: |
|---|---|--|
| Firma: |  Firmado digitalmente por: JONATHAN FERNANDO CASTRO REVELO | WILSON IVAN GUACHAMIN ACERO  Firmado digitalmente por WILSON IVAN GUACHAMIN ACERO Fecha: 2021.06.18 11:57:04 -05'00' |
| Nombre: | Ing. Jonathan Castro, M.Sc. | Ph.D. Wilson Guachamín |
| Cargo: | ESPECIALISTA DE LABORATORIO | JEFE |
| LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES | | |

Informe resultados ensayo de tracción.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orillana Ricuarte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Casmaño
RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000
Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.lfm@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS No. IS-2021-011

Solicitud de trabajo No. DT-OT0027-2021

Quito, 01 de julio de 2021

DATOS DE LA EMPRESA/INSTITUCIÓN SOLICITANTE

Solicitado por: Sr. Mario Llumitasig
Empresa / Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi
Teléfono: 0995170295
Dirección: Latacunga
E-mail: mjllumitasig16@gmail.com

Identificación de la(s) muestra(s) (cliente):

- M1 a M5: 70% Polvo de neumático + 20% Resina de poliuretano + 10% Pigmentos (5 probetas).

Descripción de la(s) muestra(s):

- Probetas de material compuesto: 70% Polvo de neumático + 20% Resina de poliuretano + 10% Pigmentos, para ensayos de tracción con referencia a la norma ASTM D638-14.

LABORATORIO

Fecha de ingreso al Laboratorio: 23/06/2021

Identificación de la(s) muestra(s) (código LANUM):

- Resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D638-14:

MS-21-0334 para la probeta M1

MS-21-0335 para la probeta M2

MS-21-0336 para la probeta M3

MS-21-0337 para la probeta M4

MS-21-0338 para la probeta M5

Fechas en que se realizaron los ensayos: 28/06/2021

Áreas del laboratorio donde se realizaron los ensayos: Área de caracterización mecánica.

Condiciones ambientales corregidas:

Temperatura inicial (°C): 20,2

Temperatura final (°C): 20,1

Humedad relativa inicial (%HR): 48,8

Humedad relativa final (%HR): 49,8



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)**

Campus Politécnico "José Rubén Orrellana Ricaurte" • Calle Izabela Católica S/N y Alfredo Mena Casmaño
RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000
Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.rm@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



EQUIPOS UTILIZADOS

- Máquina universal de ensayos marca: Tinius Olsen, modelo: H25KS; capacidad máxima 25 kN; precisión utilizada: 0,01 N.
- Calibrador de vernier marca: Mitutoyo, modelo: Absolute Digimatic (12"/300 mm); apreciación de 0,01 mm.
- Micrómetro analógico marca: Mitutoyo, modelo: 103-104 con una apreciación de 0,01 mm.
- Termohigrómetro marca ELITECH, modelo RCW-800 wifi; apreciación de 0,1 °C y 0,1 %HR.

MÉTODOS EMPLEADOS

El método empleado se basa en la norma ASTM D638-14

- Tipo de probeta: I
- Distancia calibrada para medir la deformación: 50 mm
- Velocidad de ensayo: 50 mm/minuto

RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D638-14 para las probetas M1 a M5 (MS-21-0334 a MS-21-0338).

Tabla 1. Resultados del ensayo de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D638-14 para las probetas M1 a M5 (MS-21-0334 a MS-21-0338)

| ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D638-14 | | | | | | | | |
|---------------------------------|------------|--------------|-------------------------|------------------|--------------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Muestra No. | Ancho (mm) | Espesor (mm) | Área (mm ²) | Carga última (N) | Resistencia última (MPa) | Módulo secante de elasticidad (MPa) | Deformación última (%) | Deformación a la rotura (%) |
| M1 (MS-21-0334) | 12,56 | 4,53 | 56,81 | 116,67 | 2,05 | 8,68 | 36,12 | - |
| M2 (MS-21-0335) | 13,80 | 4,55 | 62,79 | 118,33 | 1,88 | 9,50 | 31,73 | 33,20 |
| M3 (MS-21-0336) | 13,01 | 4,48 | 58,26 | 120,83 | 2,07 | 10,06 | 33,57 | 35,28 |
| M4 (MS-21-0337) | 12,62 | 4,33 | 54,58 | 122,50 | 2,24 | 10,82 | 37,06 | 38,52 |
| M5 (MS-21-0338) | 13,42 | 4,70 | 62,98 | 123,33 | 1,96 | 9,00 | 35,55 | 38,96 |
| Promedio | | | | 120,33 | 2,04 | 9,61 | 34,81 | 36,49 |
| Desviación estándar | | | | 2,80 | 0,14 | 0,85 | 2,14 | 2,74 |
| Coeficiente de variación | | | | 2,33 | 6,62 | 8,88 | 6,15 | 7,51 |

Observación:

La probeta M1 se rompió fuera de la región calibrada para medir la deformación, por lo que no se reporta la deformación a la rotura para esa probeta.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricuarte" • Calle Isabela Católica 5/N y Alfredo Mera Caamaño
RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000
Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum_fm@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



En la figura 1 se muestran las condiciones de las probetas M1 a M5 (MS-21-0334 a MS-21-0338) después de los ensayos de resistencia a tracción.



Figura 1. Condiciones finales de las probetas M1 a M5 (MS-21-0334 a MS-21-0338) después de los ensayos de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D638-14.

Bibliografía

American Society for Testing and Materials; ASTM D638-14; Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics; West Conshohocken; 2014

"El cliente puede hacer uso académico de los resultados presentados en este informe, así como de los respaldos enviados en formato digital para su tratamiento".

NOTA: ESTOS RESULTADOS ESTÁN RELACIONADOS ÚNICAMENTE A LA(S) MUESTRA(S) SOMETIDA(S) A ENSAYO

NOTA DE DESCARGO DE RESPONSABILIDAD: En caso de que las muestras entregadas no cumplieran con las especificaciones solicitadas por el LANUM (dimensiones, tolerancias, calidad y cantidad de muestra), y a pesar de eso el cliente diera su consentimiento para la realización de análisis, el LANUM no se responsabiliza si los resultados son afectados debido a estas desviaciones (no cumplimiento de especificaciones)

Realizado por:

Ing. Orlando Campaña

Analista Técnico

Revisado y aprobado por:

Ing. Karina Lagos

Responsable Técnica

Autorizado por:

Paulina Romero, Ph.D.

Coordinadora del Laboratorio



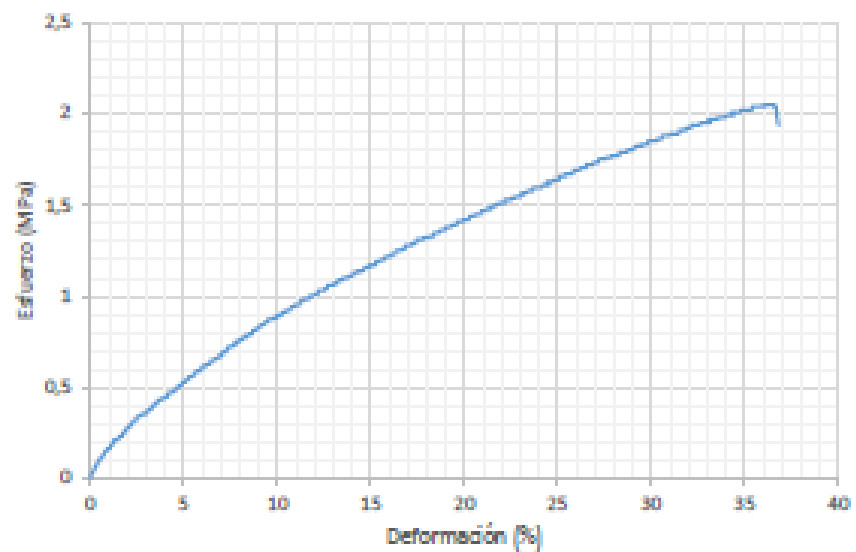
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mesa Caamaño
RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000
Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.fim@epn.edu.ec • Quito – Ecuador

