



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL**  
**TÍTULO DE**  
**INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

---

“ELABORACIÓN DE ADOQUINES FLEXIBLES A PARTIR DE FIBRA DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS PARA REVESTIMIENTOS DE PISOS”

---

---

**AUTOR:**

José Augusto Benavides Morales

**TUTOR:**

Ing. Mg. Luis Eduardo Escobar Luna

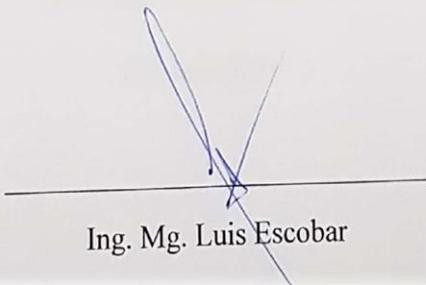
**Ambato – Ecuador**  
**2019**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Luis Escobar, certifico que el presente Trabajo Experimental bajo el tema: “ELABORACIÓN DE ADOQUINES FLEXIBLES A PARTIR DE FIBRA DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS PARA REVESTIMIENTOS DE PISOS”, es de autoría del Sr. José Augusto Benavides Morales, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad

Ambato, Julio del 2019



Ing. Mg. Luis Escobar

## AUTORÍA

Yo, José Augusto Benavides Morales con C.I: 050296277-2, Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: “ELABORACIÓN DE ADOQUINES FLEXIBLES A PARTIR DE FIBRA DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS PARA REVESTIMIENTOS DE PISOS”, es de mi completa autoría.

Ambato, Julio del 2019



---

José Augusto Benavides Morales

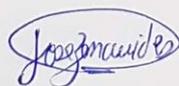
CC. 050296277-2

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, julio de 2019



---

José Augusto Benavides Morales

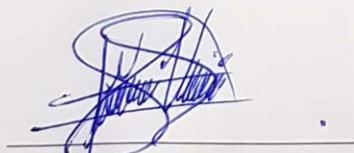
CC. 050296277-2

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

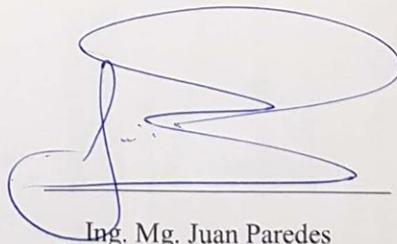
Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: "ELABORACIÓN DE ADOQUINES FLEXIBLES A PARTIR DE FIBRA DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS PARA REVESTIMIENTOS DE PISOS", del Sr. José Augusto Benavides Morales, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la carrera de Ingeniería Mecánica.

Ambato, Julio del 2019

Para constancia firman.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above a horizontal line.

Ing. Mg. Henry Vaca

A handwritten signature in blue ink, featuring a large, prominent loop at the top and several horizontal strokes below, positioned above a horizontal line.

Ing. Mg. Juan Paredes

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico con mucha fe y respeto a Dios, por haberme permitido culminar esta anhelada carrera profesional, a mis padres José y Alicia por su apoyo incondicional, a mi hermana Erika y a mi tía Graciela por estar siempre pendiente en todos los instantes de mi vida y haberme motivado constantemente en la consecución de mis estudios.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi gratitud y reconocimiento a la Universidad Técnica de Ambato que por intermedio de sus docentes me han impartido sus enseñanzas para ser un buen profesional y con mis conocimientos contribuir cada día para un mejor país.

A mi tutor, que con su profesionalismo me ha guiado para llegar a cumplir este anhelado sueño; el ser Ingeniero Mecánico.

Por último, agradecer al Ing. Juan Garcés, decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por ser el mentor de este trabajo experimental.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA.....</b>	<b>iii</b>
<b>DERECHOS DE AUTOR .....</b>	<b>iv</b>
<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....</b>	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FICHAS TÉCNICAS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xvi</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>xvii</b>
<b>EXECUTIVE SUMMARY .....</b>	<b>xviii</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
1. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Tema del trabajo experimental .....	1
1.2. Antecedentes .....	1
1.3. Justificación .....	5
1.4. Objetivo .....	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivos Específicos .....	6
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>7</b>
2. FUNDAMENTACIÓN.....	7
2.1. Fundamentación Teórica.....	7
2.2. Hipótesis .....	23

2.3.	Señalamiento de variables de la hipótesis.....	23
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>24</b>
3.	METODOLOGÍA.....	24
3.1.	Nivel o tipo de investigación.....	24
3.2.	Población y muestra.....	24
3.2.1.	Población.....	24
3.2.2.	Muestra.....	28
3.3.	Operacionalización de variables.....	28
3.4.	Plan de recolección de información.....	31
3.5.	Plan Procesamiento y análisis.....	31
3.5.1.	Factibilidad de realizar los ensayos.....	34
3.5.2.	Adquisición de la materia prima.....	36
3.5.3.	Determinación de la densidad de la resina y de la fibra de caucho reciclado.....	38
3.5.3.1.	Cálculo de la densidad de la resina de poliuretano.....	39
3.5.3.2.	Cálculo de la densidad de la fibra de caucho.....	41
3.5.4.	Composición volumétrica de resina de poliuretano y la fibra de caucho reciclado.....	43
3.5.4.1.	Cálculo de masa y volumen para las composiciones volumétricas .	43
3.5.4.1.1.	Cálculo del volumen utilizado por la matriz y refuerzo para cada composición volumétrica.....	44
3.5.4.1.2.	Cálculo de la masa utilizado por la matriz y refuerzo para cada composición volumétrica.....	48
3.5.5.	Elaboración de probetas para los ensayos.....	56
3.5.6.	Ejecución de los ensayos del material compuesto.....	61
3.5.6.1.	Ensayo a compresión del material compuesto.....	61

3.5.6.2.	Ensayo de dureza del material compuesto .....	63
3.5.6.3.	Ensayo de inflamabilidad de la mejor configuración del material compuesto .....	65
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>69</b>
4.	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>69</b>
4.1.	Recolección de datos .....	69
4.1.1.	Recolección de datos del ensayo de compresión .....	70
4.1.2.	Recolección de datos del ensayo de dureza .....	76
4.1.3.	Recolección de datos del ensayo de compresión de adoquín flexible disponible en el mercado. ....	82
4.1.4.	Recolección de datos del ensayo de dureza de adoquín flexible disponible en el mercado. ....	83
4.2.	Análisis de los resultados.....	84
4.2.1.	Análisis de resultados por ensayos .....	84
4.2.2.	Análisis de resultados de los ensayos para tipo granulometría de fibra de caucho de neumáticos reciclados.....	88
4.2.3.	Análisis general de los resultados de los ensayos.....	90
4.2.4.	Interpretación de resultados .....	91
4.3.	Ensayo de inflamabilidad.....	92
4.4.	Verificación de la hipótesis.....	95
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>102</b>
5.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>102</b>
5.1.	Conclusiones .....	102
5.2.	Recomendaciones .....	103
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>105</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>107</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Configuración del aglutinante .....	24
<b>Tabla 2.</b> Selección de alternativas del aglutinante .....	26
<b>Tabla 3.</b> Configuraciones del material compuesto .....	27
<b>Tabla 4.</b> Muestras consideradas para el estudio .....	28
<b>Tabla 5.</b> Operacionalización de la Variable Independiente: Material compuesto de adoquines flexibles a partir de fibra de caucho de neumáticos reciclados.....	29
<b>Tabla 6.</b> Operacionalización de la Variable Dependiente: Propiedades mecánicas del revestimiento de pisos .....	30
<b>Tabla 7.</b> Tipos de ensayos y normas a aplicar.....	34
<b>Tabla 8.</b> Datos del laboratorio donde es viable realizar los ensayos.....	35
<b>Tabla 9.</b> Datos generales de factibilidad a realizar los ensayos .....	36
<b>Tabla 10.</b> Granulometría del caucho disponible en el mercado .....	36
<b>Tabla 11.</b> Resina de poliuretano.....	37
<b>Tabla 12.</b> Datos de los proveedores de materia prima para la elaboración de adoquines flexibles.....	38
<b>Tabla 13.</b> Datos del pesaje de la probeta de resina.....	39
<b>Tabla 14.</b> Pesaje de fibra de caucho. ....	41
<b>Tabla 15.</b> Densidad de los tipos de fibra de caucho.....	43
<b>Tabla 16.</b> Composiciones volumétricas y número de probetas para ensayos. ....	44
<b>Tabla 17.</b> Dimensiones generales de los moldes para ensayos .....	45
<b>Tabla 18.</b> Datos de volumen para moldes de ensayos a compresión .....	46
<b>Tabla 19.</b> Datos de volumen para moldes de ensayos de dureza .....	46
<b>Tabla 20.</b> Datos de volumen para moldes de ensayos de inflamabilidad.....	47
<b>Tabla 21.</b> Datos de volumen de gránulo y aglutinante.....	47

<b>Tabla 22.</b> Composición volumétrica: 8% aglutinante – 92% gránulo.....	49
<b>Tabla 23.</b> Composición volumétrica: 12% aglutinante – 88% gránulo.....	49
<b>Tabla 24.</b> Composición volumétrica: 16% aglutinante – 70% gránulo – 14% polvillo .....	49
<b>Tabla 25.</b> Composición volumétrica: 8% aglutinante – 92% gránulo.....	50
<b>Tabla 26.</b> Composición volumétrica: 12% aglutinante – 88% gránulo.....	50
<b>Tabla 27.</b> Composición volumétrica: 16% aglutinante – 70% gránulo – 14% polvillo .....	50
<b>Tabla 28.</b> Composición volumétrica: 8% aglutinante – 92% gránulo.....	51
<b>Tabla 29.</b> Composición volumétrica: 12% aglutinante – 88% gránulo.....	51
<b>Tabla 30.</b> Composición volumétrica: 16% aglutinante – 70% gránulo – 14% polvillo .....	51
<b>Tabla 31.</b> Composición volumétrica: 8% aglutinante – 92% gránulo.....	52
<b>Tabla 32.</b> Composición volumétrica: 12% aglutinante – 88% gránulo.....	52
<b>Tabla 33.</b> Composición volumétrica: 16% aglutinante – 70% gránulo – 14% polvillo .....	52
<b>Tabla 34.</b> Composición volumétrica: 8% aglutinante – 92% gránulo.....	53
<b>Tabla 35.</b> Composición volumétrica: 12% aglutinante – 88% gránulo.....	53
<b>Tabla 36.</b> Composición volumétrica: 16% aglutinante – 70% gránulo – 14% polvillo .....	53
<b>Tabla 37.</b> Composición volumétrica: 8% aglutinante – 92% gránulo.....	54
<b>Tabla 38.</b> Composición volumétrica: 12% aglutinante – 88% gránulo.....	54
<b>Tabla 39.</b> Composición volumétrica: 16% aglutinante – 70% gránulo – 14% polvillo .....	54
<b>Tabla 40.</b> Datos recopilados de masa y volumen para elaborar probetas para los ensayos de compresión, dureza e inflamabilidad. ....	55
<b>Tabla 41.</b> Detalle de las configuraciones del ensayo a compresión. ....	97

<b>Tabla 42.</b> Detalle de compresión residual del ensayo a compresión.....	97
<b>Tabla 43.</b> Detalle de las configuraciones del ensayo de dureza. ....	99
<b>Tabla 44.</b> Detalle de compresión residual del ensayo a compresión.....	99
<b>Tabla 45.</b> Resumen de verificación de hipótesis para los ensayos de compresión y dureza .....	101

## ÍNDICE DE FICHAS TÉCNICAS

<b>Ficha Técnica 1.</b>	Resultados del ensayo a compresión de la configuración A1: 8% Resina – 92% Fibra de caucho.....	70
<b>Ficha Técnica 2.</b>	Resultados del ensayo a compresión de la configuración A2: 12% Resina – 88% Fibra de caucho.....	71
<b>Ficha Técnica 3.</b>	Resultados del ensayo a compresión de la configuración A3: 16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho. ....	72
<b>Ficha Técnica 4.</b>	Resultados del ensayo a compresión de la configuración B1: 8% Resina – 12% Fibra de caucho.....	73
<b>Ficha Técnica 5.</b>	Resultados del ensayo a compresión de la configuración B2: 12% Resina – 88% Fibra de caucho.....	74
<b>Ficha Técnica 6.</b>	Resultados del ensayo a compresión de la configuración B3: 16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho. ....	75
<b>Ficha Técnica 7.</b>	Resultados del ensayo a compresión de la configuración A1: 8% Resina - 92% Fibra de caucho. ....	76
<b>Ficha Técnica 8.</b>	Resultados del ensayo a compresión de la configuración A2: 12% Resina - 88% Fibra de caucho. ....	77
<b>Ficha Técnica 9.</b>	Resultados del ensayo a compresión de la configuración A3: 16% Resina - 14% Polvillo de caucho - 70% Fibra de caucho. ....	78
<b>Ficha Técnica 10.</b>	Resultados del ensayo a compresión de la configuración B1: 8% Resina – 92% Fibra de caucho.....	79
<b>Ficha Técnica 11.</b>	Resultados del ensayo a compresión de la configuración B2: 12% Resina – 88% Fibra de caucho.....	80

<b>Ficha Técnica 12.</b> Resultados del ensayo a compresión de la configuración B3: 16% Resina - 14% Polvillo de caucho - 70% Fibra de caucho. ....	81
<b>Ficha Técnica 13.</b> Resultados del ensayo a compresión de adoquín flexible disponible en el mercado.....	82
<b>Ficha Técnica 14.</b> Resultados del ensayo de dureza de adoquín flexible disponible en el mercado.....	83
<b>Ficha Técnica 15.</b> Resultados de compresión residual del ensayo a compresión de cada configuración volumétrica para adoquines flexibles .....	84
<b>Ficha Técnica 16.</b> Resultados de dureza shore del ensayo de dureza de cada configuración volumétrica para adoquines flexibles. ....	85
<b>Ficha Técnica 17.</b> Resultados de compresión residual de adoquín comercial ensayado a compresión. ....	86
<b>Ficha Técnica 18.</b> Resultados de dureza shore D en adoquín comercial con ensayo de dureza. ....	87
<b>Ficha Técnica 19.</b> Resultados de ensayos de compresión y dureza de granulometría Tipo A: 1 – 4 mm .....	88
<b>Ficha Técnica 20.</b> Resultados de ensayos de compresión y dureza de granulometría Tipo B: 3 – 6 mm.....	89
<b>Ficha Técnica 21.</b> Resultados de todos los ensayos.....	90
<b>Ficha Técnica 22.</b> Ponderación de resultados.....	91
<b>Ficha Técnica 23.</b> Resultados del ensayo de inflamabilidad de la mejor configuración de material compuesto B3: 16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho.....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama del proceso para elaboración de adoquines flexibles.....	34
<b>Figura 2.</b> Dimensiones del molde para cálculo de densidad.....	40
<b>Figura 3.</b> Diagrama de elaboración de probetas.....	57
<b>Figura 4.</b> Pesaje de resina y gránulo de caucho .....	58
<b>Figura 5.</b> Mezcla de resina y gránulo de caucho.....	58
<b>Figura 6.</b> Aplicación del material en los moldes.....	59
<b>Figura 7.</b> Control de calidad de probetas .....	59
<b>Figura 8.</b> Probetas para ensayos de compresión y dureza.....	60
<b>Figura 9.</b> Probetas para ensayos de inflamabilidad.....	60
<b>Figura 10.</b> Reloj comparador y sistema de compresión .....	61
<b>Figura 11.</b> Datos de mediciones de probeta a ensayar compresión. ....	62
<b>Figura 12.</b> Colocación de probetas y ajuste de mordazas en máquina en compresión. ....	62
<b>Figura 13.</b> Durómetro Shore D .....	64
<b>Figura 14.</b> Dispositivo de medición de dureza en probetas. ....	65
<b>Figura 15.</b> Mechero Bunsen. ....	66
<b>Figura 16.</b> Marcado y cortado de probetas para ensayo de inflamabilidad.....	66
<b>Figura 17.</b> Mechero bunsen aproximando a la probeta. ....	67
<b>Figura 18.</b> Medición de velocidad de quemado. ....	67
<b>Figura 19.</b> Distribución T-Student .....	96
<b>Figura 20.</b> Campana de distribución de ensayo a compresión para verificar hipótesis .....	98
<b>Figura 21.</b> Campana de distribución de ensayo de dureza para verificar hipótesis .....	100

## RESUMEN EJECUTIVO

**TEMA:** ELABORACIÓN DE ADOQUINES FLEXIBLES A PARTIR DE FIBRA DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS PARA REVESTIMIENTO DE PISOS.

Este trabajo experimental trata de mitigar el impacto ambiental que producen los neumáticos fuera de uso, teniendo en cuenta la gran dificultad para hacerlos desaparecer una vez usados, siendo uno de los problemas medioambientales más graves en todo el mundo, por tal motivo nuestra investigación se propone dar una aplicación a este derivado de los neumáticos que consiste en elaborar adoquines flexibles de distintas configuraciones volumétricas de caucho reciclado y aglutinante.

Se definió las cantidades de matriz y refuerzo adecuadas, como es la matriz elastomérica de resina de poliuretano y como refuerzo fibra de caucho reciclado, con el propósito de obtener un material compuesto ideal para revestir pisos. Elaboramos probetas de las distintas configuraciones volumétricas planteadas para ser expuestas en pruebas mecánicas de acuerdo a las normas de compresión (NTE INEN 889) y dureza (NTE INEN 887), todos los resultados obtenidos fueron promediados y graficados,

En consecuencia, se determinó la mejor configuración de material compuesto con una respuesta óptima a pruebas mecánicas para su aplicación, que es el Tipo B3 con una granulometría de 3 a 6 mm y composición volumétrica de 16% resina de poliuretano, 14% polvillo de caucho y 70% fibra de caucho reciclado. A este material se le comparó con los adoquines betone que están disponibles en el mercado brindando una menor dureza y mayor compresión, a este material se le practicó el ensayo de inflamabilidad con la norma (ASTM D635) para conocer la respuesta al fuego que tendrá este material.

## **EXECUTIVE SUMMARY**

### **ELABORATION OF FLEXIBLE PAVERS FROM RUBBER FIBER IN RECYCLED TIRES FOR FLOOR COVERING.**

This experimental work tries to mitigate the environmental impact produced by unused tires, taking into account the great difficulty to make them disappear once used, being one of the most serious environmental problems worldwide, for this reason our research is proposed give an application to this tire derivative that consists of making flexible pavers of different volumetric configurations of recycled rubber and binder.

The amounts of suitable matrix and reinforcement were defined, such as the elastomeric matrix of polyurethane resin and as a recycled rubber fiber reinforcement, in order to obtain an ideal composite material for covering floors. We developed specimens of the different volumetric configurations raised to be exposed in mechanical tests according to the compression standards (NTE INEN 889) and hardness (NTE INEN 887), all the results obtained were averaged and plotted,

Consequently, the best configuration of composite material was determined with an optimal response to mechanical tests for its application, which is Type B3 with a granulometry of (3 – 6) mm and volumetric composition of 16% polyurethane resin, 14% rubber dust and 70% recycled rubber fiber. This material was compared with the betone pavers that are available in the market providing less hardness and greater compression, this material was tested for flammability with the standard (ASTM D635) to know the response to fire that will have this material.

## **CAPÍTULO I**

### **1. ANTECEDENTES**

#### **1.1. Tema del trabajo experimental**

ELABORACIÓN DE ADOQUINES FLEXIBLES A PARTIR DE FIBRA DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS PARA REVESTIMIENTOS DE PISOS.

#### **1.2. Antecedentes**

En el Ecuador se desechan como 2.4 millones de neumáticos que son terminados en los bordes de las carreteras, terrenos, baldíos o cuerpos de agua, teniendo en cuenta que mediante un estudio de la Unión internacional para la conservación de la Naturaleza, se determina que las micro partículas de plástico se desprenden de productos industriales como ropa sintética y de neumáticos que son representados en un 30% de la basura que contaminan los océanos, es por eso, que se aprecia la recopilación, transporte, almacenamiento y disposición final correcta de los neumáticos. [1]

El material que es procesado sirve para tener combustibles, caucho para parques, canchas, gimnasio, asfalto, sobre todo para aquellos productos artesanales, considerando que este material sea utilizado para las calles y carreteras, con el fin de tener material reciclado de llantas que sirven para subir su reutilización, por cuanto, un neumático posee distintos componentes como es el caucho, acero, óxido de zinc, textiles, cobre, cadmio y plomo.

Las llantas que son paradas en las quebradas, ríos o rellenos son convertidos en aquellos materiales para la construcción, alfombras, carreteras e incluso en textiles, ya que es necesario darle una segunda vida al caucho con el fin de evitar que este

material contamine el planeta, es por eso por lo que en el Ecuador se obtienen distintas opciones de reciclaje del caucho para que no afecte en la contaminación y este neumático sea utilizado nuevamente. [1]

Revisada la información de trabajos previos sobre la temática, se pudo encontrar una tesis de titulación previa a la obtención del título de Ingeniero Constructor con los siguientes datos:

Tema: Reciclaje de neumáticos y su aplicación en la construcción

Autora: Paulina Alejandra Delarze Díaz

Año. 2008

Conclusiones:

“Luego que el neumático termina su vida útil, el mismo es desechado al medio ambiente. Una vez cumplida la vida útil de un neumático, éste es vertido al medio ambiente de forma irracional. El mayor problema se centra en la dificultad para su destrucción, ya que, al estar acumulados, son fuente importante para la proliferación de roedores, insectos y otros organismos dañinos para el hombre. Además, si de amenazas se trata, el desecho neumático constituye también un potencial peligro de incendio, que genera como si fuera poco una grave contaminación atmosférica y visual. Todo ello se ve agravado por la falta de una legislación ambiental específica y oportuna, que dé cuenta a través de una política pública de la utilización y reutilización de todo lo que producimos en el sentido más amplio posible.

