



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2024,
Volumen 8, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5

**IMPLEMENTACIÓN DE UN
MATERIAL COMPUESTO UTILIZANDO
POLVO DE NEUMÁTICO, PARA LA
FABRICACIÓN DE PISO FLEXIBLE**

**IMPLEMENTATION OF A COMPOSITE MATERIAL
USING TIRE POWDER, FOR THE MANUFACTURING
OF FLEXIBLE FLOOR**

Mario Javier Llumitasig Calvopiña
Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Juan Mauricio Guaman Quispillo
Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Jessica Belén Defaz Chimba
Instituto Superior Universitario Cotopaxi, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14597

Implementación de un Material Compuesto Utilizando Polvo de Neumático, para la Fabricación de Piso Flexible

Mario Javier Llumitasig Calvopiña¹

mllumitasigc@unemi.edu.ec

<http://orcid.org/0000-0002-8889-1367>

Universidad Estatal de Milagro
Ecuador

Juan Mauricio Guaman Quispillo

jguamanq2@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-3897-5834>

Universidad Estatal de Milagro
Ecuador

Jessica Belén Defaz Chimba

jbdefazc@istx.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-6758-9387>

Instituto Superior Universitario Cotopaxi
Ecuador

RESUMEN

Se 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 líquido 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 de piso garantizando un piso flexible y la durabilidad del mismo.

Palabras clave: material compuesto, polvo de neumático, baldosa de caucho, piso flexible, tracción

¹ Autor principal

Correspondencia: mllumitasigc@unemi.edu.ec

Implementation of a Composite Material Using Tire Powder, for the Manufacturing of Flexible Floor

ABSTRACT

A obtained 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, ensuring a flexible floor and durability of the same.

Keywords: composite material, tire dust, rubber tile, flexible floor, tensile strength

Artículo recibido 10 septiembre 2024

Aceptado para publicación: 12 octubre 2024



INTRODUCCIÓN

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].

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 cumplirse pueden aplicarse 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 [1]. 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 [2]. Un método para aprovechar los residuos del caucho, son los métodos mecánicos como la molienda y el mezclado a una alta velocidad, los métodos químicos mecánicos de vulcanización también los químicos con reactivos orgánicos e inorgánicos, térmicos como los digestores, en medios alcalinos y con ultrasonido [3].

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. F. Moreno y colaboradores [6] mencionan que debido a las mejoras de las propiedades mecánicas del betón aportadas tras la incorporación de polvo de neumático, las mezclas fabricadas con estos ligantes se postulan como una posible solución a problemas como la 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].

DESARROLLO

Desarrollo experimental

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” [11].

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 [12].

Caracterización de la materia prima.

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 fútbol[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].

Figura 1. 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].

Figura 2. Presentación de la materia prima



Fuente: El autor

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 isocionato[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.

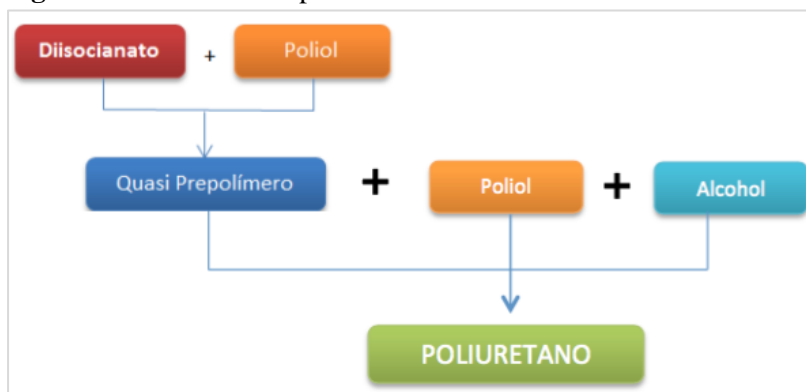
Crea una película sólida y duradera.

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].

Figura 3. 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].

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].

Figura 4. Mezcladora de polvo de neumatico



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].

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].

Figura 5. 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].

Proceso de producción. 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%, 80/20% y 90/10% de caucho y poliuretano respectivamente[26].