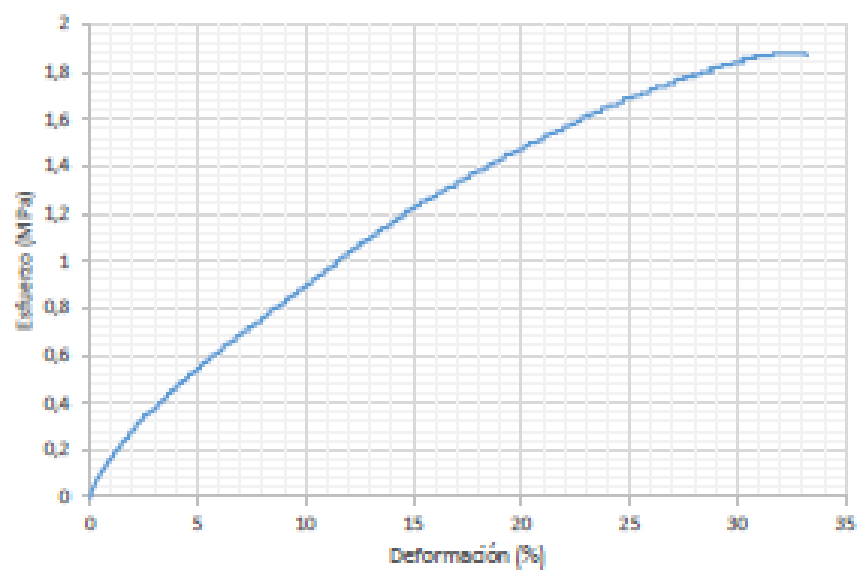


ANEXOS

Anexo 1. Curvas de Esfuerzo vs Deformación de las probetas ensayadas.



A 1.1. Curva Esfuerzo vs Deformación para la probeta M1 (MS-21-0334)



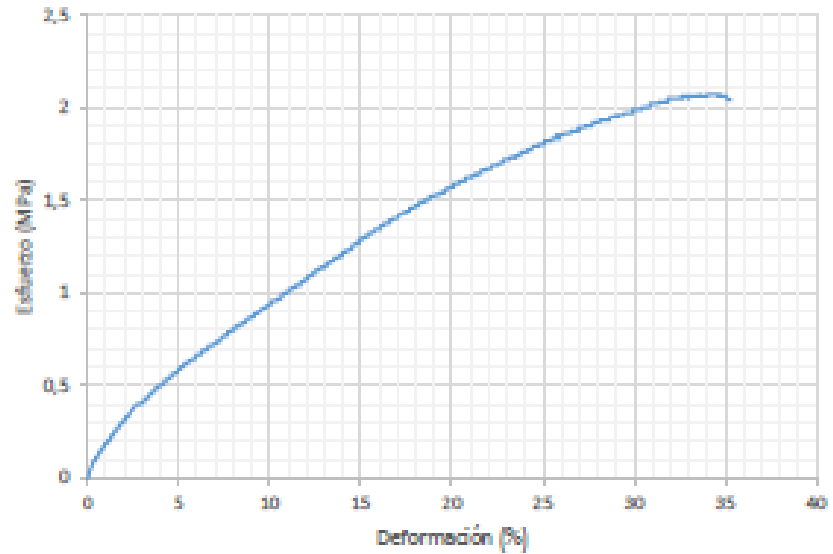
A 1.2. Curva Esfuerzo vs Deformación para la probeta M2 (MS-21-0335)