En Chile, el principal punto de acumulación de desechos neumáticos se encuentra en el norte de nuestro país, en el importante sector de la minería, ya que en este campo productivo como es sabido, para el transporte y procesamiento de minerales se emplean vehículos y maquinaria de gran envergadura, de los cuales después de cumplir con su vida útil se desechan grandes neumáticos. Asimismo, la importancia del reciclado de los mismos radica en que se presenta como una gran “SOLUCIÓN LIMPIA”, respecto del problema de contaminación medioambiental, puesto que en diversas

partes del mundo se han realizado experiencias que permiten afirmar que se pueden recuperar residuos, los cuales prolongan su existencia al generar nuevos materiales e insumos, recursos energéticos, y beneficios medioambientales varios, lo cual sin duda se traduce en la recuperación de recursos económicos que antes literalmente” (p.99).

La investigadora manifiesta su profunda preocupación por la insensata manipulación que se da a los neumáticos viejos que cumplieron su vida útil, ocasionando peligros ambientales y a la salud de las personas, por ello presenta el trabajo para tratar de dar una solución limpia, ambiental y sostenible.

Un trabajo en la Escuela de Ingenierías, Facultad de Ingeniería Industria, de la Universidad de Pontificia Bolivariana, previo a la obtención del título de Especialista en Gestión de la Innovación Tecnológica, llega a las siguientes conclusiones:

**Tema: CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE POSIBILIDADES TECNOLÓGICAS PARA LA APROPIACIÓN DEL CAUCHO RECICLADO A PARTIR DE LLANTAS USADAS EN EL DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS**

**Autora: José Alejandro Mejía Álzate**

**Año. 2016**

**Conclusiones:**

“Se evidenció que no hay estudios o cifras actualizadas acerca del reciclaje de llantas en la ciudad de Medellín, se encontró que hay empresas dedicadas a estas labores, pero no se especifica muy claramente que usos le están dando al caucho proveniente de este proceso de reciclaje. Se identificó que a un futuro próximo Cementos Argos entrará a ser un gran consumidor de caucho molido, pero mientras esto sucede, no se sabe aún cuales son exactamente los usos y cantidades consumidas de este producto. Esta inquietud podría ser la base para generar un estudio posterior más a fondo para una tesis de maestría en Gestión de la Innovación.

Al realizar la búsqueda de nuevas alternativas y usos para el caucho reciclado, se evidenció que a nivel nacional ya hay empresas interesadas y que están usando esta materia prima para la elaboración de sus productos, además están invirtiendo en mejorar sus capacidades tecnológicas para la elaboración de nuevos elementos a partir del caucho reciclado. Asimismo, el realizar esta búsqueda de información por medio de expertos en diseño y desarrollo de productos con el test de percepción y sensorialidad, fue vital para ratificar los resultados de la búsqueda en la vigilancia tecnológica y así llegar a afirmar que a nivel local se cuenta con la tecnología básica para desarrollar nuevos productos que pueden convertirse en bienes con fácil acceso al mercado y con potencial de innovación. Se desarrolló todo un modelo metodológico el cual, como Gestor de la Innovación, ayudó no solo a identificar posibilidades para nuevos productos, sino que abrió todo un abanico de posibilidades de implementación en otro tipo de ideas como podría ser la generación de trabajos en conjunto, nuevas empresas, ideas de comercialización, ideas de innovación social, entre otras”.

“Los estudios de percepción y sensorialidad realizados con profesionales del diseño y desarrollo de productos, ofrecieron a este proyecto un valor importante en cuanto a gestión de la innovación, al poner en un contexto investigativo de carácter meramente técnico, nuevas variables desde la percepción y sensorialidad, que generan cruces alternativos de información que aportan a la posible novedad de las propuestas resultantes (p.p.53-54)”.

El autor señala que en la ciudad de Bogotá y a nivel nacional no existen cifras o datos exactos sobre el manejo que se da a las llantas usadas, pero que existen empresas interesadas en reciclar y automatizar estos productos para la elaboración de materiales de diversa índole como la construcción, la decoración entre otros, para lo cual están tecnificándose día a día.

Tema: “Análisis de las características mecánicas de un material compuesto a partir de matriz elastomérica de látex reforzado con gránulo de caucho reciclado para la elaboración de pisos”

Autor: Franco Giovanni Palacios Pérez

Año. 2017

Conclusiones:

“Para la elaboración de pisos fue indispensable definir materiales compuestos, los cuales presentaron características mecánicas renovadas, que son resistencia a la tracción, compresión, residual y dureza shore-D. El material compuesto es de tipo A3, que muestra un tamaño de gránulo de caucho de 0 – 0,841.

El material compuesto de tipo A, según el análisis tiene mayor resistencia a la tracción, pues presenta un tamaño de gránulo de 0 a 0,841 mm, esto se debe a que, en comparación con los otros dos, este indica un menor tamaño de gránulo, y al realizar una cohesión entre la matriz y el refuerzo evidencia una fusión equivalente (p.p.210)”.

El investigador manifiesta que se debe realizar una verificación apropiada sobre la normativa que se utiliza dentro del alcance de ejecución de los laboratorios disponibles, ya que de esta manera se puede comprobar la prefabricación del material compuesto y los materiales que determinan los estándares de calidad, para que de esta forma se logre tener materiales de calidad.

### **1.3. Justificación**

El interés por el desarrollo del tema consiste en ver desde la perspectiva ecológica, partiendo del daño que se causa por el alto índice de contaminación de llantas, y que preocupa a las autoridades, en este sentido se trata de buscar alternativas viables y concretas en cómo dar el uso adecuado a los neumáticos viejos, que puede ser prolongando su vida útil o transformando en materia prima para otras aplicaciones como en el presente caso en la elaboración de adoquines flexibles mediante el reciclaje de este material.

Los beneficiarios del proyecto son las personas en primer lugar porque se trata de bajar los altos índices de contaminación que causa muchas enfermedades, como es en el incremento de las plagas y los mosquitos, puesto que estos depositan sus

huevos en cualquier lugar donde pueda encontrarse el agua estancada, ya que los neumáticos viejos van acumulando aguas que se convierten en lugares ideales para el criadero de los mismos, ocasionando enfermedades graves como es el chikunguya, dengue y fiebre amarilla, por otro lado, a la economía del país, mediante la creación de puestos de trabajo, a invertir en proyectos de producción de materiales de reciclaje de las llantas que pueden ser empresas nacionales o extranjeras.

El impacto de la investigación tiene características ambientales debido a que se va a realizar un trabajo ecológicamente sustentable sin causar daño o perjuicio al medio ambiente, de esta manera la población en general vera los beneficios de la producción de nuevos materiales en base al reciclaje de neumáticos usados y convertirlos en adoquines que servirán para mejorar la calidad de vida de todos.

La factibilidad es óptima para la planificación, elaboración y aplicación del proyecto de investigación, por cuanto se tiene el apoyo y la confianza de todos los involucrados como son los usuarios, empresarios, y el público en general, que tienen la firme convicción de que esta propuesta será de vital importancia para respetar nuestra casa chica o el mundo.

## **1.4. Objetivo**

### **1.4.1. Objetivo General**

Elaborar adoquines flexibles a partir de fibra de caucho de neumáticos reciclados para revestimientos de pisos.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Definir el aglutinante adecuado para la elaboración del adoquín.
- Analizar la granulometría adecuada para obtener el adoquín flexible con las características mecánicas óptimas.
- Someter el adoquín a distintas pruebas mecánicas para analizar sus resultados.

## **CAPÍTULO II**

### **2. FUNDAMENTACIÓN**

#### **2.1. Fundamentación Teórica**

##### **Variable Independiente**

###### **a) Adoquines**

Un adoquín es considerado como aquel sustantivo que se encuentra definido como una piedra o bloque que es usado para la construcción de pavimentos o andenes, tomando en cuenta que este material se encuentra hecho de granito por sus características de resistencia y sobre todo que posee mayor facilidad para la construcción. [1]

Un adoquine es considerado como aquellas piezas prefabricadas que poseen una multitud de tamaños y formatos, por cuanto, indica cualquier sección transversal que se encuentra a una distancia de 50 mm, tomando en cuenta que su longitud se encuentra dividida de acuerdo a su espesor y cumplen características específicas para un mejor resultado.

Los adoquines son aquellos bloques macizos individuales que son comúnmente prefabricados mediante la piedra natural o de hormigón, a su vez se encuentran moldeados de acuerdo a un proceso de vibro-compactación, puesto que su forma es prismática que permite la colocación de piezas en una forma continua y ordenada para de esta manera formar superficies de pavimentos flexibles con ventajas constructivistas y sobre todo de gran durabilidad. [1]

Es necesario considerar que en el campo de la construcción se van empleando en las calles, aceras, áreas peatonales, parques, senderos, centros comerciales, entre otros, puesto que el adoquín es usado por aquellas ventajas que se presentan sobre otros materiales, como son asfalto, pavimentos, baldosas, entre otros.

## b) **Importancia de los adoquines**

Los adoquines son de gran importancia, puesto que es una herramienta que sirve para promover el diseño universal mediante la planificación y ejecución de todas las obras de uso público que se realicen, al mismo tiempo se debe ofrecer a todos los habitantes las distintas posibilidades que permitan desarrollarse de una forma independiente, con el fin de obtener una real integración sobre el trabajo, recreación, cultura y sus diferentes exigencias que se dan en la vida diaria. [2]

Se debe tener en cuenta que los adoquines son herramientas muy indispensables que sirven para desarrollar un buen trabajo y sobre todo que existan las mejores condiciones de igualdad para todas las personas.

## c) **Ventajas y beneficios de los adoquines**

- Una de las ventajas que poseen los adoquines es que pueden fabricarse mediante una variedad de formas y colores que dan mayor resalte visual al pavimento.
- Los adoquines por consiguiente pueden ser reutilizados después de sus reparaciones o modificaciones.
- No permiten intervenir procesos térmicos ni químicos para su respectiva implementación.

Es indispensable considerar cada una de estas ventajas, con la finalidad de que el pavimento sea de calidad y sobre todo que tenga mayores expectativas para todo su entorno, para lo cual es necesario considerar los siguientes beneficios, como son:

- **Permeabilidad:** Los adoquines son considerados como aquellos elementos que permiten la filtración del agua, dejando que la misma llegue al suelo, a diferencia de los pavimentos tradicionales de asfalto que va bloqueando el acceso del agua hacia el interior.
- **Durabilidad y vida útil:** Este punto viene a colación del ítem anterior, y es que la calidad que se le exige a los adoquines hace que estos garanticen una mayor durabilidad determinada, puesto que un adoquín bien colocado y bien cuidado puede tener una vida útil que supera los 40 años.

- **Sencillez del proceso constructivo:** Es considerado como una de las grandes ventajas que prevé el adoquín, ya que en su construcción no intervienen procesos químicos ni térmicos, sino que esto hace que la elaboración del adoquín y su posterior colocación pueda ser ejecutada el mismo día o de un día para otro.
- **Fácil mantenimiento:** En esta parte, el mantenimiento y la reparación del adoquín es muy simple y económico, ya que una falla en la instalación o en el bloque es fácil de arreglar porque existe diferencia del asfalto, no es necesario destruir y retirar el mismo, puesto que al ser bloques ordenados se pueden retirar y reemplazar por unos nuevos.
- **Seguridad:** Los adoquines son considerados especiales para incorporar señales de tránsito, tomando en cuenta que su rugosidad hace que se disminuya la distancia de frenada de los vehículos, lo que ocasiona mayor seguridad para los peatones como para los conductores. [3]

#### **d) Características de los adoquines de cemento**

Entre las características principales de los adoquines, se tiene:

Forma: Adoquín tipo 1 rectangular recto biselado.

Masa de Concreto: Adoquín Bicapa

Longitud: 200 mm

Ancho: 100 mm

Espesor: 60 mm

Se debe tener presente que la estructura del adoquín está compuesta por el cuerpo (estructura de 195 mm de espesor) y una bicapa (estructura superficial de 5 mm de espesor), tiene un espesor total de 200 mm. En el caso de esta investigación se sustituyó residuo de caucho por agregado fino únicamente en el cuerpo de los adoquines sin alterar la bicapa. [4]

Es indispensable tener en cuenta que las dosificaciones de los diseños de mezcla se van clasificando para después poder iniciar con una mezcla y fabricación de las muestras de referencia y las muestras que contienen adiciones de residuo neumático en diferentes proporciones, considerando que esta mezcla garantice una correcta hidratación de las partículas de cemento y la distribución de los agregados, ya que la mezcla permite que se conserve la figura del adoquín.

#### **e) Estado endurecido de los adoquines**

El estado endurecido de los adoquines se refiere a que después de haber transcurrido unos siete días de la elaboración y curado de los adoquines, los especímenes son transportados a un laboratorio de concreto, con el fin de continuar su curado durante 21 días y de esta manera llegar a una edad de 28 días, este tiempo es necesario para empezar la ejecución de los ensayos para un mejor estado endurecido. [5]

Es importante considerar que los ensayos de absorción de agua y densidad requieren de una balanza con sensibilidad de 1g, un horno ventilado con temperatura 100°C a 115°C y con un volumen de al menos 2,5 veces de los especímenes que se van a secar al mismo tiempo y uno o varios recipientes en los que se pueda sumergir completamente un espécimen.

Los equipos que se van a utilizar son los siguientes:

- Balanza
- Horno de Secado

Estos equipos son indispensables porque hace que se introduzcan todos los especímenes en el horno a una temperatura entre 100 °C y 115 °C, así mismo deben estar separados de las paredes del horno mínimo para secar y después obtener una masa seca constante, logrando de esta manera después de un período mínimo de secado de 24 h y hasta que, en dos pesajes sucesivos, a intervalos de 2 h, la masa presente una disminución de menos del 0,2 % con respecto a la masa anterior. [5]

Los especímenes son colocados en la máquina de ensayo con una superficie de apoyo hacia abajo, teniendo en cuenta que el elemento superior coincida con la

proyección del eje menor del rectángulo que se encuentra inscrito sobre la cara de desgaste, y los elementos inferiores que son de apoyo coincidan con una línea paralela, 10 mm hacia adentro de los lados menores del rectángulo inscrito, sobre la cara de apoyo.

#### **f) Adoquines flexibles de caucho**

Los adoquines flexibles son aquellos que poseen una superficie o capa de rodadura de concreto asfáltico, el mismo que no tiene menos de 10 cm de espesor, su base por lo general tiene 20 cm y en algunas veces depende siempre de las condiciones que presente el terreno, ya que puede tener una sub-base de acuerdo a los requerimientos del diseño, conocidos también como pavimentos flexibles con un color gris oscuro. [6]

Es indispensable tener presente que los pavimentos construidos con adoquines aúnan las ventajas de los pavimentos flexibles sin los inconvenientes de los productos bituminosos, en cuanto a la pavimentación rígida, el suelo adoquinado es capaz de absorber deformaciones, impactos y cargas tanto repartidos como puntuales y sobre todo es importante porque absorbe esfuerzos horizontales como los de las frenadas, aceleraciones o giros, siendo este un material óptimo para su uso en pavimentos que son sometidos a tránsito rodado, por lo tanto, sus buenas propiedades mecánicas lo hacen adecuado también para el tránsito peatonal, de hecho en aquellas situaciones cuando su funcionamiento y durabilidad son casi ilimitados.

La historia de los adoquines se ha encontrado estrechamente ligada a la evolución de las vías urbanas, puesto que las calles servían tanto para el acceso de peatones, carros o animales, como también el lugar de vertido de aguas negras, es por eso por lo que se veían obligados a pavimentarlas con elementos que permitan facilitar un rápido drenaje, sobre todo el movimiento de personas y vehículos de tracción animal. [6]

Es por eso, que para realizar las obras de pavimentación se crearon gremios de especialistas, estableciéndose escuelas de oficios con una clara jerarquía de

maestros, oficiales y aprendices, tomando en cuenta que la mayoría de estos gremios se preocupaba solamente de las características superficiales de la vía, por tal razón, se incrementó el número de vehículos y su peso, así como el comportamiento de la subestructura del firmen para un mejor control.

Los pavimentos flexibles van distribuyendo aquellos esfuerzos que son aplicados en aquellas áreas pequeñas, debido a su menor rigidez, es por eso por lo que tienden a deformarse, sobre todo a recuperar su condición una vez que su carga es retirada, ocasionando que este tipo se encuentre compuesto por una capa de rodamiento bituminosa, apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas como es la base y la sub-base.

#### **g) Características de los adoquines de caucho**

Para la elaboración del adoquín de caucho, es indispensable tomar en cuenta las siguientes características:

- Que sea resistente a climas externos y evitar congelamientos.
- Antideslizantes, adherentes y permeables
- El adoquín se encuentra compuesto por 90% de caucho reciclado y el 10% de pigmentos y químicos. [8]

Es necesario que se consideren cada una de sus características, para que de esta manera el adoquín de caucho sea resistente a cualquier situación y sobre todo que no afecte a la contaminación y a la salud de las personas. Así como brindar mayores beneficios como una amortiguante ante posibles caídas de los peatones brindando confort y seguridad al caminar, divide la flexibilidad que tiene el caucho, duradero y sobretodo amigable con el medio ambiente.

#### **h) Tipos de asfaltos**

Dentro de los asfaltos flexibles, es necesario considerar sus diferentes tipos, tomando en cuenta que existen varias formas de construir una capa de rodamiento bituminosa, como son:

- Tratamientos asfálticos superficiales
- Mezcla asfáltica en frío
- Mezcla asfáltica en caliente

Es indispensable considerar los diferentes tipos de asfaltos, con la finalidad de poseer una alta resistencia y desarrollar una transmisión de cargas entre sus distintas unidades que se dan gracias a la trabazón entre los bloques, puesto que este sistema posee una alta capacidad estructural que es aportada de forma principal por los adoquines. [7]

### **i) Comportamiento de los pavimentos flexibles**

Uno de los comportamientos de los pavimentos flexibles, son los siguientes:

**Sub-rasante:** Se lo considera como aquel terreno natural en el cual se apoya toda la estructura del pavimento, el mismo que no forma parte de la estructura en sí, ya que su capacidad soporta la sub- rasante que es un factor básico que afecta la selección de los espesores totales de las capas del pavimento.

**Capas de relleno o material selecto:** Se lo conoce como aquella compactada consistente de los materiales en procedencia natural, las mismas que se encuentran sometidos a modificaciones mínimas que son previas a la utilización en una obra, tomando en cuenta que el material que lo compone posee mejores propiedades que la sub-rasante, es por eso que el propósito de esta capa es alejar las cargas del tráfico de la sub-rasante mediante un material con costo menor que las capas de base y sub-base.

**Capa de Sub-base:** Es aquella capa compactada que se encuentra compuesta por materiales naturales que son obtenidos mediante la trituración que se da a través de un proceso de producción controlado para conseguir un material con características estructurales adecuadas a un costo razonable, a su vez se diferencia de la capa de base para poseer especificaciones menos restrictivas en cuanto a su plasticidad, graduación y capacidad soporte , teniendo presente que su principal función es el

de proporcionar un aporte estructural al pavimento, reduciendo de esta manera la migración de los finos de las capas inferiores que se dan hacia la capa de base. [7]

**Capa de base:** Es conocida como aquella capa compactada que se encuentra bajo la superficie de rodamiento, puesto que es un elemento fundamental del pavimento que se da desde el punto de vista estructural, su propósito es el de proporcionar un elemento resistente que transmita los esfuerzos inducidos por el tráfico en una intensidad apropiada hacia las capas inferiores, es relevante considerar que estas especificaciones para los materiales requieren de una mayor regulación en cuánto a su plasticidad, graduación y resistencia.

#### **j) Comparación entre el adoquín de cemento y el adoquín de caucho**

Es indispensable determinar que el adoquín de cemento provoca un mayor impacto al medio ambiente, la misma que va desde una contaminación acústica, al agua superficial y freática, produciendo de esta manera un desbroce en la vegetación que van desde la obtención de la materia prima hasta lograr un mejor producto final, mientras que en el adoquín de caucho no sucede de esa forma, ya que debido a la contaminación acústica que produce es menor su intensidad que se da por la maquinaria utilizada para la obtención del polvo de caucho, lo que cabe mencionar que este proceso se involucra en el momento de construir un adoquín de caucho que a la final es algo productivo para el medio ambiente, puesto que el material que se utiliza tiene una degradación sumamente largo, ya que transforma aquellos neumáticos a nuevos productos que no afectan al medio ambiente, considerando que estos materiales al ser abandonados al intemperie, suelen ser infecciosos y dañinos para la salud de las personas, es por eso que se crean nuevos productos, con la finalidad de evitar todo tipo de problemas. [10]

Es relevante tener en cuenta este tipo de comparación entre el adoquín de cemento y el adoquín de caucho, ya que se determinan los beneficios y sus defectos en cada uno de ellos, con la finalidad de buscar posibles soluciones para evitar la contaminación ambiental y los problemas de salud que pueden traer con el tiempo, por tal motivo, se deben buscar distintas estrategias como una mejor alternativa a este problema sobre los adoquines.