Tabla 1 Cantidad de los productos

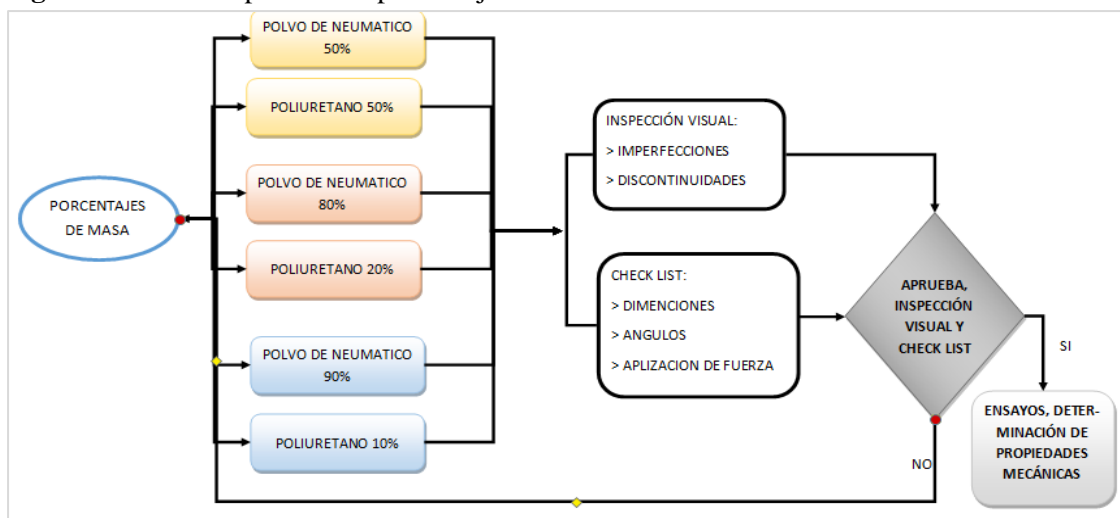
Materia prima e insumos			
Materiales	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje
Polvo de neumático	50%	80%	90%
Resina de poliuretano	50%	20%	10%
Pigmentos	10% del total		

Fuente: El autor

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.

Figura 6. Diseño experimental porcentajes de masa



Fuente: El autor

Para el 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.

Figura 7. 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.

Figura 8. Poliuretano liquido



Fuente: El autor

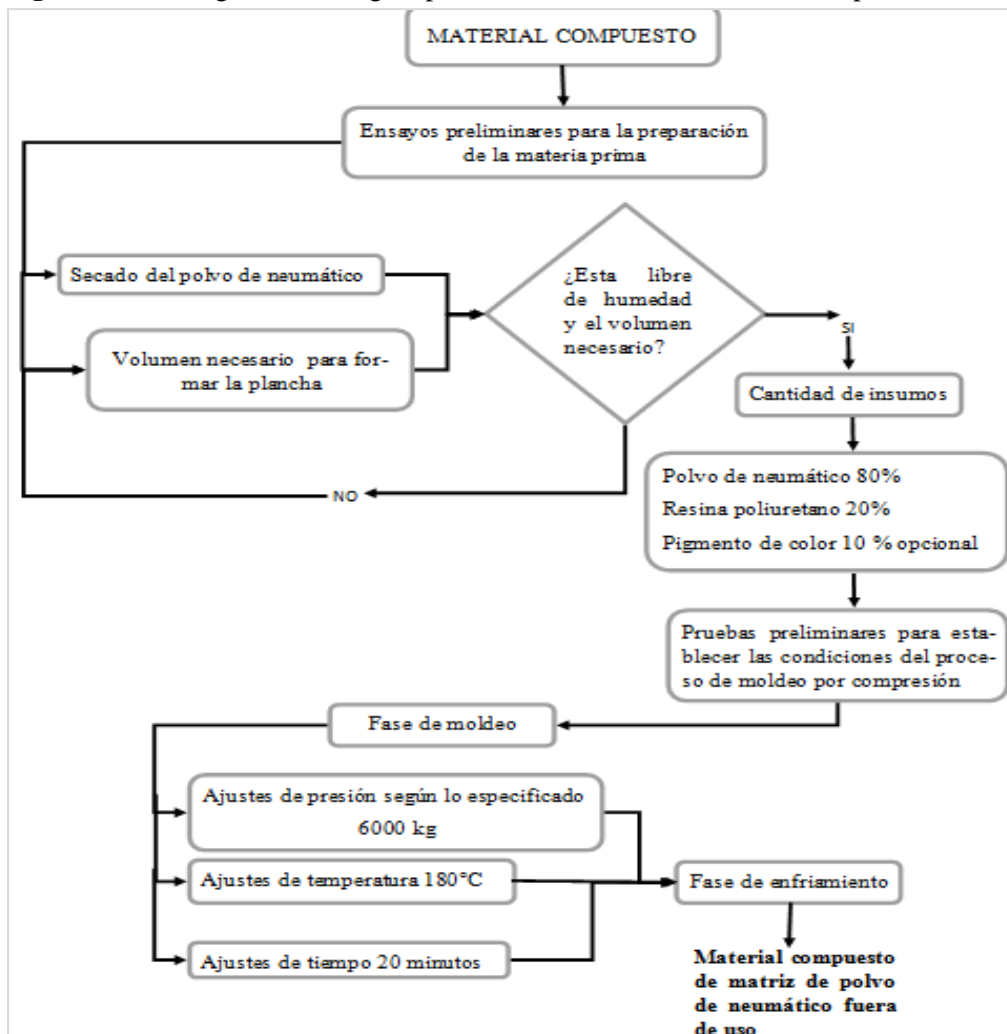
Tabla 2 Volumen de poliuretano requerido para la mezcla 50-50 %