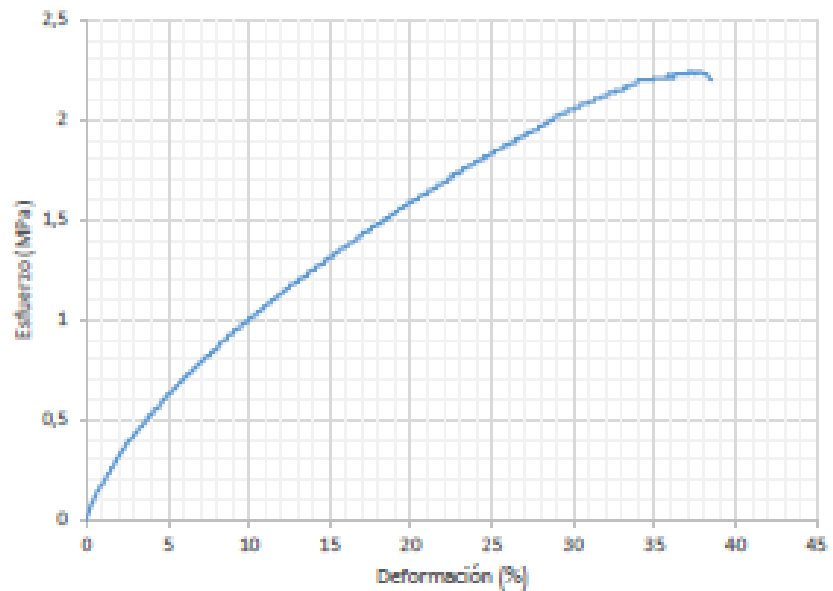
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Rocauro" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mesa Casmaño
RUC: 1760005620001 • Tel: (00593-3) 2976300 Ext.: 3000

Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.rm@epn.edu.ec • Quito - Ecuador



A 1.3. Curva Esfuerzo vs Deformación para la probeta M3 (MS-21-0336)

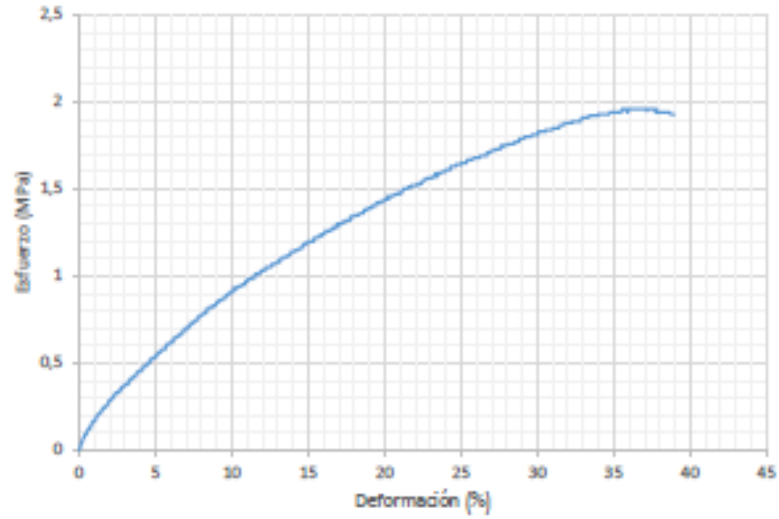


A 1.4. Curva Esfuerzo vs Deformación para la probeta M4 (MS-21-0337)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES (LANUM)

Campus Politécnico "José Rubén Orrellana Riosarte" • Calle Isabela Católica S/N y Alfredo Mena Caamaño
RUC: 1760005620001 • Tel.: (00593-2) 2976300 Ext.: 3000
Apartado 17-01-2759 • E-mail: lanum.rm@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



A 1.5. Curva Esfuerzo vs Deformación para la probeta M5 (MS-21-0338)