## **Variable Dependiente**

### **a) Fibra de caucho**

Las fibras de cauchos son consideradas como aquellos residuos que se procesan de una manera mecánica, considerando que una cinta transportadora lleva las fibras hasta aquellas enormes cribas, por consiguiente, es importante determinar las fibras de caucho por sus distintos tamaños para después realizar un proceso que permita purificar las fibras y sobre todo eliminar los residuos no utilizables. [8]

Es necesario saber que este material en bruto se convierte en un producto semi-manufacturado adecuado, teniendo presente que en aquellos elementos se requieren de mayor capacidad de absorción de impactos, puesto que las fibras de caucho puro se emplean en superficies deportivas, losetas de seguridad y otros productos que permiten tener un producto de calidad.

La estructura del caucho por lo general carece de sustituyentes polares, en donde su atracción intermolecular define los medios de las fuerzas de van der Waals, puesto que su estructura es débil por su configuración en cuanto a sus dobles enlaces, en cuanto a sus propiedades se determina que existe una gran diferencia sobre aquellas propiedades del caucho natural y del caucho gutta percha, por lo que se recalca que estos tipos de cauchos son extraídos de árboles muy diferentes, ya que el caucho normal posee una estructura amorfa, en donde su temperatura ambiente tiene un comportamiento elástico y por medio de un estiramiento ocasiona una cristalización. [8]

### **b) Importancia de la fibra de caucho**

La fibra de caucho es de gran importancia, ya que en su elección van interviniendo distintos factores, en el cual son considerados como aquellos elementos dominantes de la estructura del neumático, teniendo en cuenta que lo que hace referencia a la misma fibra va obteniendo mayor importancia sobre sus características, tanto del precio como de su disponibilidad. [9]

Se debe considerar en el momento que se va empleando el algodón se encuentra limitado algunos tejidos especiales y sobre todo algunos períodos de

preponderancia que ha sido substituido de forma progresiva por el nilón y el poliéster, puesto que el acero ha sido usado cada vez más en los neumáticos radiales y de fibra en vidrio, como algo competidor del acero y en algunos casos también de las fibras sintéticas, por consiguiente, el empleo de las distintas fibras se ve amenazado por nuevos elementos técnicos experimentales sin fibras.

Por otro lado, es importante determinar que aquellas fibras que han sido dotadas como bajo alargamiento permiten mejorar la flexibilidad del material, sobre todo, limitan el calentamiento en las condiciones de trabajo, puesto que no existen fibras capaces de satisfacer aquellas características exigidas, por tal razón, estos neumáticos se fabrican usando mediante varios elementos, fibras de naturaleza que son empleadas a rayón o como el nilón en la carcasa de acero de sus bordes, teniendo en cuenta que la estabilidad térmica del rayón es mejor que la del nilón y el poliéster y su resistencia del nilón a los choques, a las flexiones, a la compresión y al esfuerzo, es por eso, que el acero posee una elevada carga de rotura y es poco sensible al calor. [2]

El vidrio presenta una carga de rotura elevada, pero tiene poca resistencia a los choques y al esfuerzo, es por eso, que mediante la elección de la fibra o las fibras que son determinadas permiten que se alcance diversos factores, ya que su elemento dominante es la estructura del neumático, ya que poseen gran importancia tanto en el precio como en su disponibilidad, teniendo presente que el empleo del algodón se encuentra limitado a algunos tejidos especiales y que mediante un cierto período de preponderancia, ha sido substituido progresivamente por el nilón y el poliéster, mientras que el acero se usa cada vez más en los neumáticos radiales y es interesante como competidor de acero, así como las fibras sintéticas.

### **c) Fibra de caucho de neumáticos**

Un neumático ha sido considerado como aquel elemento que permite a un vehículo desplazarse de un lugar a otro en una forma suave que se da través de superficies lisas, por cuanto, se trata de una cubierta de caucho que contiene aire y por lo general hace que soporte al carro como a su carga. [8]

Es necesario determinar que en la actualidad, la mayoría de neumáticos sean de vehículos de pasajeros como de camión, se encuentran compuestos por una banda de rodamiento elástica, así como una cintura prácticamente inextensible, ya que su estructura de arcos se encuentran orientadas a una membrana inflada que sirven de enganche para un mejor elemento rígido, por tal razón, la complejidad que se da tanto de su forma como de sus funciones, determinan que el neumático cumple una complejidad de materiales que lo componen, como lo es el caucho.

Por otro lado, la combinación que se realiza en cuantos aquellos cauchos naturales, van proporcionando mayor elasticidad y estabilidad térmica, puesto que esta combinación va favoreciendo su durabilidad y sobre todo la capacidad para tener que adaptarse con facilidad a las nuevas exigencias del tránsito, ya que la estructura de los cauchos naturales se encuentra formado por polispermo de proteínas, lípidos y sales inorgánicas, entre otros, por cuanto, este comportamiento general es debido a aquel impedimento estérico del grupo metilo y el átomo de hidrógeno, en donde se determina aquel doble enlace que se da entre el carbono-carbono. [8]

Es indispensable que se determine esta combinación sobre aquellos cauchos naturales que van proporcionando mayor elasticidad, al igual que los sintéticos que van obteniendo mayor estabilidad térmica, ya que esta combinación hace que exista mayor durabilidad y capacidad, con el fin de que se pueda adaptar con facilidad a las nuevas exigencias del tránsito, para ello, es necesario tomar en consideración la estructura de los cauchos naturales, puesto que se encuentra formada por el polisopreno que es mezclado con pequeñas cantidades de proteínas, lípidos y sales inorgánicas, entre otros.

Entre los tipos de cauchos que se deben considerar son los siguientes:

**El caucho bruto absorbe agua.** Son considerados como aquellos coagulantes que son usados en el látex, ya que al momento de preparar el caucho van afectando el grado de absorción de agua; para ello se van usando ácido clorhídrico, sulfúrico o alumbre, donde se obtienen cauchos con poder de absorción relativamente elevado. [2]

**Neopreno.** Son considerados como uno de los primeros cauchos sintéticos que han sido alcanzados gracias a la investigación, el polímero del monómero cloropreno, de fórmula química  $\text{CH}_2=\text{C}(\text{Cl})\text{CH}=\text{CH}_2$ , al igual es importante determinar aquellas materias primas del cloropreno, puesto que son el etino y el ácido clorhídrico. [2]

El neopreno es resistente al calor y aquellos productos químicos como aceites y petróleo, los mismos que se emplean en tuberías de conducción de petróleo y como aislante para cables y maquinaria.

**Buna o caucho artificial.** Son aquellos químicos alemanes que trata de la polimerización de dos monómeros denominados comonómeros, por cuanto, esto produce a partir del ácido cianhídrico. [8]

**El Buna-N.** Es un caucho muy indispensable que requiere siempre de la resistencia para que exista una mejor acción de aceites y la abrasión de esta, es importante porque en él se va obteniendo un caucho industrialmente copolimerización de butadieno y estireno. [8]

**Caucho de butilo.** Este tipo de caucho sintético obtiene copolimerización de isobutileno con butadieno o isopreno, por cuanto, es un plástico que se puede trabajar como el caucho natural, pero al mismo tiempo es difícil de vulcanizar, ya que no es flexible como el caucho natural y otros sintéticos, es muy resistente a la oxidación y a la acción de productos corrosivos, esto se da por la baja permeabilidad a los gases porque se lo utiliza en los tubos interiores de las llantas de automóviles. [8]

#### **d) Revestimientos de pisos**

Son considerados aquellos materiales que permiten cubrir el piso a fin de protegerlo, pero al mismo tiempo se lo usa para poderlo decorar y dar una mejor apariencia, para lo cual es necesario determinar que existen numerosos materiales que sirven como revestimiento para los pisos, siendo el más común los de piedra natural que son trabajadas, como el mármol, porcelanato, cerámica, entre otros. [10]

Aplicar un revestimiento a un piso se trata de cubrir la superficie mediante un determinado material, ya sea por razones de estética o de seguridad, tomando en

cuenta que cada procedimiento no solo busca lograr un acabado estético, sino también que permite una mejor protección para realizar correctamente el trabajo, o también el material que se utilice en cada caso, ya que los revestimientos de pisos se colocan en diferentes sistemas y en función del material que se haya elegido, puesto que pueden ser flotantes, ósea que no están adheridos a nada y solamente se encuentran instalados a presión.

#### **e) Clasificación de los revestimientos**

Los revestimientos se pueden clasificar en dos categorías, como son:

- Los instalados
- Los aplicados

El material de los revestimientos instalados dependerá de la ubicación de estos y pueden ser para interiores y exteriores. Los revestimientos instalados son considerados los de mantos de vinilo, cerámica, piedras, madera, granito, entre otros, mientras que los revestimientos aplicados son aquellos de material epoxi, poliuretanos, granilite, entre otros que son conocidos como revestimiento de alta decoración. [10]

#### **f) Ventajas del revestimiento de pisos**

Entre las ventajas del revestimiento de pisos, tenemos:

- El fácil de limpiar.
- La calidez de un buen hogar
- Variedad de colores
- Son impermeables y poseen una buena aportación
- Los de piedra no se rayan ni se manchan
- Resistentes a los productos de limpieza
- Fácil de instalación

### **g) Desventajas del revestimiento de pisos**

Entre las desventajas del revestimiento de pisos, tenemos:

- La luz solar va decolorando ciertos revestimientos como los de madera y vinilo.
- Los de madera suelen rayarse y dañarse con la humedad.

Es indispensable que se considere las ventajas y desventajas del revestimiento de pisos, porque de esta manera se estaría alcanzando un producto de mayor calidad, sobre todo servirá para tener cuidado sobre estos materiales. [11]

### **h) Tipos de revestimiento para pisos**

Existen diferentes opciones para revestir y decorar el hogar sobre en la parte de los pisos, ya que provienen de distintos materiales, como son los más duraderos que otros, por tal razón, es indispensable que se elija adecuadamente y en base a lo que se desea lograr con el espacio y las necesidades del lugar. [11]

Es por eso, que existen diferentes tipos de revestimientos para pisos, tales como:

- Revestimientos de piedra,
- De plástico,
- De madera,
- De cerámica,
- De acrílico; y,
- De PVC

Después de haber mencionado los tipos de revestimiento, se analizarán cada uno, con el fin de ver sus beneficios.

**Revestimiento de piedra para pisos:** permite tener una mayor frescura y resistencia de la piedra, sobre todo la elegancia necesaria para añadirse en interiores, por cuanto, son considerados como una opción natural resistente al roce, al tránsito y a la humedad, son fáciles de mantener y por lo general suelen cortarse a la medida y por encargo.

Revestimiento de madera para piso: estos revestimientos sirven para decorar los pisos de los hogares, puesto que van aportando bondades únicas y propias de este hermoso material, ya que la calidez que aporta al hogar no lo brinda ningún otro piso. [10]

**Revestimiento cerámico para piso:** se lo considera como aquel recurso arquitectónico versátil que se puede utilizar en una variedad de entornos sin tener que preocuparse por las restricciones de agua, manchas o diseño, este tipo de revestimiento se caracteriza por obtener una cubierta de superficie dura de ciertos lugares y su mantenimiento regular consiste en barrer o pasar una aspiradora con un accesorio de cepillo suave para poder tener un suelo libre de suciedad y residuos sueltos. [10]

**Revestimiento acrílico para piso:** este tipo de revestimiento son conocidos como aquellos sistemas de alta durabilidad que van otorgando un mayor beneficio en la excelencia de su apariencia, resistencia y la excelente adhesión al concreto. [10]

**Revestimiento de PVC para piso:** este revestimiento se encuentra elaborado de Policloruro de Vinilo, conocido como el PVC, por cuanto, va aportando grandes beneficios tanto únicos como duraderos para los pisos, a su vez permite que se utilice en aquellos espacios donde hay un alto tráfico peatonal debido a que se puede lavar con abundante agua sin causarle daño o desgaste excesivo. [10]

**Revestimiento vinílico para piso:** es aquel material moderno que se utiliza cada vez más como revestimiento de pisos debido a su resistencia y la facilidad de mantenimiento, a su vez presenta numerosos diseños, debido a la compatibilidad con los nuevos sistemas de impresión que permiten alcanzar una mayor posibilidad de plasmar un diseño o imagen personalizada. [10]

**Los revestimientos vinílicos:** son conocidos también como algo resistente, ya que cuentan con una capa protectora en su superficie, con el fin de que se pueda evitar el desgaste por el roce, los golpes, la abrasión, el agua o el calor. [10]

**Revestimiento antihumedad para piso:** en este tipo de revestimiento se determina que la humedad es uno de los peores enemigos, ya que destruye pegamentos, superficie o hasta el mismo material del que se encuentra elaborado el revestimiento, tomando en cuenta que no todos podrán soportar el daño causado por este elemento, entre estas medidas se puede mencionar la elaboración de pisos

antihumedad especiales para aquellas áreas donde existe más afectación, como puede ser el baño, la cocina, la pileta o el patio. [10]

**Revestimiento Texturados para piso:** son considerados como aquellas opciones que sirven para decorar el piso, ya que se lo utiliza a través de un molde que sirve para realizar sus diferentes texturas, es por eso, que con este molde sólo se utiliza una mezcla de hormigón para rellenarlos y dejar que el mismo molde cree texturas con símil de piedras naturales o lajas, tanto en interiores como en exteriores, puesto que tienen la capacidad de amoldarse a cualquier espacio y son utilizados en garajes como en patios, debido a sus propiedades rústicas y resistentes. [10]

Después de haber mencionado cada uno de estos tipos de revestimiento, se determina que la cerámica resulta ser resistente de acuerdo a su calidad, ya que existe un mejor diseño y confort para el hogar, tomando en cuenta sus diseños y texturas que permiten adaptar la cerámica a cualquier tipo de espacio, tanto interior como exterior, además aplica distintos tratamientos a los pisos de madera con la finalidad de que no se dañen.

#### **i) Tipos de ensayos que se realizan en los adoquines de caucho**

Entre los tipos de ensayo que se pueden encontrar para los adoquines de caucho, tenemos:

- **Ensayo de comprensión:** Es muy utilizado en el estudio de las características mecánicas, ya que permite medir la comprensión residual de aquellos materiales compuestos, como es el elastoméricos de látex y la normativa que debe regir los lineamientos para su determinado ensayo, como es la NTE INEN 889, tomando en cuenta que para ejecutar este tipo de ensayo, es relevante determinar aquellas probetas según los requerimientos de la norma, de esta forma poderla aplicar a una carga constante de compresión durante un tiempo específico, que son indispensables para su respectivo análisis.
- **Ensayo de dureza:** Es muy utilizado en cuanto a su estudio de características mecánicas, por cuanto, permite saber la dureza de materiales que se encuentran compuestos, con el fin de poder regir correctamente sus lineamientos, de los cuales sus materiales son el elastoméricos de látex que permite realizar el ensayo, como es la NTE INEN, que sirve para elaborar las probetas según los

requerimientos de la norma, en donde se coloca la probeta en la mesa del equipo que mide incremento de profundidad para calibrar y poder ubicar el durómetro sobre la probeta para aplicar la fuerza y mediante el resultado obtenido, se lo registra para su análisis.

- **Ensayo de inflamabilidad:** Este tipo de ensayo es muy requerido, porque permite realizar un estudio específico sobre las propiedades de inflamabilidad de los materiales poliméricos, de tal forma que estos materiales que son compuestos por elastoméricos de látex, debe tener presente que esta normativa debe regirse a los lineamientos con el fin de poder realizar el ensayo es la ASTM D635 que permiten elaborar las probetas según los requerimientos de la norma, para después poder colocarlos mediante un soporte adecuado, de esta forma llegar a un mejor alcance de equilibrio que es relevante para su respectivo análisis.

## **2.2. Hipótesis**

La elaboración de adoquines flexibles a partir de fibra de caucho de neumáticos reciclados permitirá el revestimiento de pisos.

## **2.3. Señalamiento de variables de la hipótesis**

### **Variable Independiente**

Material compuesto de adoquines flexibles a partir de fibra de caucho de neumáticos reciclados

### **Variable Dependiente**

Propiedades mecánicas del revestimiento de pisos

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Nivel o tipo de investigación

El nivel o tipo de investigación es experimental, ya que su objetivo se centra en el controlar el fenómeno de estudio mediante el empleo del razonamiento hipotético-deductivo, ya que se determinan muestras representativas y su diseño experimental como parte de una estrategia de control que sirve para analizar los datos de una forma más profunda.

#### 3.2. Población y muestra

##### 3.2.1. Población

La población que considerar para este estudio son las distintas probetas que se elaboraron de material compuesto de resina de poliuretano y fibra de caucho granulado, en sus diferentes composiciones: configuración de aglutinante, tamaño de gránulo de caucho reciclado y configuración de material compuesto de acuerdo a las normas INEN y ASTM, que se detallan en las siguientes tablas

**Tabla 1.** Configuración del aglutinante

Configuración del aglutinante	Matriz y refuerzo	Composición volumétrica	Comportamiento del material	Fotografía
E1	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Resina epóxica</li><li>➤ Silicon de caucho</li><li>➤ Caucho granulado</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 40%</li><li>➤ 40%</li><li>➤ 20%</li></ul>	Flexibilidad media no se une por completo resina epóxica y silicón de caucho	

CONTINÚA ➡

E2	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Silicon de caucho</li> <li>➤ Caucho granulado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 70%</li> <li>➤ 30%</li> </ul>	Flexibilidad excelente, bajo al desgaste, alto en costo, unión de materiales buena	
E3	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Bate piedra poliuretano</li> <li>➤ Caucho granulado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 60%</li> <li>➤ 40%</li> </ul>	Flexibilidad buena, alto al desgaste, presencia de olor característico del bate piedra poliuretano.	
E4	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pintura epóxica</li> <li>➤ Caucho granulado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 40%</li> <li>➤ 60%</li> </ul>	Flexibilidad baja, fuerte al desgaste, olor permanente de pintura.	
E5	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Resina epóxica</li> <li>➤ Caucho granulado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 40%</li> <li>➤ 60%</li> </ul>	Flexibilidad nula, alto costo, resistente al impacto, rugosidad alta	
E6	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Resina de poliuretano</li> <li>➤ Caucho granulado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 15%</li> <li>➤ 85%</li> </ul>	Flexibilidad óptima para esta investigación acompañada de una buena unión de matriz y refuerzo, bajo costo, y múltiples beneficios en pigmentación.	

**Fuente:** El autor

Sobre la base de consideraciones anteriores de configuración de aglutinante se selecciona la mejor alternativa por la mejor configuración en la tabla 2 donde se tomó en cuenta los principales factores del aglutinante.

**Tabla 2.** Selección de alternativas del aglutinante

Configuración volumétrica	Aglutinante		Conclusión
	Ventajas	Desventajas	
E1	Ninguna	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Unión de matriz y refuerzo</li> <li>✓ Desgrano</li> </ul>	Se rechaza
E2	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Flexibilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Desgaste</li> <li>✓ Costo</li> </ul>	Se rechaza
E3	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Flexibilidad</li> <li>✓ Resistencia al desgaste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fuerte olor a bate piedra</li> <li>✓ Tiempo de secado</li> </ul>	Se rechaza
E4	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Alta resistencia al desgaste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Flexibilidad nula</li> <li>✓ Costo elevado</li> <li>✓ Rugosidad alta</li> </ul>	Se rechaza
E5	Ninguna	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Coto elevado</li> <li>✓ Dureza</li> <li>✓ Rugosidad</li> </ul>	Se rechaza
E6	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Excelente fusión entre matriz y refuerzo</li> <li>✓ Flexibilidad</li> <li>✓ Bajo costo</li> <li>✓ Antideslizantes</li> <li>✓ Beneficios de pigmentación</li> <li>✓ Alta durabilidad</li> <li>✓ Amigable con el medio ambiente</li> <li>✓ Secado rápido</li> </ul>	Ninguna	<p><b>Se acepta</b></p> <p>(Material reúne todas las expectativas aspiradas)</p>

**Fuente:** El autor

Para la continuación de este estudio y aplicación de ensayos se seleccionó la alternativa al tipo de configuración E6, por los múltiples ventajas y beneficios que presentan en comparación con los demás aglutinantes, por tal motivo a continuación se detalla en la siguiente tabla la población de probetas finales para evaluarse.

**Tabla 3.** Configuraciones del material compuesto

<b>Granulometría</b>	<b>Composición en volumen</b>		<b>Configuración</b>	<b>Número de configuración</b>
<b>TIPO A</b> 1-4 mm Con y sin polvillo	1	8% aglutinante 92% gránulo	A1	1
	2	12% aglutinante 88% gránulo	A2	2
	3	16% aglutinante 14% polvillo 70% gránulo	A3	3
<b>TIPO B</b> 3-6 mm Con y sin polvillo	1	8% aglutinante 92% gránulo	B1	4
	2	12% aglutinante 88% gránulo	B2	5
	3	16% aglutinante 14% polvillo 70% gránulo	B3	6

**Fuente:** El autor

### 3.2.2. Muestra

Las muestras tomadas en cuenta para la realización de esta investigación son 3 probetas por cada configuración del material que en total son 6, las cuales son destinadas para los ensayos de compresión, dureza e inflamabilidad, de acuerdo a las normas: NTE INEN 889, NTE INEN 887, ASTM D635, respectivamente es decir 18 por cada ensayo, un total de 36 probetas, para el caso de inflamabilidad se utilizaron 4 probetas de la mejor configuración con un total de 40 muestras. La especificación se señala en la tabla siguiente.