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

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, el 20% en volumen de poliuretano 247 ml y el 10% en volumen de poliuretano es 124 ml.

Después de la preparación del polvo de neumático fuera de uso, para junto con la resina de poliuretano realizar el moldeo bajo presión y temperatura antes definida, procede con la compactación siguiendo la metodología descrita en la figura 9.

Figura 9. Estrategia metodológica para la elaboración del material compuesto



Fuente: Propia

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].

Figura 10. 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].

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.

Figura 11. Baldosa de PNFU



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.

Figura 12. Doblado de baldosa



Fuente: El autor

Ensayo

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 [13], como se muestra en la figura 13.

Figura 13. 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 3.

Tabla 3 Resultados del ensayo de dureza Shore A.

Mediciones en escala Shore A					
Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Promedio
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 4 que se muestra a continuación se tiene algunos de esos productos y su aplicación según la dureza en la escala Shore A.

Tabla 4 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

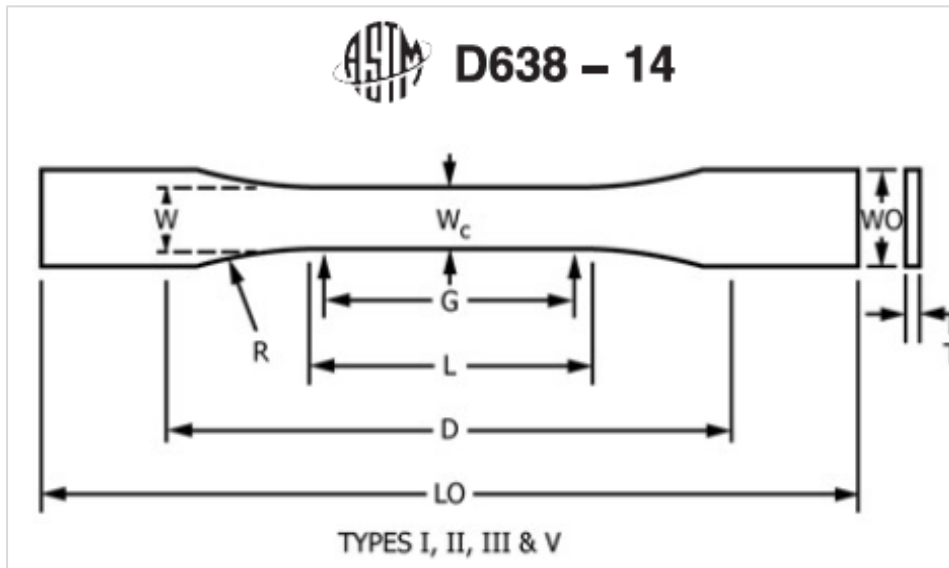
Una dureza que este comprendida entre 65 y 70 es para neumáticos de vehículos, y no podíamos esperar menos puesto que nuestro producto tiene como matriz polvo de neumático y como ligante el poliuretano, nuestra dureza en promedio tiene un valor de 68 con la diferencia que es una baldosa y está recubriendo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

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 elastomericos, 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.

Figura 14. 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 15 se muestran las dimensiones recomendadas para el ensayo que se llevara a cabo.