**Tabla 4.** Muestras consideradas para el estudio

Número de configuración	Tipo de configuración	Probetas para ensayos		
		Compresión	Dureza	Inflamabilidad
1	A1	3	3	4 mejor tipo de configuración
2	A2	3	3	
3	A3	3	3	
4	B1	3	3	4
5	B2	3	3	
6	B3	3	3	
Sumatoria		18	18	4
Total		40		

**Fuente:** El autor

### 3.3. Operacionalización de variables

En la tabla 4, se visualiza la conceptualización del material compuesto, la categoría, los indicadores en donde especifica el tamaño del caucho de neumáticos reciclados, las diferentes composiciones volumétricas para elaborar las probetas y determinar cuál es la mejor composición del material compuesto, utilizando técnicas de instrumentación basados en la Normativa INEN y ASTM.

**Tabla 5.** Operacionalización de la Variable Independiente: Material compuesto de adoquines flexibles a partir de fibra de caucho de neumáticos reciclados

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentación
Conceptualizando el término material compuesto podemos afirmar que es la combinación o mezcla de dos o más materiales con distintas propiedades, utilizando un material como matriz y el otro como refuerzo para obtener un producto con características óptimas.	Material compuesto	Granulometría de la fibra de caucho de neumáticos reciclados	Tipo A 1 – 4 mm	-Normativa INEN y ASTM - Ensayos - Bibliografía - Observación -Fichas
			Tipo B 3 - 6 mm	
			Polvillo	
		Composición volumétrica de matriz y refuerzo	8% resina 92% gránulo	
			12% resina 88% gránulo	
			16% resina 14% polvillo 70% gránulo	

**Fuente:** El autor

**Tabla 6.** Operacionalización de la Variable Dependiente: Propiedades mecánicas del revestimiento de pisos

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentación
<p><b>Propiedades mecánicas:</b></p> <p>Son las propiedades que adquieren los materiales compuestos y se manifiestan al momento de estar sometidos a una fuerza externa, como es la capacidad de soportar las diferentes pruebas mecánicas que estarán sometidas, su comportamiento, resultado, siendo medibles mediante ensayos normalizados.</p>	Compresión	Compresión residual	¿Cuál será la compresión residual?	<p>-Normativa INEN y ASTM</p> <p>-Bibliografía</p> <p>-Observación</p> <p>-Fichas</p>
	Dureza	Dureza Shore-D	¿Cuál será la dureza shore?	
	Inflamabilidad	Velocidad de quemado	¿Cuál será la velocidad de quemado?	

**Fuente:** El autor

### **3.4. Plan de recolección de información**

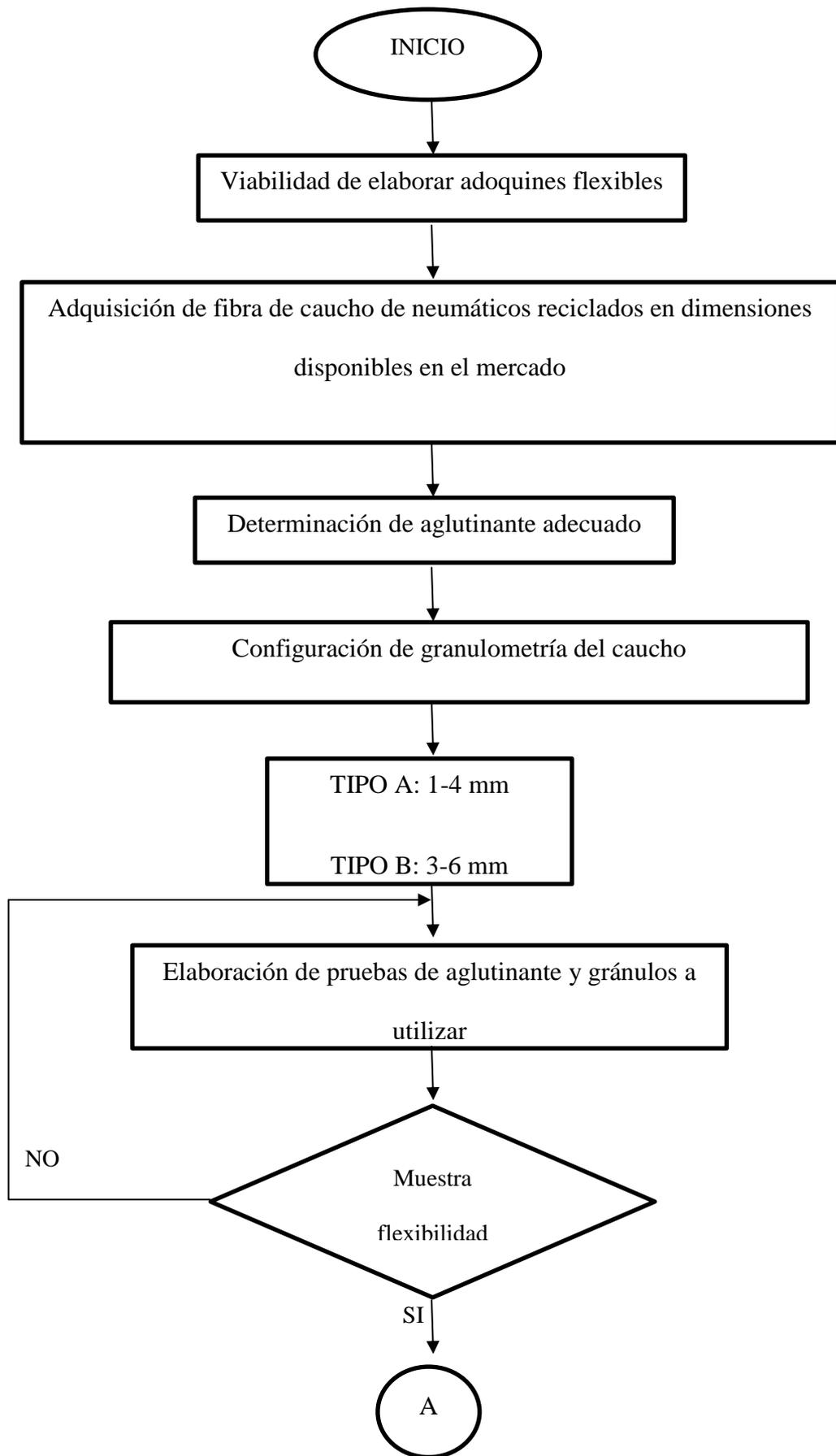
En este apartado se resume el análisis de las investigaciones técnicas y las fuentes de investigación de donde se obtuvo los lineamientos iniciales para ejecutar el estudio, además se pudo revisar las diferentes normativas que permitieron indagar para poder realizar correctamente los ensayos de compresión, dureza e inflamabilidad, mediante este conocimiento y de los diferentes documentos, se pudo iniciar con la investigación, con el fin de obtener un material compuesto apto para la elaboración de adoquines flexibles.

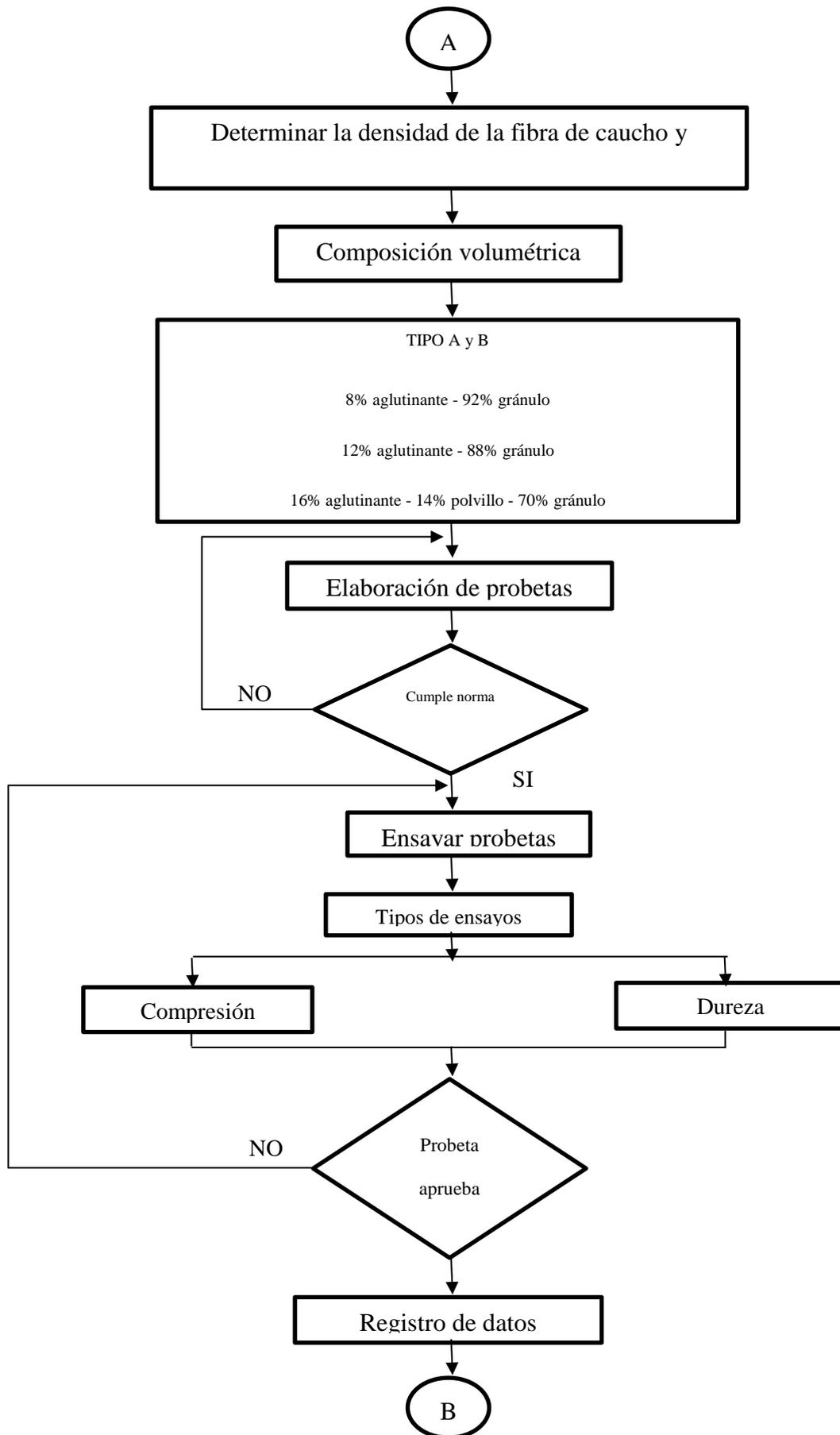
### **3.5. Plan Procesamiento y análisis**

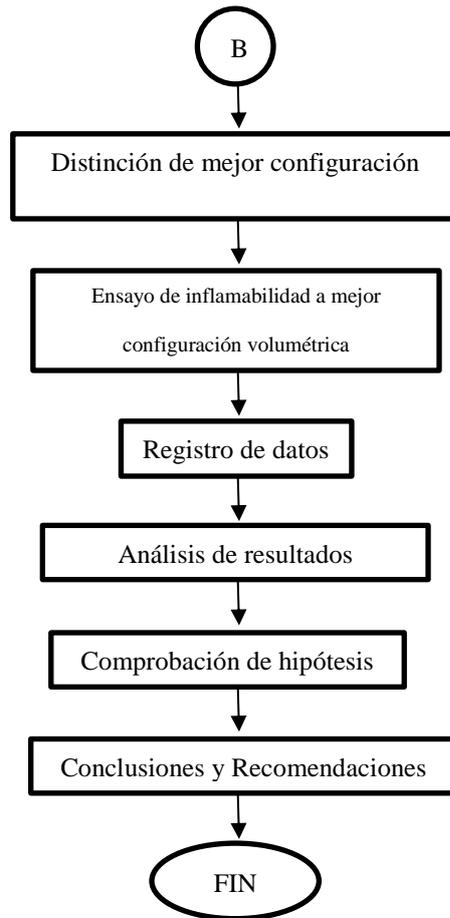
En el plan Procesamiento y análisis se pudo desarrollar una serie de lineamientos que permitieron seguir para poder ejecutar correctamente las actividades y así llevar a cabo la investigación en una forma satisfactoria, para lo cual se los indica a continuación mediante un diagrama de flujo:

En la Figura 1, se detalla el proceso para realizar los ensayos como la adquisición de la resina de poliuretano y la fibra de caucho granulado, la configuración dependerá de la granulometría del material, se elaboran moldes para determinar la densidad de la matriz y refuerzo, se propone tres configuraciones volumétricas de las cuales se elaborara las probetas, si las probetas cumplen una buena fusión entre matriz y refuerzo se continúa con el proceso para iniciar los ensayos de compresión y dureza, una vez ensayada la probeta, se realiza la adquisición de datos como tablas y gráficas obteniendo datos que determinaran la mejor composición del material compuesto.

Con la configuración más óptima del material que presente mejores propiedades mecánicas continúan con el proceso para el ensayo de inflamabilidad, una vez realizado estos análisis se verificara las hipótesis planteadas, realizando una comparación final de los resultados que ya sean de aceptación o rechazo para concluir con la investigación.







**Figura 1.** Diagrama del proceso para elaboración de adoquines flexibles

**Fuente:** El autor

### 3.5.1. Factibilidad de realizar los ensayos

Para ejecutar el análisis de material compuesto para la elaboración de adoquines flexibles se debe suscitar 3 tipos de ensayos, los cuales se elaborarán con las siguientes normativas:

**Tabla 7.** Tipos de ensayos y normas a aplicar

Tipo de ensayo	Norma
Ensayo de Compresión	NTE INEN 889
Ensayo de Dureza	NTE INEN 887
Ensayo de Inflamabilidad	ASTM D635

**Fuente:** El autor

Después de verificar que estas normativas, se encuentren dentro de nuestro alcance de ejecución en los laboratorios disponibles dentro del país, se continúa a averiguar los lugares donde nos permiten la realización de estos ensayos con sus respectivas normas.

Para los ensayos como son el de compresión, dureza, e inflamabilidad se tomó en cuenta los laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, los mismos que supieron analizar la propuesta y se concluyó que los ensayos especificados en la norma se encuentran dentro de la capacidad de realización de acuerdo a los equipos existentes.

**Tabla 8.** Datos del laboratorio donde es viable realizar los ensayos

<b>Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b>

<b>Datos del lugar</b>
<p><b>Dirección:</b> Universidad Técnica de Ambato</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Campus Huachi</li> <li>➤ Av. Los Chasquis y Río Payamino</li> </ul> <p><b>Correo:</b> <a href="mailto:ficm@uta.edu.ec">ficm@uta.edu.ec</a></p> <p><b>Número de contacto:</b> (03)-2521081 - (03)-2523039</p>

**Fuente:** El autor

Como resultado de conocer el laboratorio dispuesto para efectuar estos ensayos, se ha elaborado una tabla resumida donde se detalla el tipo de ensayo a practicar, junto con su norma y el lugar en donde se va a realizarlos.

**Tabla 9.** Datos generales de factibilidad a realizar los ensayos

Tipo de ensayo	Norma aplicativa	Lugar
Compresión	NTE INEN 889	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.
Dureza	NTE INEN 887	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.
Inflamabilidad	ASTM D 635	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

**Fuente:** El autor

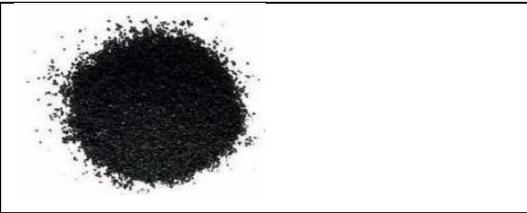
### 3.5.2. Adquisición de la materia prima

Para la elaboración de este proyecto experimental se hizo la adquisición de dos tipos de materiales, la primera que la utilizamos como matriz a la resina de poliuretano y como refuerzo la fibra de caucho de neumáticos reciclados, para la cual se ha hecho un análisis exhaustivo en cuanto a precios, lugar de producción y disponibilidad en el mercado.

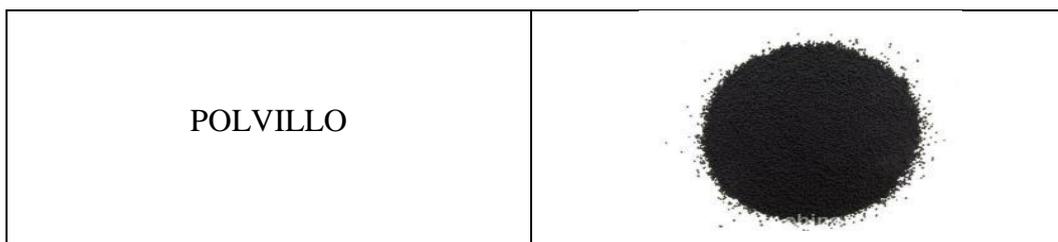
La fibra de caucho granulado se obtuvo de la Procesadora de neumáticos Cotopaxi “PRONEUMACOSA S.A.” como primera industria recicladora de neumáticos reciclados en la provincia de Cotopaxi, por lo que se dispuso a adquirir todo el material necesario para el estudio de este proyecto experimental.

Donde adquirimos 2 tipos de granulometría junto un agregado que dispone la empresa, conocido como polvillo de caucho producto nuevo que esta empresa está ofertando para poder brindar una óptima aplicación para revestir de pisos.

**Tabla 10.** Granulometría del caucho disponible en el mercado

TIPO A 1 – 4 mm	
TIPO B 3 – 6 mm	

CONTINÚA 



**Fuente:** El autor

La resina de poliuretano fue adquirida de la empresa “SOL COLOR” almacenes de pintura en Salcedo, la misma que ofrece el aglutinante adecuado para la aplicación de esta investigación, el material dotado por este almacén cumplió con las características deseadas en cuanto a flexibilidad y economía que ofrecimos en nuestros adoquines flexibles para revestir pisos.

**Tabla 11.** Resina de poliuretano



**Fuente:** El autor

Luego de haber investigado los requerimientos para nuestro producto, se resume los materiales adquiridos por las siguientes empresas:

**Tabla 12.** Datos de los proveedores de materia prima para la elaboración de adoquines flexibles

<b>Procesadora de neumáticos Cotopaxi “PRONEUMACOSA”</b>	<b>Materia prima</b>	<b>Datos de la empresa</b>
	Fibra de caucho de neumáticos reciclados	<b>Ciudad:</b> Latacunga <b>Dirección:</b> Panamericana Norte km. 12 – sector la Avelina <b>Email:</b> <a href="http://www.proneumacosa.com">www.proneumacosa.com</a> <b>Teléfono:</b> (03)2 719-689 - 0983445067
<b>Almacén de Pinturas “SOL COLOR”</b>	<b>Materia prima</b>	<b>Datos de la empresa</b>
	Resina de poliuretano	<b>Ciudad:</b> Salcedo <b>Dirección:</b> Calle Bolívar y Sucre sector parque central salcedo. <b>Teléfono:</b> 0992599804 (03)2 730-293

**Fuente:** El autor

### 3.5.3. Determinación de la densidad de la resina y de la fibra de caucho reciclado

Para el cálculo de las densidades de estos materiales se realizará mediante el método gravimétrico, el mismo que consiste en estimar el volumen y el peso de los materiales a utilizar proceso que se detalla a continuación.

### 3.5.3.1. Cálculo de la densidad de la resina de poliuretano

#### Elaboración de la probeta de resina

Obtuvimos la probeta de resina de poliuretano mediante el proceso de catalización del material con una relación 5:1 entre resina y catalizador la misma que pesamos en una balanza por cinco mediciones de peso en gramos donde se obtuvo los siguientes.

**Tabla 13.** Datos del pesaje de la probeta de resina

Peso de resina						
Probeta de resina	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Peso 3 (gramos)	Peso 4 (gramos)	Peso 5 (gramos)	Total
	8,50	9,40	9,80	9,80	9,30	9,36
Resultados						

**Fuente:** El autor

La masa de la probeta en promedio después de las cinco mediciones es 9,36 gr la misma que utilizaremos para el cálculo de la densidad.

#### Obtención del volumen del molde para probeta de resina

El volumen de la probeta se calculó utilizando el molde para ensayos dados por la norma de compresión, que consta de las siguientes dimensiones:

Diámetro: 29 mm

Espesor: 12,5



**Figura 2.** Dimensiones del molde para cálculo de densidad

**Fuente:** El autor

Sobre la base de consideraciones anteriores procedemos a calcular el volumen del molde para determinar la masa de la probeta que nos servirá para determinar la densidad del aglutinante lo cual se determinó con la siguiente ecuación.

**Donde:**  $V = \pi \times r^2 \times h$  Ec. (1)

$r = \text{radio}$   $V = \pi \times 14,5\text{mm}^2 \times 12,5\text{mm}$

$h = \text{altura}$   $V = 8256,5 \text{ mm}^3$

El volumen de la cámara de moldeo que obtuvimos para nuestra probeta de resina fue  $8256,5 \text{ mm}^3$  que es equivalente a  $8,256 \text{ cm}^3$ , el mismo que utilizaremos para el cálculo de la densidad.

### **Cálculo de la densidad de la resina**

Para el cálculo de la densidad utilizaremos la siguiente ecuación 2

$$\rho_R = \frac{m_R}{V_R} \quad \text{Ec. (2)}$$

**Donde:**

$\rho_R$  = densidad de la resina

$m_R$  = masa de resina

$V_R$  = volumen de resina

$$\rho_R = \frac{9,36 \text{ gr}}{8,256 \text{ cm}^3}$$

$$\rho_R = 1,133 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_R = 1,13 \times 10^{-3} \frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}$$

La densidad que obtuvimos de la resina de poliuretano es de  $1,13 \times 10^{-3} \frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}$

### 3.5.3.2. Cálculo de la densidad de la fibra de caucho

#### Obtención de la masa de fibra de caucho

Pesamos la misma cantidad de fibra de caucho en el mismo molde utilizado para determinar la densidad de la resina que nos dio un valor de volumen del molde de  $8256,5 \text{ mm}^3$  de cada tipo de fibra obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 14.** Pesaje de fibra de caucho.

Peso de fibra de caucho						
Tipo	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Peso 3 (gramos)	Peso 4 (gramos)	Peso 5 (gramos)	Total, promedio
<b>Tipo A</b> <b>1 – 4</b> <b>mm</b>	4,2	3,9	3,8	3,8	4,0	3,9

CONTINÚA 

Imágenes de Resultados						
<b>Tipo B 3 – 6 mm</b>	3,9	3,7	4,1	3,8	3,8	3,8
Imágenes de Resultados						
<b>Polvillo</b>	3,4	3,2	3,1	3,3	3,5	3,3
Imágenes de Resultados						

**Fuente:** El autor

Las muestras de fibra de caucho pesadas en promedio de cinco mediciones son: de tipo A: 3,94 gr, de tipo B: 3,86 gr y polvillo: 3,3 gr

### **Cálculo de la densidad de la fibra de caucho**

Para el cálculo de la densidad de la fibra de caucho utilizaremos la ecuación 3

$$\rho_R = \frac{m_R}{V_R} \quad \text{Ec. (3)}$$

**Donde:**

$\rho_R$  = densidad de la fibra de caucho

$m_R$  = masa de la fibra de caucho

$V_R$  = volumen de la fibra de caucho

Las densidades calculadas para los 3 tipos de fibra de caucho se indican en la tabla 15.

**Tabla 15.** Densidad de los tipos de fibra de caucho.

Muestra de fibra de caucho	Masa (gr)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad (gr/mm <sup>3</sup> )
Tipo A 1 – 4 mm	3,94	8,256	0,477	$4,77 \times 10^{-4}$
Tipo B 3 – 6 mm	3,86	8,256	0,467	$4,67 \times 10^{-4}$
Polvillo	3,30	8,256	0,399	$3,99 \times 10^{-4}$

**Fuente:** El autor

#### **3.5.4. Composición volumétrica de resina de poliuretano y la fibra de caucho reciclado**

Para desarrollar la composición volumétrica entre la resina de poliuretano y el caucho reciclado fue necesario hacer un cálculo individual de la densidad que presentan estos materiales, así como valorar su volumen que tendrán dentro de los moldes para desarrollar los diferentes ensayos ya planteados, logrando establecer la composición adecuada entre matriz y refuerzo.

La misma composición que permitirá calcular la masa de material optima a utilizarse para la elaboración de probetas.

##### **3.5.4.1. Cálculo de masa y volumen para las composiciones volumétricas**

Son de Tipo 1: 92% gránulo – 8% aglutinante, Tipo 2: 88% gránulo – 12% aglutinante, Tipo 3: 70% gránulo – 16% aglutinante – 14% polvillo de caucho, se continuo a calcular las masas y volúmenes de la matriz y refuerzo a utilizarse en la elaboración de las probetas para los de compresión, dureza e inflamabilidad.

En la tabla 15. Se muestra las composiciones volumétricas con el número de probetas que se ha realizado para los distintos ensayos.

**Tabla 16.** Composiciones volumétricas y número de probetas para ensayos.

Tamaño	Composición en volumen		Configuración	Número de configuración	Número de moldes y probetas		
					Compresión	Dureza	Inflamabilidad
Tipo A 1 - 4 mm Con alma Con y sin polvillo	1	8% aglutinante 92% gránulo	A1	1	3 probetas	3 probetas	De la mejor configuración elegida un molde del cual se cortarán 4 probetas
	2	12% aglutinante 88% gránulo	A2	2	3 probetas	3 probetas	
	3	16% aglutinante 14% polvillo 70% gránulo	A3	3	3 probetas	3 probetas	
Tipo B 3 - 6 mm Con alma Con y sin polvillo	1	8% aglutinante 92% gránulo	B1	4	3 probetas	3 probetas	
	2	12% aglutinante 88% gránulo	B2	5	3 probetas	3 probetas	
	3	16% aglutinante 14% polvillo 70% gránulo	B3	6	3 probetas	3 probetas	
Subtotal					18	18	4
Total					40 probetas		

**Fuente:** El autor

### 3.5.4.1.1. Cálculo del volumen utilizado por la matriz y refuerzo para cada composición volumétrica.

Dimensiones de los moldes a ensayar de acuerdo con las normas:

- **Ensayo de Compresión:** NTE INEN 889

- **Ensayo de Dureza:** NTE INEN 887
- **Ensayo de Inflamabilidad:** ASTM D635

**Tabla 17.** Dimensiones generales de los moldes para ensayos

Moldes	Dimensiones (mm)	Volumen para cada probeta		Cantidad de probetas	Imagen de moldes
		Parcial	Total		
Compresión	29x12,5	8256,50	49539,00	6	
Dureza	30x30x8	7200,00	64800,00	9	
Inflamabilidad	150x150x5	112500,00	112500,00	1	

**Fuente:** El autor

- El cálculo del volumen para resina de poliuretano, fibra de caucho y polvillo se desarrollará con la ecuación x.

$$V_g = \%gránulo \times V_{molde} \quad \text{Ec. 4}$$

$$V_R = \%Resina \times V_{molde} \quad \text{Ec. 5}$$

**Donde:**

$V_g$  = volumen del gránulo de caucho

$V_R$  = volumen de la resina de poliuretano

- Cálculo de volumen, para molde de ensayo a compresión.

Volumen parcial del molde: 8256,5 mm<sup>3</sup>

Se utilizó 3 cavidades del molde para probetas de cada configuración de acuerdo a la norma de compresión.

Volumen total de molde: 24769,5 mm<sup>3</sup>

**Tabla 18.** Datos de volumen para moldes de ensayos a compresión

Composición volumétrica		Volumen – gránulo de caucho (mm <sup>3</sup> )	Volumen – resina de poliuretano (mm <sup>3</sup> )	Volumen – polvillo de caucho (mm <sup>3</sup> )
1	8% aglutinante 92% gránulo	22787,94	1981,56	-
2	12% aglutinante 88% gránulo	21797,00	2972,34	-
3	16% aglutinante 14% polvillo 70% gránulo	17338,65	3963,12	3467,73

**Fuente:** El autor

- Cálculo de volumen, para molde de ensayo de dureza.

Volumen parcial del molde: 7200 mm<sup>3</sup>

Se utilizó 3 cavidades del molde para probetas de cada configuración de acuerdo a la norma de dureza.

Volumen total de molde: 21600 mm<sup>3</sup>

**Tabla 19.** Datos de volumen para moldes de ensayos de dureza

Composición volumétrica		Volumen – gránulo de caucho (mm <sup>3</sup> )	Volumen – resina de poliuretano (mm <sup>3</sup> )	Volumen – polvillo de caucho (mm <sup>3</sup> )
1	8% aglutinante 92% gránulo	19872	1728	-

CONTINÚA 

2	12% aglutinante 88% gránulo	19008	2592	-
3	16% aglutinante 14% polvillo 70% gránulo	15120	3456	3024

**Fuente:** El autor

➤ Cálculo de volumen, para molde de ensayo de inflamabilidad.

Volumen del molde: 112500 mm<sup>3</sup>

Se usó los cálculos de la mejor configuración volumétrica.

**Tabla 20.** Datos de volumen para moldes de ensayos de inflamabilidad

Composición volumétrica		Volumen – gránulo de caucho (mm <sup>3</sup> )	Volumen – resina de poliuretano (mm <sup>3</sup> )	Volumen – polvillo de caucho (mm <sup>3</sup> )
1	8% aglutinante 92% gránulo	103500	9000	-
2	12% aglutinante 88% gránulo	99000	13500	-
3	16% aglutinante 14% polvillo 70% gránulo	78750	18000	15750

**Fuente:** El autor

Como resultado de calcular los volúmenes para las probetas, estos nos servirán para calcular la masa a utilizar para los diferentes moldes, para el caso del ensayo de inflamabilidad se utilizará únicamente la mejor configuración. Se realizó una tabla donde resume los valores calculados de volumen con sus composiciones para todos los moldes.

**Tabla 21.** Datos de volumen de gránulo y aglutinante.

Composición de volumen para moldes (mm <sup>3</sup> )						
Tipo	Compresión		Dureza		Inflamabilidad	
	Gránulo	Resina	Gránulo	Resina	Gránulo	Resina

CONTINÚA 

1	8% aglutinante 92% gránulo	22787,94	1981,56	19872,00	1728,00	103500,00	9000,00
2	12% aglutinante 88% gránulo	21797,00	2972,34	19008,00	2592,00	99000,00	13500,00
3	16% aglutinante	17338,65	3963,12	15120,00	3456,00	78750,00	18000,00
	14% polvillo	Polvillo					
	70% gránulo	3467,73	-	3024,00	-	15750,00	-

**Fuente:** El autor

### 3.5.4.1.2. Cálculo de la masa utilizado por la matriz y refuerzo para cada composición volumétrica.

Para calcular la masa para los tipos de composición volumétrica planteadas, debemos tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Los 2 tipos de granulometría (1-4 mm, 3-6 mm) y el agregado de polvillo a disposición por la empresa PRONEUMACOSA.
- Los 3 tipos de composición volumétricas propuestas.
- Los 3 tipos de moldes para desarrollar las pruebas mecánicas del adoquín.

Para calcular la masa a utilizar para la matriz (resina de poliuretano) y el refuerzo (gránulo de caucho reciclado) se utilizaron las Ec. (4) y (5)

$$m_g = \rho_g * V_g \quad \text{Ec. (4)}$$

$$m_r = \rho_r * V_r \quad \text{Ec. (5)}$$

#### Datos:

- Volúmenes de resina de poliuretano y gránulo de caucho, ver en (tabla 21)
- Densidad de los tipos de fibra de caucho, ver en (tabla 15)

- Densidad de la resina de poliuretano  $\rho_r = 1,13 \times 10^{-3} \frac{gr}{mm^3}$

**Cálculo de la masa de resina de poliuretano y fibra de caucho para las configuraciones volumétricas planteadas, para el molde de ensayo compresión.**

➤ **Fibra de caucho reciclado Tipo A: (1-4mm), con y sin polvillo de caucho**

**Tabla 22.** Composición volumétrica: 8% aglutinante – 92% gránulo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo $(\rho_g)$	Masa del gránulo $(m_g)$
$22787,94 \text{ mm}^3$	$4,77 \times 10^{-4} (\frac{gr}{mm^3})$	$10,87 \text{ gr}$
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina $(\rho_r)$	Masa de la resina $(m_r)$
$1981,56 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} (\frac{gr}{mm^3})$	$2,24 \text{ gr}$

**Fuente:** El autor

**Tabla 23.** Composición volumétrica: 12% aglutinante – 88% gránulo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo $(\rho_g)$	Masa del gránulo $(m_g)$
$21797,00 \text{ mm}^3$	$4,77 \times 10^{-4} (\frac{gr}{mm^3})$	$10,40 \text{ gr}$
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina $(\rho_r)$	Masa de la resina $(m_r)$
$2972,34 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} (\frac{gr}{mm^3})$	$3,36 \text{ gr}$

**Fuente:** El autor

**Tabla 24.** Composición volumétrica: 16% aglutinante – 70% gránulo – 14%

polvillo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo $(\rho_g)$	Masa del gránulo $(m_g)$
$17338,65 \text{ mm}^3$	$4,77 \times 10^{-4} (\frac{gr}{mm^3})$	$8,27 \text{ gr}$
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina $(\rho_R)$	Masa de la resina $(m_R)$
$3963,12 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} (\frac{gr}{mm^3})$	$4,48 \text{ gr}$
Volumen del polvillo $V_p$	Densidad del polvillo $(\rho_p)$	Masa del polvillo $(m_p)$

CONTINÚA 

$3467,73 \text{ mm}^3$	$3,99 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$1,38 \text{ gr}$
------------------------	--	-------------------

**Fuente:** El autor

➤ **Fibra de caucho reciclado Tipo B: (3-6mm), con y sin polvillo de caucho**

**Tabla 25.** Composición volumétrica: 8% aglutinante – 92% gránulo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo $(\rho_g)$	Masa del gránulo $(m_g)$
$22787,94 \text{ mm}^3$	$4,67 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$10,64 \text{ gr}$
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina $(\rho_r)$	Masa de la resina $(m_r)$
$1981,56 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$2,24 \text{ gr}$

**Fuente:** El autor

**Tabla 26.** Composición volumétrica: 12% aglutinante – 88% gránulo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo $(\rho_g)$	Masa del gránulo $(m_g)$
$21797,00 \text{ mm}^3$	$4,67 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$10,18 \text{ gr}$
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina $(\rho_r)$	Masa de la resina $(m_r)$
$2972,34 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$3,36 \text{ gr}$

**Fuente:** El autor

**Tabla 27.** Composición volumétrica: 16% aglutinante – 70% gránulo – 14% polvillo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo $(\rho_g)$	Masa del gránulo $(m_g)$
$17338,65 \text{ mm}^3$	$4,67 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$8,10 \text{ gr}$
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina $(\rho_R)$	Masa de la resina $(m_R)$
$3963,12 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$4,44 \text{ gr}$
Volumen del polvillo $V_p$	Densidad del polvillo $(\rho_p)$	Masa del polvillo $(m_p)$
$3467,73 \text{ mm}^3$	$3,99 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$1,38 \text{ gr}$

**Fuente:** El autor

**Cálculo de la masa de resina de poliuretano y fibra de caucho para las configuraciones volumétricas planteadas, para el molde de ensayo dureza.**

➤ **Fibra de caucho reciclado Tipo A: (1-4mm), con y sin polvillo de caucho**

**Tabla 28.** Composición volumétrica: 8% aglutinante – 92% gránulo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo $(\rho_g)$	Masa del gránulo $(m_g)$
$19872,00 \text{ mm}^3$	$4,77 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$9,48 \text{ gr}$
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina $(\rho_r)$	Masa de la resina $(m_r)$
$1728,00 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$1,95 \text{ gr}$

**Fuente:** El autor

**Tabla 29.** Composición volumétrica: 12% aglutinante – 88% gránulo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo $(\rho_g)$	Masa del gránulo $(m_g)$
$19008,00 \text{ mm}^3$	$4,77 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$9,07 \text{ gr}$
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina $(\rho_r)$	Masa de la resina $(m_r)$
$2592,00 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$2,93 \text{ gr}$

**Fuente:** El autor

**Tabla 30.** Composición volumétrica: 16% aglutinante – 70% gránulo – 14%

polvillo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo $(\rho_g)$	Masa del gránulo $(m_g)$
$15120,00 \text{ mm}^3$	$4,77 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$7,21 \text{ gr}$
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina $(\rho_R)$	Masa de la resina $(m_R)$
$3456,00 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$3,91 \text{ gr}$
Volumen del polvillo $V_p$	Densidad del polvillo $(\rho_p)$	Masa del polvillo $(m_p)$
$3024,00 \text{ mm}^3$	$3,99 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$1,21 \text{ gr}$

**Fuente:** El autor

➤ **Fibra de caucho reciclado Tipo B: (3-6mm), con y sin polvillo de caucho**

**Tabla 31.** Composición volumétrica: 8% aglutinante – 92% gránulo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo ( $\rho_g$ )	Masa del gránulo ( $m_g$ )
$19872,00 \text{ mm}^3$	$4,67 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$9,28 \text{ gr}$
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina ( $\rho_r$ )	Masa de la resina ( $m_r$ )
$1728,00 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$2,24 \text{ gr}$

**Fuente:** El autor

**Tabla 32.** Composición volumétrica: 12% aglutinante – 88% gránulo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo ( $\rho_g$ )	Masa del gránulo ( $m_g$ )
$19008,00 \text{ mm}^3$	$4,67 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$8,88 \text{ gr}$
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina ( $\rho_r$ )	Masa de la resina ( $m_r$ )
$2592,00 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$2,93 \text{ gr}$

**Fuente:** El autor

**Tabla 33.** Composición volumétrica: 16% aglutinante – 70% gránulo – 14%

polvillo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo ( $\rho_g$ )	Masa del gránulo ( $m_g$ )
$15120,00 \text{ mm}^3$	$4,67 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$7,06 \text{ gr}$
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina ( $\rho_R$ )	Masa de la resina ( $m_R$ )
$3456,00 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$3,91 \text{ gr}$
Volumen del polvillo $V_p$	Densidad del polvillo ( $\rho_p$ )	Masa del polvillo ( $m_p$ )
$3024,00 \text{ mm}^3$	$3,99 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$1,21 \text{ gr}$

**Fuente:** El autor

**Cálculo de la masa de resina de poliuretano y fibra de caucho para las configuraciones volumétricas planteadas, para el molde de ensayo de inflamabilidad.**

Se utilizó la mejor configuración volumétrica del material.

➤ **Fibra de caucho reciclado Tipo A: (1-4mm), con y sin polvillo de caucho**

**Tabla 34.** Composición volumétrica: 8% aglutinante – 92% gránulo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo ( $\rho_g$ )	Masa del gránulo ( $m_g$ )
$103500,00 \text{ mm}^3$	$4,77 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$49,37 \text{ gr}$
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina ( $\rho_r$ )	Masa de la resina ( $m_r$ )
$9000,00 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$10,17 \text{ gr}$

**Fuente:** El autor

**Tabla 35.** Composición volumétrica: 12% aglutinante – 88% gránulo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo ( $\rho_g$ )	Masa del gránulo ( $m_g$ )
$99000,00 \text{ mm}^3$	$4,77 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$47,22 \text{ gr}$
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina ( $\rho_r$ )	Masa de la resina ( $m_r$ )
$13500,00 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$15,26 \text{ gr}$

**Fuente:** El autor

**Tabla 36.** Composición volumétrica: 16% aglutinante – 70% gránulo – 14%

polvillo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo ( $\rho_g$ )	Masa del gránulo ( $m_g$ )
$78750,00 \text{ mm}^3$	$4,77 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$37,56 \text{ gr}$
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina ( $\rho_r$ )	Masa de la resina ( $m_r$ )
$18000,00 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	$20,34 \text{ gr}$
Volumen del polvillo $V_p$	Densidad del polvillo ( $\rho_p$ )	Masa del polvillo ( $m_p$ )

CONTINÚA 

$15750,00 \text{ mm}^3$	$3,99 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	6,28 gr
-------------------------	--	---------

Fuente: El autor

### Fibra de caucho reciclado Tipo B: (3-6mm), con y sin polvillo de caucho

**Tabla 37.** Composición volumétrica: 8% aglutinante – 92% gránulo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo $(\rho_g)$	Masa del gránulo $(m_g)$
$103500,00 \text{ mm}^3$	$4,67 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	48,33 gr
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina $(\rho_r)$	Masa de la resina $(m_r)$
$9000,00 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	10,17 gr

Fuente: El autor

**Tabla 38.** Composición volumétrica: 12% aglutinante – 88% gránulo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo $(\rho_g)$	Masa del gránulo $(m_g)$
$99000,00 \text{ mm}^3$	$4,67 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	46,23 gr
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina $(\rho_r)$	Masa de la resina $(m_r)$
$13500,00 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	15,26 gr

Fuente: El autor

**Tabla 39.** Composición volumétrica: 16% aglutinante – 70% gránulo – 14% polvillo

Volumen del gránulo $V_g$	Densidad gránulo $(\rho_g)$	Masa del gránulo $(m_g)$
$78750,00 \text{ mm}^3$	$4,67 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	36,78 gr
Volumen de la resina $V_r$	Densidad de la resina $(\rho_R)$	Masa de la resina $(m_R)$
$18000,00 \text{ mm}^3$	$1,13 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	20,34 gr
Volumen del polvillo $V_p$	Densidad del polvillo $(\rho_p)$	Masa del polvillo $(m_p)$
$15750,00 \text{ mm}^3$	$3,99 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}\right)$	6,28 gr

Fuente: El autor

Finalizado los cálculos de masa y volumen de la configuración volumétrica para la matriz (resina de poliuretano) y refuerzo (gránulo de caucho), se reunió los datos en la tabla 39.