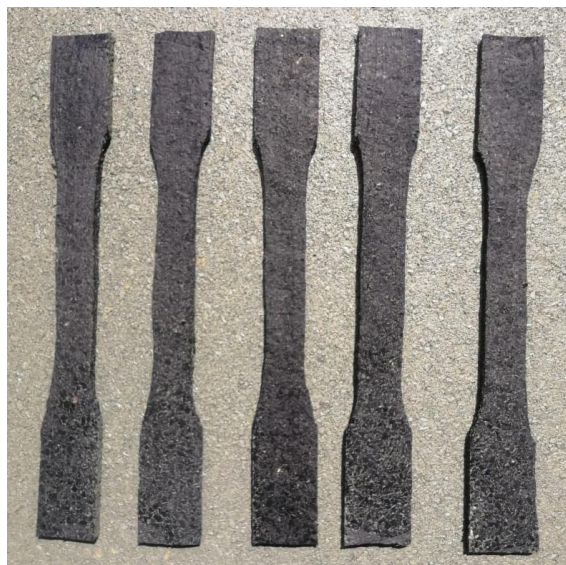
Figura 15. Dimensiones para la probeta de ensayos de tracción

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)

Fuente: [33]

Bajo estas especificaciones se tiene las 5 probetas extraídas de las baldosas de caucho previamente fabricadas, en la figura 16 se muestra las probetas antes del ensayo.

Figura 16. 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.

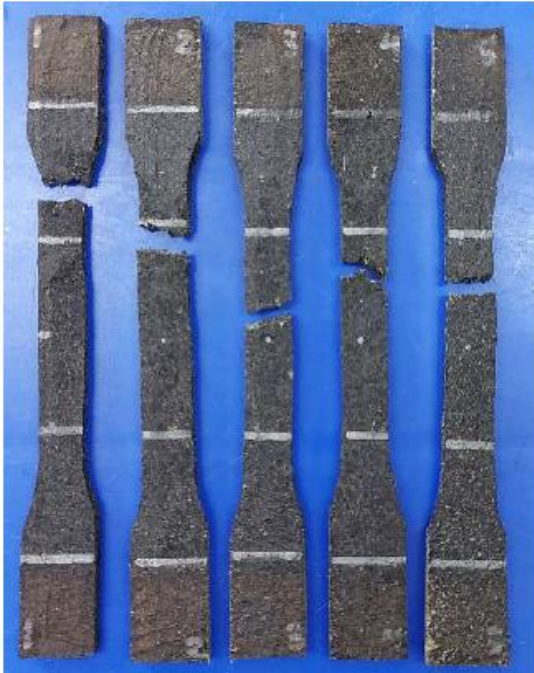
En la tabla 5 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a tracción tomando como referencia la norma ASTM D638-14 para las probetas muestra 1 denominada M1 hasta la muestra 5 denominada M5.

Tabla 5 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 (N)	última (MPa)	de elasticidad (MPa)	última (%)	a la rotura (%)
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 17 se muestran las condiciones de las probetas M1 a M5 después de los ensayos de resistencia a tracción.

Figura 17. 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 elastoméricos y plásticos se debe dar en la zona denotada como “G” que se muestra en la figura 14, 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

CONCLUSIONES - DISCUSIÓN

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 ultima de 1,765 MPa.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] . P. J. Salazar Quijije, «Estudio de factibilidad para la implementación de una empresa productora y comercializadora de baldosas de caucho a partir de neumáticos usados.,» *CITTECAM*, 2022.
- [2] G. Botasso, . O. Rebollo y A. Cuattrocchio, «Utilización de caucho de neumáticos en mezcla asfáltica densa en obras de infraestructura,» n° 20, 2008.
- [3] G. J. Palález Arroyave, S. M. Velásquez Restrepo y D. H. Giraldo Vásquez, «Aplicaciones del caucho reciclado: Una revisión de literatura,» *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 27, n° 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, n° 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. Porrás Salcedo y H. A. Rondón Quintana, «COMPORTAMIENTO DE UN CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON UN DESECHO DE PVC,» *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 12, n° 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*, n° 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] 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.
- [12] J. Espinoza Flores, «bibliotecas.ucasal,» 2022. [En línea]. Available: https://bibliotecas.ucasal.edu.ar/opac_css/index.php?lvl=cmspage&pageid=24&id_notice=72189 . [Último acceso: 17 10 2024].
- [13] «Industrialphysics,» 2024. [En línea]. Available: <https://industrialphysics.com/es/normas/astm-d2240-es/?srsltid=AfmBOopPlx9eRe8KXl4pKPuPhxriEfnJF4KTt6s4PWPiAtB4UsOUvCYa> . [Último acceso: 17 10 2024].
- [14] MICSE, 2012

- [15] A. BENAVIDES, P. BENJUMEA y V. PASHOVA, «EL BIODIESEL DE ACEITE DE HIGUERILLA COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA MOTORES DIESEL,» *DYNA*, 2007.
- [16] J. Pablo, B. C. Ignacio y D. J. Pablo, «Perspectivas generales del desarrollo de la industria de los biocombustibles en Uruguay,» *Biocombustibles*, pp. 12-15, 2009.