**Tabla 40.** Datos recopilados de masa y volumen para elaborar probetas para los ensayos de compresión, dureza e inflamabilidad.

Tamaño del gránulo	Composición volumétrica		Cantidades para elaborar moldes					
			Compresión		Dureza		Inflamabilidad	
			Volumen (mm <sup>3</sup> )	Masa (gr)	Volumen (mm <sup>3</sup> )	Masa (gr)	Volumen (mm <sup>3</sup> )	Masa (gr)
Tipo A 1 – 4 mm Con y sin polvillo	1	8% aglutinante	1981,56	2,24	1728,00	1,95	9000,00	10,17
		92% gránulo	22787,94	10,87	19872,00	9,48	103500,00	49,37
	2	12% aglutinante	2972,34	3,36	2592,00	2,93	13500,00	15,26
		88% gránulo	21797,00	10,40	19008,00	9,07	99000,00	47,22
	3	16% aglutinante	3963,12	4,48	3456,00	3,91	18000,00	20,34
		14% polvillo	3467,73	1,38	3024,00	1,21	15750,00	6,28
70% gránulo		17338,65	8,27	15120,00	7,21	78750,00	37,56	
Tipo B 3 – 6 mm Con y sin polvillo	1	8% aglutinante	1981,56	2,24	1728,00	2,24	9000,00	10,17
		92% gránulo	22787,94	10,64	19872,00	9,28	103500,00	48,33
	2	12% aglutinante	2972,34	3,36	2592,00	2,93	13500,00	15,26
		88% gránulo	21797,00	10,18	19008,00	8,88	99000,00	46,23
	3	16% aglutinante	3963,12	4,44	3456,00	3,91	18000,00	20,34
		14% polvillo	3467,73	1,38	3024,00	1,21	15750,00	6,28
70% gránulo		17338,65	8,10	15120,00	7,06	78750,00	36,78	

**Fuente:** El autor

Los datos generales recopilados de masa y volumen de la configuración volumétrica nos permiten visualizar de una manera exacta las cantidades a utilizar entre

aglutinante y gránulo de caucho para la elaboración de las probetas en sus respectivos moldes. Para el ensayo de inflamabilidad se utilizó los datos de la mejor configuración. En total son 6 configuraciones y 3 tipos de moldes.

Estas cantidades calculadas nos sirvieron para elaborar, de cada configuración volumétrica (seis configuraciones):

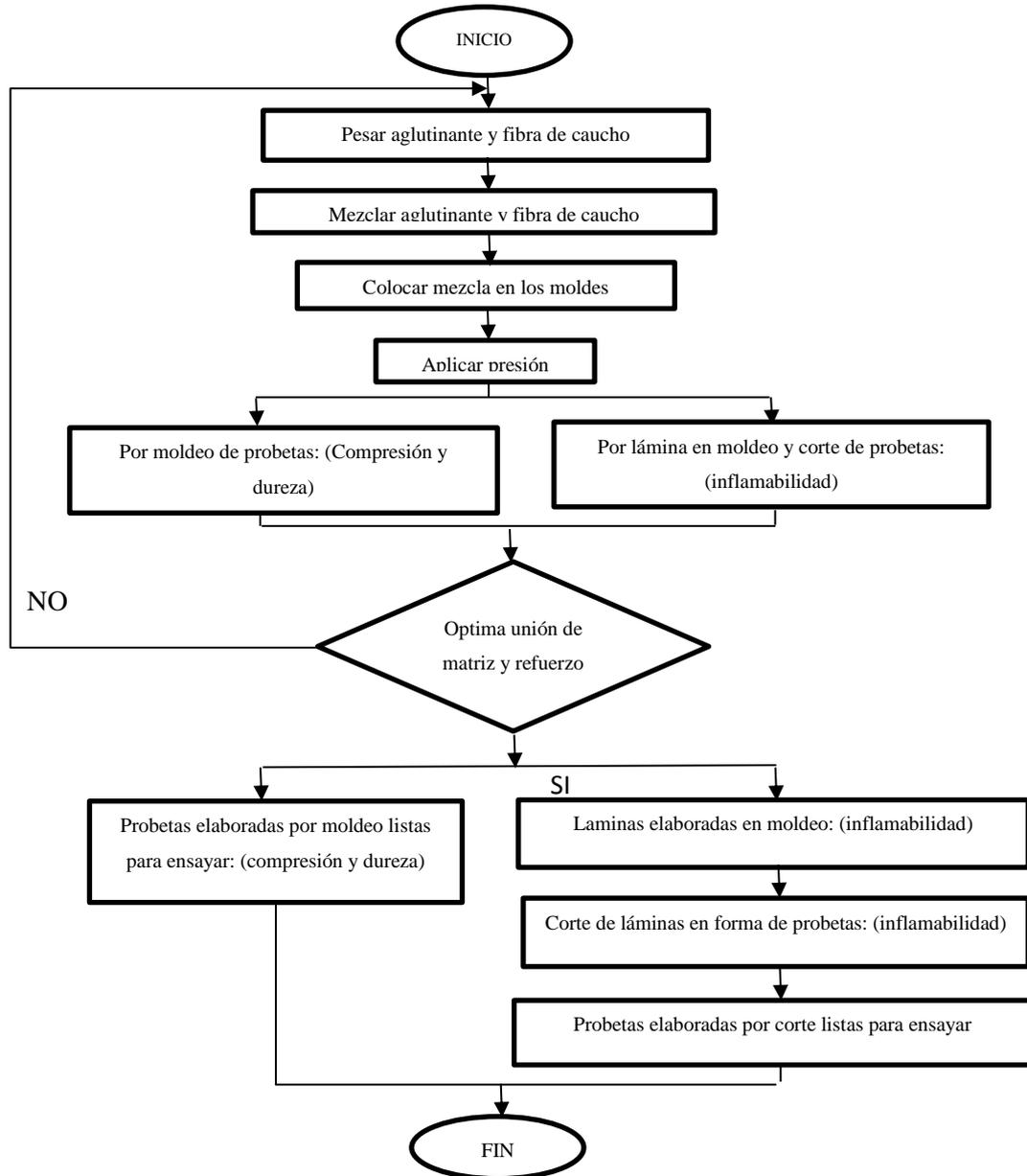
- 3 probetas para el ensayo de tracción.
- 3 probetas para el ensayo de dureza

Para el ensayo de inflamabilidad se tomó la mejor configuración seleccionada: 1 lamina para elaborar y cortar 4 probetas.

### **3.5.5. Elaboración de probetas para los ensayos**

Para la elaboración de las probetas hemos realizamos 6 configuraciones, elaboramos 3 probetas por cada una de las configuraciones establecidas como es para el ensayo de compresión y dureza con un total de 36 muestras. Para el caso del ensayo de inflamabilidad se planteó que se tome únicamente de la mejor configuración y para esto se elaboró y corto 4 probetas, dando un total de 40 probetas para ensayar en este estudio.

Se ejecutó un proceso que nos permitió fabricar las probetas para los ensayos que detallamos en el diagrama siguiente:



**Figura 3.** Diagrama de elaboración de probetas

**Fuente:** El autor

### **Pesaje de la resina de poliuretano y gránulo de caucho reciclado**

Para el proceso de pesar el aglutinante y la fibra de caucho se utilizó una balanza convencional con unidades en gramos, donde se utilizó los datos de masa calculados en la tabla 39, teniendo relación con el ensayo a realizar y la configuración correspondiente para cada una. Para el ensayo de inflamabilidad únicamente se utilizó la mejor configuración de material compuesto.



**Figura 4.** Pesaje de resina y gránulo de caucho

**Fuente:** El autor

### **Mezcla de la resina de poliuretano y gránulo de caucho reciclado**

Con las cantidades exactas pesadas de matriz y refuerzo, verteremos conjuntamente el gránulo de caucho en un recipiente donde nos sea factible y no exista problema de derrame del caucho, procedemos a colocar la resina catalizada encima del caucho y mezclamos los dos materiales revolviendo con una espátula hasta que la mezcla sea uniforme en todo el gránulo de caucho.



**Figura 5.** Mezcla de resina y gránulo de caucho

**Fuente:** El autor

## Aplicación del material compuesto en los moldes

Con el material uniformemente mezclado, se procedió a verter inmediatamente en los moldes, en un periodo máximo de 5 minutos antes de que actúe el aglutinante, para evitar que el producto se estropee o se seque antes del proceso de moldeo, con la ayuda de una paleta se extiende el material compuesto en el molde ya que no abra problema alguno gracias a los cálculos anteriormente descritos, este tendrá el volumen exacto para llenar el molde, al tener una superficie uniforme del material compuesto sobre el molde se aplicó una presión de 20 psi con la ayuda de una gata hidráulica, para que la mezcla sea uniforme y ayude al proceso de molde.



**Figura 6.** Aplicación del material en los moldes

**Fuente:** El autor

## Control de calidad de probetas dimensiones y unión de materiales

Se revisa las dimensiones de las probetas y láminas obtenidas del moldeo con la ayuda de un calibrador pie de rey, visualizando que exista una correcta compactación en unión de matriz y refuerzo el cual no debe tener defecto alguno.



**Figura 7.** Control de calidad de probetas

**Fuente:** El autor

### **Obtención de probetas para ensayo de compresión y dureza**

Únicamente las probetas que hayan aprobado el control de calidad podrán ser utilizadas para estos ensayos. Se elaboraron 3 probetas para cada configuración, con un total de 18 probetas para el ensayo de compresión y 18 probetas para el ensayo de dureza.



**Figura 8.** Probetas para ensayos de compresión y dureza

**Fuente:** El autor

### **Obtención de láminas para ensayo de inflamabilidad**

En el mismo sentido de las probetas de ensayo de compresión y dureza las láminas de inflamabilidad a utilizar serán las que aprueben el control de calidad, las mismas que se encuentran preparadas para el proceso de corte.

Para las probetas de inflamabilidad se elaboró 1 lámina de material compuesto para la mejor configuración, de la cual se obtuvo 4 probetas por corte, con dimensiones 125mm x 13mm x 5mm que se encuentran listas para el ensayo de inflamabilidad.



**Figura 9.** Probetas para ensayos de inflamabilidad

**Fuente:** El autor

Para el corte de las probetas para el ensayo de inflamabilidad se realizó con la ayuda de una regla que guio el corte trazado con un estilete con dimensiones de acuerdo a la norma.

Finalmente se concluyó con la obtención de probetas y láminas para la realización de los ensayos de compresión, dureza e inflamabilidad.

### **3.5.6. Ejecución de los ensayos del material compuesto**

#### **3.5.6.1. Ensayo a compresión del material compuesto**

Los ensayos a compresión se realizaron en la Universidad Técnica de Ambato en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, en el campus Huachi Chico, para este ensayo se aplicó la norma NTE INEN 889

La norma INEN nos indica las distintas maneras para realizar los ensayos como es la utilización de un reloj comparador para las dimensiones de diámetro y espesor, así como el sistema de compresión SHIMADZU CONCRETO 2000X disponible en los laboratorios de la Facultad de Civil y Mecánica en la Universidad Técnica de Ambato.

Se ensayaron 18 probetas, 3 por cada configuración volumétrica planteada.



**Figura 10.** Reloj comparador y sistema de compresión

**Fuente:** El autor

## Procedimiento para el ensayo de compresión

- ✓ Las probetas óptimas para el ensayo de compresión únicamente serán las que hayan pasado el control de calidad.
- ✓ Las probetas deben estar totalmente limpias y libre de cualquier sustancia ya sea desmoldantes o lubricantes utilizados para el proceso de desmoldeo.
- ✓ Medimos los espesores iniciales y diámetro de las probetas.



**Figura 11.** Datos de mediciones de probeta a ensayar compresión.

**Fuente:** El autor

- ✓ Situamos las probetas en el centro de las mordazas del sistema de compresión una por una, y alineamos hasta que las placas de compresión topen la probeta y encerramos la máquina para iniciar el ensayo.



**Figura 12.** Colocación de probetas y ajuste de mordazas en máquina en compresión.

**Fuente:** El autor

- ✓ Finalizado el ciclo de compresión a temperatura ambiente, se descomprimió el sistema poco a poco y se retiró la probeta, para volver a medir su espesor, con las probetas ensayadas se verifica que no posean imperfecciones internas o desgrano del material caso contrario se descarta la probeta.

El procedimiento se desarrolló con 18 probetas a ensayar por cada una de las configuraciones propuestas teniendo en cuenta que se planteó 6 configuraciones con un mínimo de 3 probetas por configuración de acuerdo a la norma.

### **Especificación de resultados para el ensayo de compresión**

Para la expresión de resultados se necesita calcular la compresión residual a carga constante la misma que viene dada por la ecuación 6.

$$C = \frac{t_o - t_r}{t_o - t_s} \quad \text{Ec. (6)}$$

#### **Donde:**

$t_o$  = espesor inicial de la probeta (mm)

$t_r$  = espesor final de la probeta (mm)

$t_s$  = espesor del espaciador (mm)

Todos los resultados obtenidos del ensayo fueron la media aritmética de los resultados de las 3 probetas ensayadas para cada configuración.

#### **3.5.6.2. Ensayo de dureza del material compuesto**

Los ensayos de dureza se realizaron en la Universidad Técnica de Ambato en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, en el campus Huachi Chico, para este ensayo se aplicó la norma NTE INEN 887.

La norma INEN nos indica el instrumento a utilizar, junto con el procedimiento el cual nos manifiesta que se debe realizar mínimo 3 mediciones por probeta, que son 18, en total se realizaron 54 mediciones.

### **Equipo por emplear para el ensayo de dureza**

Durómetro digital SHORE – D (0 – 100 HD) marca PCE Instrument, modelo GM-SHORED disponible en los laboratorios de la carrera de mecánica.



**Figura 13.** Durómetro Shore D

**Fuente:** El autor

### **Procedimiento para el ensayo de dureza**

- ✓ Las probetas deben estar totalmente limpias sin ningún tipo de residuo o deformación de desmoldeo.
- ✓ La medición en las probetas se debe realizar en las partes más lisas y planas para que no exista ningún inconveniente al momento de realizar la medición.
- ✓ Se aplicó una fuerza y profundidad constante en todos los puntos sobre la probeta.
- ✓ Se midió la dureza en 3 puntos de la probeta, las mediciones se deben realizar dentro del borde a una distancia no menos 9mm, los resultados que se realizó para cada probeta lo expresamos con una media aritmética, este procedimiento se desarrolló para las 18 probetas con un total de 54 mediciones.



**Figura 14.** Dispositivo de medición de dureza en probetas.

**Fuente:** El autor

### **Especificación de resultados para el ensayo de dureza**

Para la expresión de resultados del ensayo de dureza se utilizó la ecuación 7.

$$d = \frac{d1+d2+d3}{3} \quad \text{Ec. 7}$$

**Donde:**

d1,2,3= valores de dureza en los diferentes puntos medidos de la probeta (Shore D)

Las mediciones obtenidas del ensayo de dureza fue la media aritmética de los resultados los mismos datos que se transformaron de acuerdo a la tabla de dureza en el anexo 7.

### **3.5.6.3. Ensayo de inflamabilidad de la mejor configuración del material compuesto**

Los ensayos de inflamabilidad se realizaron en la Universidad Técnica de Ambato en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, en el campus Huachi Chico, para este ensayo se aplicó la norma ASTM D635.

Dicha norma nos indica el instrumento a utilizar junto con el procedimiento. Se ensayaron 4 probetas de la configuración volumétrica óptima para este tipo de material compuesto.

### **Equipo por emplear para el ensayo de inflamabilidad**



**Figura 15.** Mechero Bunsen.

**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería Mecánica

Mechero bunsen con base reguladora que permite ubicar en diferentes ángulos la llama, utiliza gas GLP.

### **Procedimiento para el ensayo de inflamabilidad**

- ✓ Se cortó las láminas con dimensiones 125 mm x 13 mm y espesor de 5 mm que viene dado por el molde y una marca de referencia de 25 mm a todas las probetas.



**Figura 16.** Marcado y cortado de probetas para ensayo de inflamabilidad

**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería Mecánica

- ✓ Se aseguró la probeta por uno de los extremos en un apoyo con un eje en posición horizontal y un ángulo de inclinación de  $45 \pm 2^\circ$
- ✓ La posición del mechero se ubicó alejado de la probeta hasta alcanzar las condiciones de equilibrio, que se obtuvo al mantener encendido por 5 minutos, la altura de llama azul debe ser de  $20 \pm 2$  mm.
- ✓ Después de alcanzar las condiciones de equilibrio se inclinó el mechero hacia la punta de la probeta con un ángulo de  $45 \pm 2^\circ$ .



**Figura 17.** Mechero bunsen aproximando a la probeta.

**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería Mecánica

- ✓ Se acercó la llama hasta la punta de la probeta, se tomó el tiempo que se demoró la llama en recorrer desde la marca de 25 mm hasta el otro extremo sujetado es decir 75 mm.



**Figura 18.** Medición de velocidad de quemado.

**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería Mecánica

### **Especificación de resultados para el ensayo de inflamabilidad**

Para calcular la velocidad de quemado de la probeta en el ensayo de inflamabilidad se utilizó la ecuación 8.

$$V = \frac{L}{t} \quad \text{Ec. 8}$$

**Donde:**

L= longitud recorrida por la llama

t= tiempo de quemado

Las mediciones de velocidad y tiempo para el ensayo de inflamabilidad fueron la media aritmética de los resultados de 4 probetas de la mejor configuración del material compuesto.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. Recolección de datos**

Cada uno de los datos obtenidos luego de ejecutar los ensayos de compresión, dureza e inflamabilidad se compilo en fichas técnicas para facilitar el análisis e interpretación de los resultados.

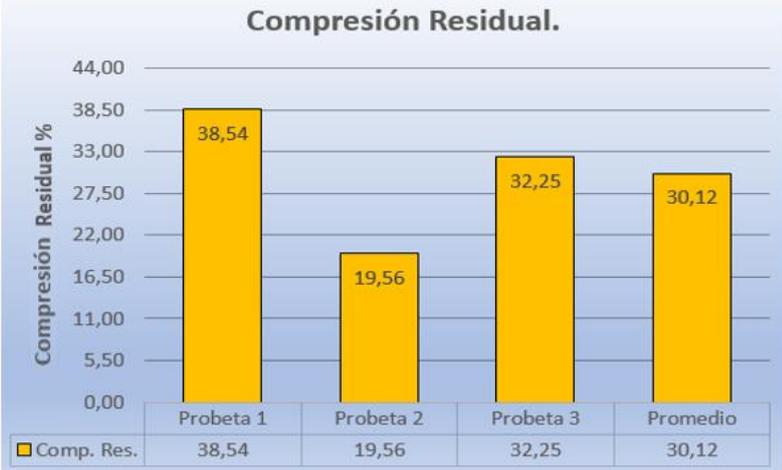
Para el ensayo de compresión, se aplicó la norma NTE INEN 889, la cual nos indicó la fórmula para obtener la compresión residual, mediante los datos de espesores y diámetros de las probetas.

Para el ensayo de dureza, se aplicó la norma NTE INEN 887, la cual nos indicó el proceso y que resultados debemos obtener del material compuesto en cada una de las probetas.

Los resultados obtenidos utilizamos para determinar la configuración del material más óptima del material compuesto estudiado.

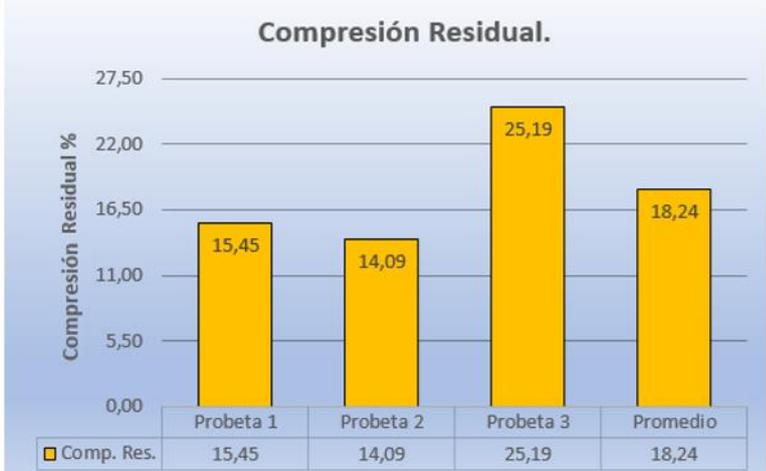
#### 4.1.1. Recolección de datos del ensayo de compresión

**Ficha Técnica 1.** Resultados del ensayo a compresión de la configuración A1: 8% Resina – 92% Fibra de caucho.

	OBSERVACIÓN DE DATOS			
	ENSAYO A COMPRESIÓN			
	NORMA – NTE INEN 889			
	GRÁNULO DE CAUCHO (1-4 mm)			
Fecha Inicio:	20/06/2019	Ciudad:	Ambato	
Fecha Finalización:	21/06/2019	Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (UTA)	
Equipo:	SHIMADZU concreto 2000X	Equipo de medición:	Reloj comparador micrométrico	
Configuración:	A1	Estratificación:	Manual	
Matriz:	Resina de poliuretano	Frac. Volumétrica:	8%	
Refuerzo:	Fibra de caucho reciclado	Frac. Volumétrica:	92%	
N° de probetas:	3	Tipo de probeta:	Moldeada	
Duración de ensayo:	24 horas	Diámetro de probeta:	29±0,5	
Temperatura:	20 °C	Espesor de espaciador:	9,27 mm	
RESULTADOS OBTENIDOS				
Probeta N°	Espesor Inicial (mm)	Espesor Final (mm)	Espesor Espaciador (mm)	Compresión Residual (%)
A1.1	13,11	11,63	9,27	38,54
A1.2	13,36	12,56	9,27	19,56
A1.3	12,96	11,77	9,27	32,25
Promedio	13,11	11,99	9,27	30,12
Desv. Est.	0,56	0,44	-	0,15
GRÁFICAS DE RESULTADOS				
<p>Sistema de Compresión</p> 		<p>Compresión Residual.</p> 		
<p>Probetas antes del ensayo</p> 				
<p>Probetas después del ensayo</p> 				
<p>Compresión Residual (%)</p> <p style="text-align: right;">30,12</p>				
<p>Observaciones:</p>		<p>Excelente fusión entre matriz y refuerzo, las probetas no presentan desgrano del caucho ni defectos internos por lo que se aceptan todos los resultados</p>		
Elaborado por:	José Benavides	Revisado por:	Ing. Luis Escobar	

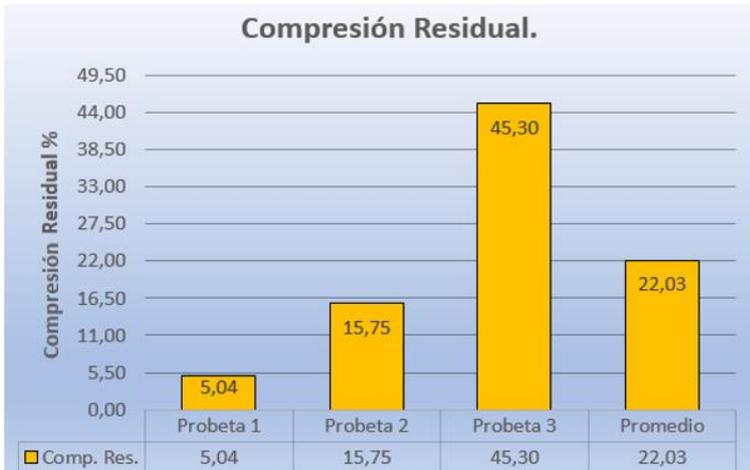
**Fuente:** El autor

**Ficha Técnica 2.** Resultados del ensayo a compresión de la configuración A2:  
12% Resina – 88% Fibra de caucho.

	OBSERVACIÓN DE DATOS													
	ENSAYO A COMPRESIÓN													
	NORMA – NTE INEN 889													
	GRÁNULO DE CAUCHO (1-4 mm)													
Fecha Inicio:	20/06/2019	Ciudad:	Ambato											
Fecha Finalización:	21/06/2019	Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (UTA)											
Equipo:	SHIMADZU concreto 2000X	Equipo de medición:	Reloj comparador micrométrico											
Configuración:	A2	Estratificación:	Manual											
Matriz:	Resina de poliuretano	Frac. Volumétrica:	12%											
Refuerzo:	Fibra de caucho reciclado	Frac. Volumétrica:	88%											
N° de probetas:	3	Tipo de probeta:	Moldeada											
Duración de ensayo:	24 horas	Diámetro de probeta:	29±0,5											
Temperatura:	20 °C	Espesor de espaciador:	9,27 mm											
RESULTADOS OBTENIDOS														
Probeta N°	Espesor Inicial (mm)	Espesor Final (mm)	Espesor Espaciador (mm)	Compresión Residual (%)										
A2.1	13,09	12,50	9,27	15,45										
A2.2	12,89	12,38	9,27	14,09										
A2.3	13,28	12,27	9,27	25,19										
Promedio	13,09	12,38	9,27	18,24										
Desv. Est.	0,14	0,08	-	4,28										
GRÁFICAS DE RESULTADOS														
<p>Sistema de Compresión</p> 	<p style="text-align: center;"><b>Compresión Residual.</b></p>  <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th>Comp. Res.</th> <th>15,45</th> <th>14,09</th> <th>25,19</th> <th>18,24</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>Probeta 1</td> <td>Probeta 2</td> <td>Probeta 3</td> <td>Promedio</td> </tr> </tbody> </table>				Comp. Res.	15,45	14,09	25,19	18,24		Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Promedio
Comp. Res.					15,45	14,09	25,19	18,24						
					Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Promedio						
<p>Probetas antes del ensayo</p> 														
<p>Probetas después del ensayo</p> 														
Compresión Residual (%)			18,24											
Observaciones:			Excelente fusión entre matriz y refuerzo, las probetas no presentan desgrano del caucho ni defectos internos por lo que se aceptan todos los resultados											
Elaborado por:	José Benavides	Revisado por:	Ing. Luis Escobar											

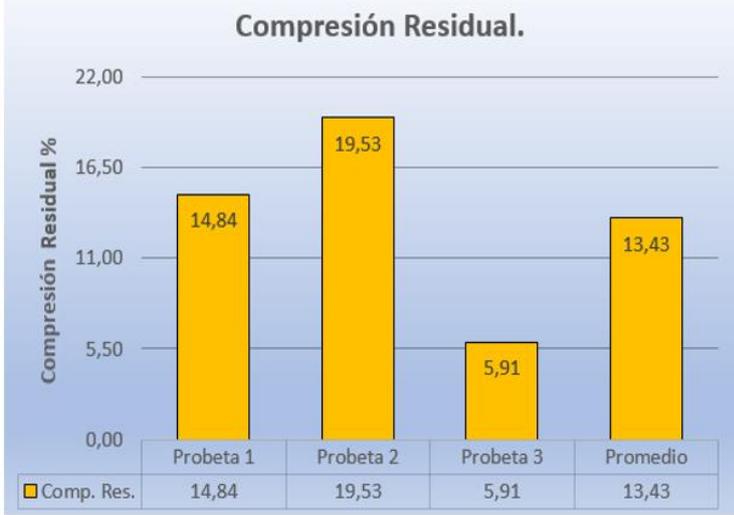
**Fuente:** El autor

**Ficha Técnica 3. Resultados del ensayo a compresión de la configuración A3:**  
16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho.

	OBSERVACIÓN DE DATOS													
	ENSAYO A COMPRESIÓN													
	NORMA – NTE INEN 889													
	GRÁNULO DE CAUCHO (1-4 mm)													
Fecha Inicio:	20/06/2019	Ciudad:	Ambato											
Fecha Finalización:	21/06/2019	Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (UTA)											
Equipo:	SHIMADZU concreto 2000X	Equipo de medición:	Reloj comparador micrométrico											
Configuración:	A3	Estratificación:	Manual											
Matriz:	Resina de poliuretano	Frac. Volumétrica:	16%											
Refuerzo:	Fibra de caucho reciclado	Frac. Volumétrica:	84%											
N° de probetas:	3	Tipo de probeta:	Moldeada											
Duración de ensayo:	24 horas	Diámetro de probeta:	29±0,5											
Temperatura:	20 °C	Espesor de espaciador:	9,27 mm											
RESULTADOS OBTENIDOS														
Probeta N°	Espesor Inicial (mm)	Espesor Final (mm)	Espesor Espaciador (mm)	Compresión Residual (%)										
A3.1	13,24	13,04	9,27	5,04										
A3.2	12,89	12,32	9,27	15,75										
A3.3	12,89	11,25	9,27	45,30										
Promedio	13,01	12,20	9,27	22,03										
Desv. Est.	0,14	0,64	-	14,75										
GRÁFICAS DE RESULTADOS														
Sistema de Compresión 	<p style="text-align: center;"><b>Compresión Residual.</b></p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>Comp. Res.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Probeta 1</td> <td>5,04</td> </tr> <tr> <td>Probeta 2</td> <td>15,75</td> </tr> <tr> <td>Probeta 3</td> <td>45,30</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>22,03</td> </tr> </tbody> </table>				Probeta	Comp. Res.	Probeta 1	5,04	Probeta 2	15,75	Probeta 3	45,30	Promedio	22,03
Probeta					Comp. Res.									
Probeta 1					5,04									
Probeta 2	15,75													
Probeta 3	45,30													
Promedio	22,03													
Probetas antes del ensayo 														
Probetas después del ensayo 														
Compresión Residual (%)			22,03											
Observaciones:			Excelente fusión entre matriz y refuerzo, las probetas no presentan desgrano del caucho ni defectos internos por lo que se aceptan todos los resultados											
Elaborado por:	José Benavides	Revisado por:	Ing. Luis Escobar											

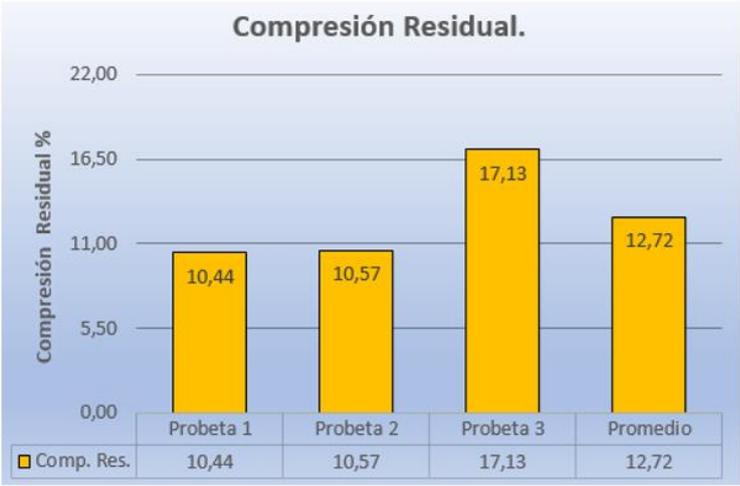
**Fuente:** El autor

**Ficha Técnica 4. Resultados del ensayo a compresión de la configuración B1: 8% Resina – 12% Fibra de caucho.**

	OBSERVACIÓN DE DATOS								
	ENSAYO A COMPRESIÓN								
	NORMA – NTE INEN 889								
	GRÁNULO DE CAUCHO (3-6 mm)								
Fecha Inicio:	20/06/2019	Ciudad:	Ambato						
Fecha Finalización:	21/06/2019	Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (UTA)						
Equipo:	SHIMADZU concreto 2000X	Equipo de medición:	Reloj comparador micrométrico						
Configuración:	B1	Estratificación:	Manual						
Matriz:	Resina de poliuretano	Frac. Volumétrica:	8%						
Refuerzo:	Fibra de caucho reciclado	Frac. Volumétrica:	12%						
N de probetas:	3	Tipo de probeta:	Moldeada						
Duración de ensayo:	24 horas	Diámetro de probeta:	29±0,5						
Temperatura:	20 °C	Espesor de espaciador:	9,27 mm						
RESULTADOS OBTENIDOS									
Probeta N°	Espesor Inicial (mm)	Espesor Final (mm)	Espesor Espaciador (mm)	Compresión Residual (%)					
B1.1	13,11	12,54	9,27	14,84					
B1.2	13,52	12,69	9,27	19,53					
B1.3	13,33	13,09	9,27	5,91					
Promedio	13,32	12,77	9,27	13,43					
Desv. Est.	0,15	0,20	-	4,89					
GRÁFICAS DE RESULTADOS									
<p>Sistema de Compresión</p>  <p>Probetas antes del ensayo</p>  <p>Probetas después del ensayo</p> 	<p align="center"><b>Compresión Residual.</b></p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Comp. Res.</th> <th>14,84</th> <th>19,53</th> <th>5,91</th> <th>13,43</th> </tr> </thead> </table>				Comp. Res.	14,84	19,53	5,91	13,43
Comp. Res.	14,84	19,53	5,91	13,43					
Compresión Residual (%)			13,43						
Observaciones:		Excelente fusión entre matriz y refuerzo, las probetas no presentan desgrano del caucho ni defectos internos por lo que se aceptan todos los resultados							
Elaborado por:	José Benavides	Revisado por:	Ing. Luis Escobar						

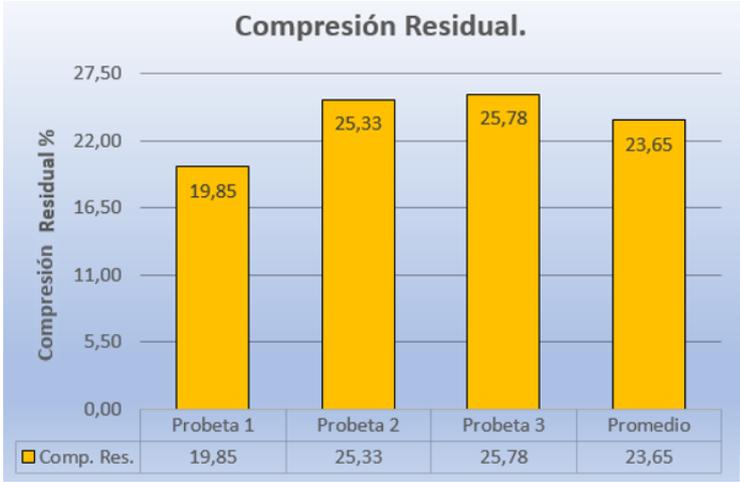
**Fuente:** El autor

**Ficha Técnica 5. Resultados del ensayo a compresión de la configuración B2:**  
12% Resina – 88% Fibra de caucho.

	OBSERVACIÓN DE DATOS																												
	ENSAYO A COMPRESIÓN																												
	NORMA – NTE INEN 889																												
	GRÁNULO DE CAUCHO (3-6 mm)																												
Fecha Inicio:	20/06/2019	Ciudad:	Ambato																										
Fecha Finalización:	21/06/2019	Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (UTA)																										
Equipo:	SHIMADZU concreto 2000X	Equipo de medición:	Reloj comparador micrométrico																										
Configuración:	B2	Estratificación:	Manual																										
Matriz:	Resina de poliuretano	Frac. Volumétrica:	12%																										
Refuerzo:	Fibra de caucho reciclado	Frac. Volumétrica:	88%																										
N de probetas:	3	Tipo de probeta:	Moldeada																										
Duración de ensayo:	24 horas	Diámetro de probeta:	29±0,5																										
Temperatura:	20 °C	Espesor de espaciador:	9,27 mm																										
RESULTADOS OBTENIDOS																													
Probeta N°	Espesor Inicial (mm)	Espesor Final (mm)	Espesor Espaciador (mm)	Compresión Residual (%)																									
B2.1	13,10	12,70	9,27	10,44																									
B2.2	13,15	12,74	9,27	10,57																									
B2.3	12,83	12,22	9,27	17,13																									
Promedio	13,11	11,99	9,27	12,72																									
Desv. Est.	0,56	0,44	-	2,71																									
GRÁFICAS DE RESULTADOS																													
Sistema de Compresión 	<p align="center"><b>Compresión Residual.</b></p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Comp. Res.</th> <th>10,44</th> <th>10,57</th> <th>17,13</th> <th>12,72</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Probeta 1</td> <td>10,44</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Probeta 2</td> <td></td> <td>10,57</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Probeta 3</td> <td></td> <td></td> <td>17,13</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>12,72</td> </tr> </tbody> </table>				Comp. Res.	10,44	10,57	17,13	12,72	Probeta 1	10,44				Probeta 2		10,57			Probeta 3			17,13		Promedio				12,72
Comp. Res.					10,44	10,57	17,13	12,72																					
Probeta 1					10,44																								
Probeta 2		10,57																											
Probeta 3			17,13																										
Promedio				12,72																									
Probetas antes del ensayo 																													
Probetas después del ensayo 																													
Compresión Residual (%)			12,72																										
Observaciones:		Excelente fusión entre matriz y refuerzo, las probetas no presentan desgrano del caucho ni defectos internos por lo que se aceptan todos los resultados																											
Elaborado por:	José Benavides	Revisado por:	Ing. Luis Escobar																										

**Fuente:** El autor

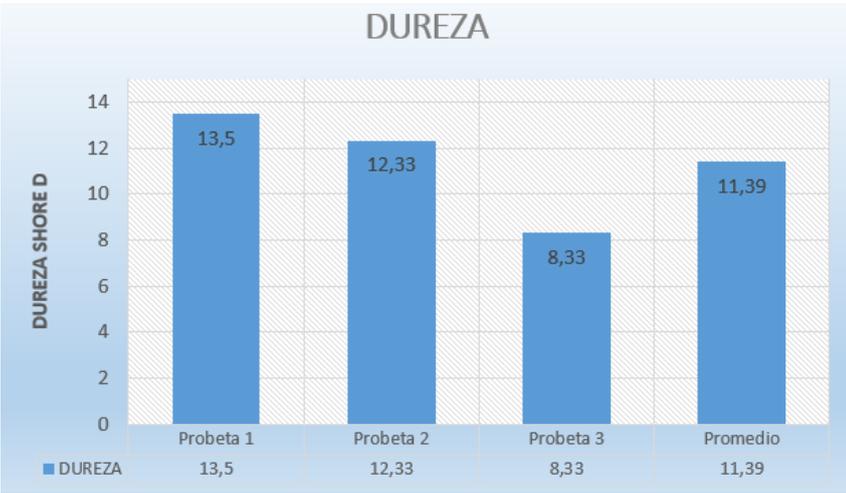
**Ficha Técnica 6. Resultados del ensayo a compresión de la configuración B3:**  
16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho.

		OBSERVACIÓN DE DATOS		
		ENSAYO A COMPRESIÓN		
		NORMA – NTE INEN 889		
		GRÁNULO DE CAUCHO (3-6 mm)		
Fecha Inicio:	20/06/2019	Ciudad:	Ambato	
Fecha Finalización:	21/06/2019	Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (UTA)	
Equipo:	SHIMADZU concreto 2000X	Equipo de medición:	Reloj comparador micrométrico	
Configuración:	B3	Estratificación:	Manual	
Matriz:	Resina de poliuretano	Frac. Volumétrica:	16%	
Refuerzo:	Fibra de caucho reciclado	Frac. Volumétrica:	84%	
N de probetas:	3	Tipo de probeta:	Moldeada	
Duración de ensayo:	24 horas	Diámetro de probeta:	29±0,5	
Temperatura:	20 °C	Espesor de espaciador:	9,27 mm	
RESULTADOS OBTENIDOS				
Probeta N°	Espesor Inicial (mm)	Espesor Final (mm)	Espesor Espaciador (mm)	Compresión Residual (%)
B3.1	13,33	12,50	9,27	19,85
B3.2	13,77	12,63	9,27	25,33
B3.3	12,80	11,89	9,27	25,78
Promedio	13,29	12,34	9,27	23,65
Desv. Est.	0,34	0,28	-	2,33
GRÁFICAS DE RESULTADOS				
Sistema de Compresión 				
Probetas antes del ensayo 				
Probetas después del ensayo 				
Compresión Residual (%)				
Observaciones:		Excelente fusión entre matriz y refuerzo, las probetas no presentan desgrano del caucho ni defectos internos por lo que se aceptan todos los resultados		
Elaborado por:	José Benavides	Revisado por:	Ing. Luis Escobar	

**Fuente:** El autor

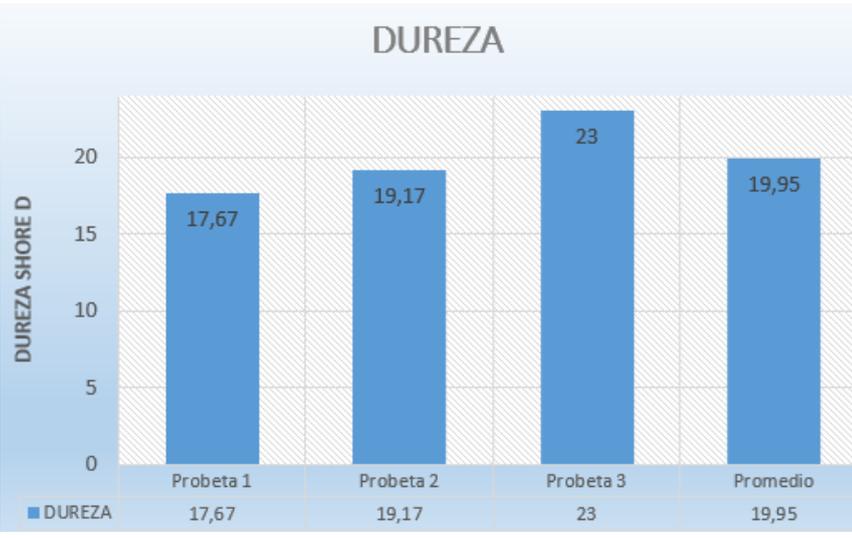
#### 4.1.2. Recolección de datos del ensayo de dureza

**Ficha Técnica 7.** Resultados del ensayo de dureza de la configuración A1: 8%  
Resina - 92% Fibra de caucho.

		OBSERVACIÓN DE DATOS		
		ENSAYO DE DUREZA		
		NORMA – NTE INEN 887		
		GRÁNULO DE CAUCHO (1-4mm)		
Fecha Inicio:	24/06/2019	Ciudad:	Ambato	
Equipo:	Durómetro (Shore D)	Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (UTA)	
Configuración:	A1	Estratificación:	Manual	
Matriz:	Resina de poliuretano	Frac. Volumétrica:	8%	
Refuerzo:	Fibra de caucho reciclado	Frac. Volumétrica:	92%	
N° de probetas:	3	Tipo de probeta:	Moldeada	
Temperatura:	20°C	Dimensiones de la probeta:	30x30x8 mm	
RESULTADOS OBTENIDOS				
N° de ensayo	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
SHORE D	1	17	12,5	
	2	13,5	8,5	
	3	10	16	
Promedio	13,50	12,33	8,33	
Promedio Final	11,39			
Desv. Est.	2,71			
GRÁFICAS DE RESULTADOS				
Durómetro 				
Probetas por ensayar 				
Verificación de medidas 				
Dureza	SHORE D	SHORE A	IRHD	
	11,39	48,47	47,47	
Observaciones:	Excelente fusión entre matriz y refuerzo las probetas presentan irregularidades por ambas caras de probeta por tanto se tomó medidas en partes lisas de la cara inferior			
Elaborado por:	José Benavides	Revisado por:	Ing. Luis Escobar	

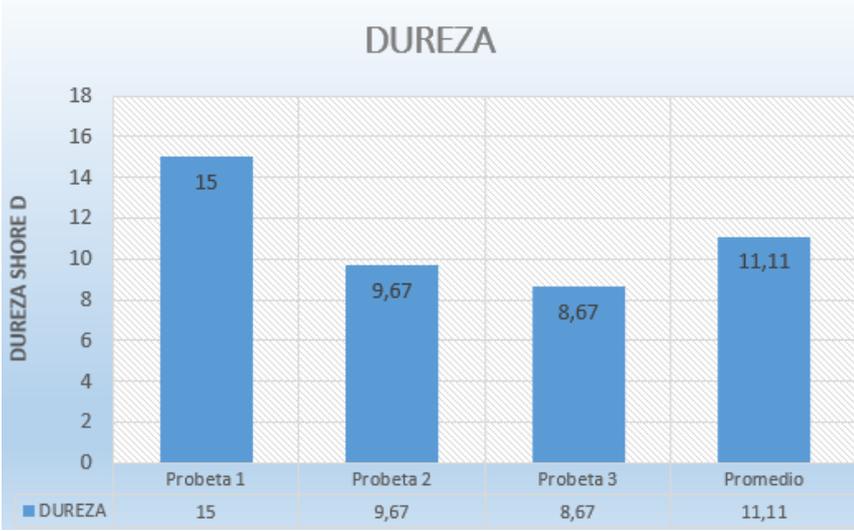
**Fuente:** Autor

**Ficha Técnica 8. Resultados del ensayo de dureza de la configuración A2: 12% Resina - 88% Fibra de caucho.**

		OBSERVACIÓN DE DATOS		
		ENSAYO DE DUREZA		
		NORMA – NTE INEN 887		
		GRÁNULO DE CAUCHO (1-4mm)		
Fecha Inicio:	24/06/2019	Ciudad:	Ambato	
Equipo:	Durómetro (Shore D)	Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (UTA)	
Configuración:	A2	Estratificación:	Manual	
Matriz:	Resina de poliuretano	Frac. Volumétrica:	12%	
Refuerzo:	Fibra de caucho reciclado	Frac. Volumétrica:	88%	
N° de probetas:	3	Tipo de probeta:	Moldeada	
Temperatura:	20°C	Dimensiones de la probeta:	30x30x8 mm	
RESULTADOS OBTENIDOS				
N° de ensayo	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
SHORE D	1	22,5	26	33,5
	2	18	14	17,5
	3	12,5	17,5	18
Promedio	17,67	19,17	23	
Promedio Final	19,95			
Desv. Est.	2,75			
GRÁFICAS DE RESULTADOS				
Durómetro 				
Probetas por ensayar 				
Verificación de medidas 				
Dureza	SHORE D	SHORE A	IRHD	
	19,95	66,58	65,26	
Observaciones:	Excelente fusión entre matriz y refuerzo las probetas presentan irregularidades por ambas caras de probeta por tanto se tomó medidas en partes lisas de la cara inferior			
Elaborado por:	José Benavides	Revisado por:	Ing. Luis Escobar	

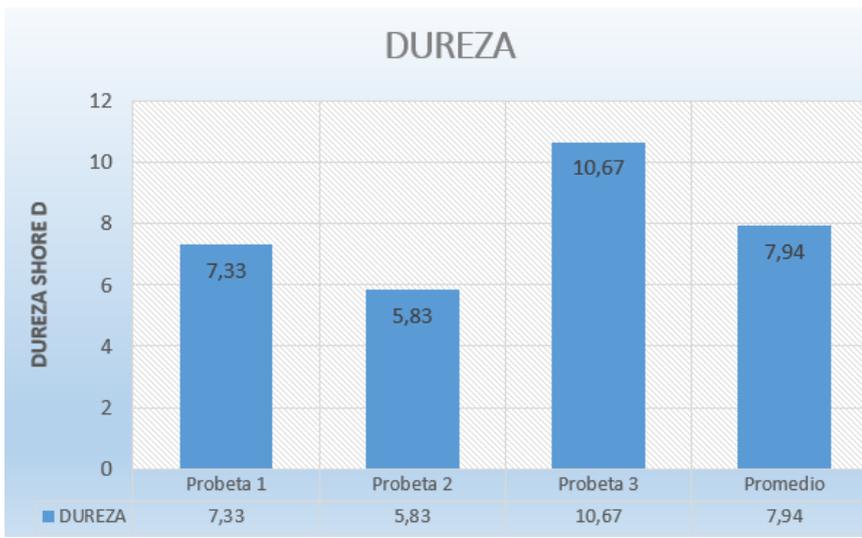
**Fuente:** Autor

**Ficha Técnica 9. Resultados del ensayo de dureza de la configuración A3: 16% Resina - 14% Polvillo de caucho - 70% Fibra de caucho.**

		OBSERVACIÓN DE DATOS		
		ENSAYO DE DUREZA		
		NORMA – NTE INEN 887		
		GRÁNULO DE CAUCHO (3-6mm)		
Fecha Inicio:	24/06/2019	Ciudad:	Ambato	
Equipo:	Durómetro (Shore D)	Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (UTA)	
Configuración:	A3	Estratificación:	Manual	
Matriz:	Resina de poliuretano	Frac. Volumétrica:	16%	
Refuerzo:	Fibra de caucho reciclado	Frac. Volumétrica:	84%	
N° de probetas:	3	Tipo de probeta:	Moldeada	
Temperatura:	20°C	Dimensiones de la probeta:	30x30x8 mm	
RESULTADOS OBTENIDOS				
N° de ensayo	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
SHORE D	1	13,5	17,5	10,5
	2	14	3,5	4
	3	17,5	8	11,5
Promedio	15	9,67	8,67	
Promedio Final	11,11			
Desv. Est.	3,40			
GRÁFICAS DE RESULTADOS				
Durómetro 				
Probetas por ensayar 				
Verificación de medidas 				
Dureza	SHORE D	SHORE A	IRHD	
	11,11	47,77	46,77	
Observaciones:	Excelente fusión entre matriz y refuerzo las probetas presentan irregularidades por ambas caras de probeta por tanto se tomó medidas en partes lisas de la cara inferior			
Elaborado por:	José Benavides	Revisado por:	Ing. Luis Escobar	

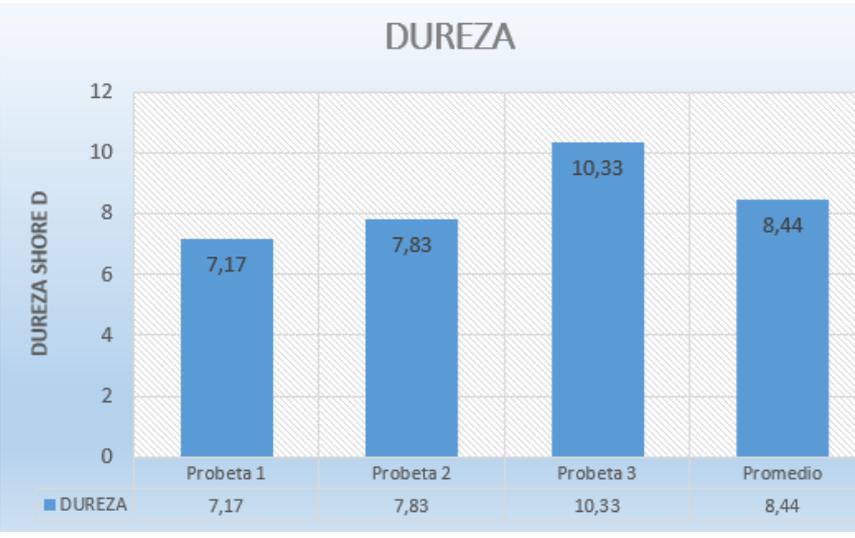
**Fuente:** Autor

**Ficha Técnica 10.** Resultados del ensayo de dureza de la configuración B1: 8%  
Resina – 92% Fibra de caucho.

		OBSERVACIÓN DE DATOS		
		ENSAYO DE DUREZA		
		NORMA – NTE INEN 887		
		GRÁNULO DE CAUCHO (3-6mm)		
Fecha Inicio:	24/06/2019	Ciudad:	Ambato	
Equipo:	Durómetro (Shore D)	Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (UTA)	
Configuración:	B1	Estratificación:	Manual	
Matriz:	Resina de poliuretano	Frac. Volumétrica:	8%	
Refuerzo:	Fibra de caucho reciclado	Frac. Volumétrica:	92%	
N° de probetas:	3	Tipo de probeta:	Moldeada	
Temperatura:	20°C	Dimensiones de la probeta:	30x30x8 mm	
RESULTADOS OBTENIDOS				
N° de ensayo	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
SHORE D	1	8	4,5	
	2	9,5	5,5	
	3	4,5	7,5	
Promedio	7,33	5,83	10,67	
Promedio Final	7,94			
Desv. Est.	2,47			
GRÁFICAS DE RESULTADOS				
Durómetro				
Probetas por ensayar				
Verificación de medidas				
				
Dureza	SHORE D	SHORE A	IRHD	
	7,94	39,70	38,76	
Observaciones:	Excelente fusión entre matriz y refuerzo las probetas presentan irregularidades por ambas caras de probeta por tanto se tomó medidas en partes lisas de la cara inferior			
Elaborado por:	José Benavides	Revisado por:	Ing. Luis Escobar	

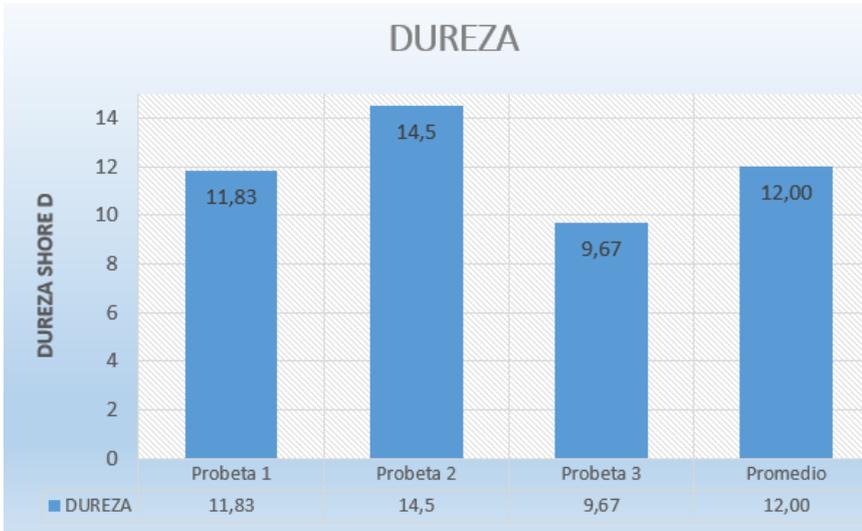
**Fuente:** Autor

**Ficha Técnica 11. Resultados del ensayo de dureza de la configuración B2: 12%  
Resina – 88% Fibra de caucho.**

		OBSERVACIÓN DE DATOS		
		ENSAYO DE DUREZA		
		NORMA – NTE INEN 887		
		GRÁNULO DE CAUCHO (3-6mm)		
Fecha Inicio:	24/06/2019	Ciudad:	Ambato	
Equipo:	Durómetro (Shore D)	Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (UTA)	
Configuración:	B2	Estratificación:	Manual	
Matriz:	Resina de poliuretano	Frac. Volumétrica:	12%	
Refuerzo:	Fibra de caucho reciclado	Frac. Volumétrica:	88%	
N° de probetas:	3	Tipo de probeta:	Moldeada	
Temperatura:	20°C	Dimensiones de la probeta:	30x30x8 mm	
RESULTADOS OBTENIDOS				
N° de ensayo	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
SHORE D	1	8	9,5	
	2	3,5	8,5	
	3	10	5,5	
Promedio	7,17	7,83	10,33	
Promedio Final	8,44			
Desv. Est.	1,67			
GRÁFICAS DE RESULTADOS				
Durómetro 				
Probetas por ensayar 				
Verificación de medidas 				
Dureza	SHORE D	SHORE A	IRHD	
	8,44	41,10	40,10	
Observaciones:	Excelente fusión entre matriz y refuerzo las probetas presentan irregularidades por ambas caras de probeta por tanto se tomó medidas en partes lisas de la cara inferior			
Elaborado por:	José Benavides	Revisado por:	Ing. Luis Escobar	

**Fuente:** Autor

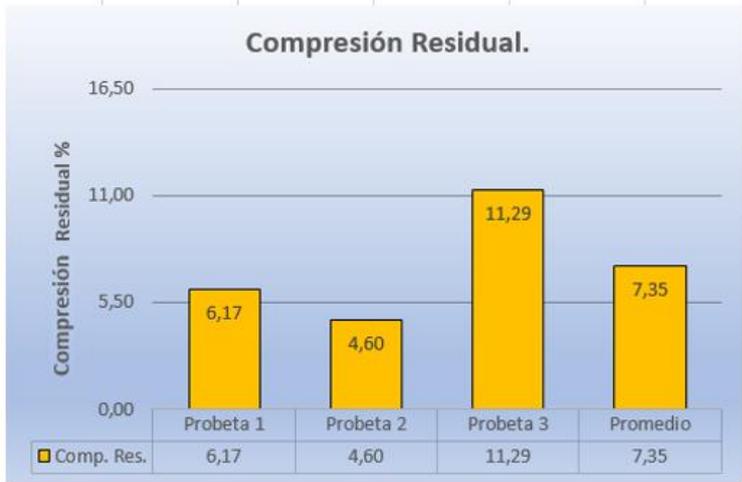
**Ficha Técnica 12. Resultados del ensayo de dureza de la configuración B3: 16% Resina - 14% Polvillo de caucho - 70% Fibra de caucho.**

		OBSERVACIÓN DE DATOS		
		ENSAYO DE DUREZA		
		NORMA – NTE INEN 887		
		GRÁNULO DE CAUCHO (3-6mm)		
Fecha Inicio:	24/06/2019	Ciudad:	Ambato	
Equipo:	Durómetro (Shore D)	Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (UTA)	
Configuración:	B3	Estratificación:	Manual	
Matriz:	Resina de poliuretano	Frac. Volumétrica:	16%	
Refuerzo:	Fibra de caucho reciclado	Frac. Volumétrica:	84%	
N° de probetas:	3	Tipo de probeta:	Moldeada	
Temperatura:	20°C	Dimensiones de la probeta:	30x30x8 mm	
RESULTADOS OBTENIDOS				
N° de ensayo	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
SHORE D	1	14	13	8,5
	2	13,5	13,5	17
	3	8	17	3,5
Promedio	11,83	14,50	9,67	
Promedio Final	12			
Desv. Est.	2,42			
GRÁFICAS DE RESULTADOS				
Durómetro 				
Probetas por ensayar 				
Verificación de medidas 				
Dureza	SHORE D	SHORE A	IRHD	
	12	50	49	
Observaciones:	Excelente fusión entre matriz y refuerzo las probetas presentan irregularidades por ambas caras de probeta por tanto se tomó medidas en partes lisas de la cara inferior			
Elaborado por:	José Benavides	Revisado por:	Ing. Luis Escobar	

**Fuente:** Autor

**4.1.3. Recolección de datos del ensayo de compresión de adoquín flexible disponible en el mercado.**

**Ficha Técnica 13. Resultados del ensayo a compresión de adoquín flexible disponible en el mercado.**

	OBSERVACIÓN DE DATOS			
	ENSAYO A COMPRESIÓN			
	NORMA - NTE INEN 889			
	GRÁNULO DE CAUCHO (1-4 mm)			
Fecha Inicio:	21/06/2019	Ciudad:	Ambato	
Fecha Finalización:	22/06/2019	Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (UTA)	
Equipo:	SHIMADZU concreto 2000X	Equipo de medición:	Reloj comparador micrométrico	
Configuración:	-	Estratificación:	Manual	
Matriz:	Vulcanizado	Frac. Volumétrica:	-	
Refuerzo:	Caucho Puro	Frac. Volumétrica:	-	
N° de probetas:	3	Tipo de probeta:	Moldeada	
Duración de ensayo:	24 horas	Diámetro de probeta:	29±0,5	
Temperatura:	20 °C	Espesor de espaciador:	9,27 mm	
RESULTADOS OBTENIDOS				
Probeta N°	Espesor Inicial (mm)	Espesor Final (mm)	Espesor Espaciador (mm)	Compresión Residual (%)
P1	13,00	12,77	9,27	6,17
P2	13,40	13,21	9,27	4,60
P3	12,99	12,57	9,27	11,29
Promedio	13,13	12,85	9,27	7,35
Desv. Est.	0,17	0,23	-	2,47
GRÁFICAS DE RESULTADOS				
<p>Sistema de Compresión</p> 				
<p>Probetas antes del ensayo</p> 				
<p>Probetas después del ensayo</p> 				
Compresión Residual (%)			7,35	
Observaciones:		Excelente fusión de materiales en adoquines no presenta ningún tipo de defecto después de compresión ya que este adoquín es utilizado para tránsito vehicular por lo que se aceptan todos los resultados		
Elaborado por:	José Benavides	Revisado por:	Ing. Luis Escobar	

**Fuente:** Autor

**4.1.4. Recolección de datos del ensayo de dureza de adoquín flexible disponible en el mercado.**

**Ficha Técnica 14. Resultados del ensayo de dureza de adoquín flexible disponible en el mercado.**

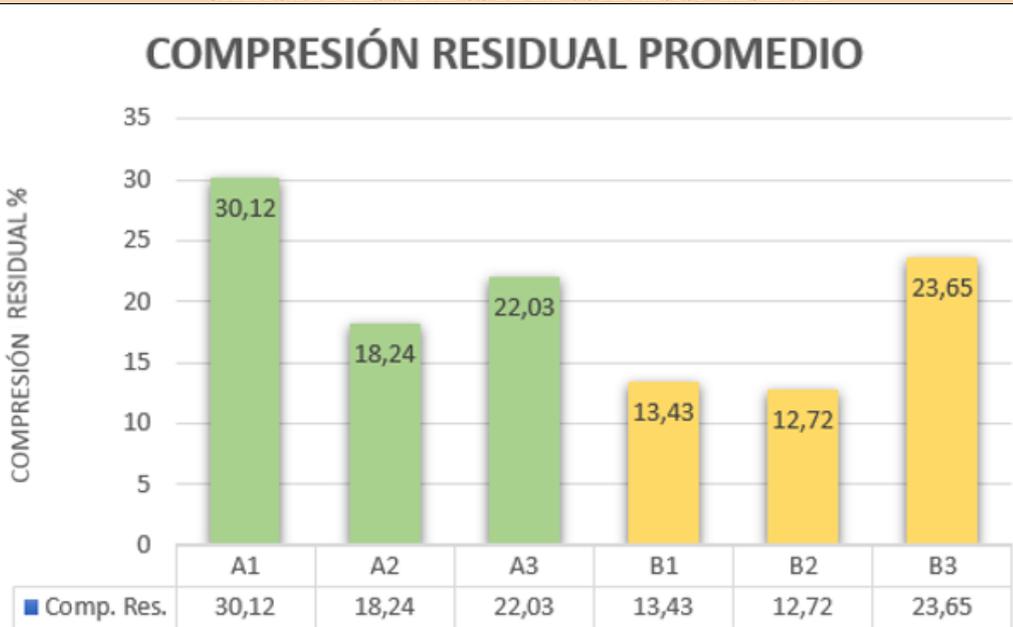
	OBSERVACIÓN DE DATOS			
	ENSAYO DE DUREZA			
	NORMA – NTE INEN 887			
	GRÁNULO DE CAUCHO (3-6mm)			
Fecha Inicio:	24/06/2019	Ciudad:	Ambato	
Equipo:	Durómetro (Shore D)	Lugar:	Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (UTA)	
Configuración:	-	Estratificación:	Manual	
Matriz:	Vulcanizado	Frac. Volumétrica:	-	
Refuerzo:	Caucho Puro	Frac. Volumétrica:	-	
N° de probetas:	3	Tipo de probeta:	Moldeada	
Temperatura:	20°C	Dimensiones de la probeta:	30x30x8 mm	
RESULTADOS OBTENIDOS				
N° de ensayo	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
SHORE D	1	25,50	24,50	
	2	21,50	22,50	
	3	20,00	23,00	
Promedio	22,33	23,33	23,67	
Promedio Final	23,11			
Desv. Est.	0,69			
GRÁFICAS DE RESULTADOS				
Durómetro 				
Probetas por ensayar 				
Verificación de medidas 				
Dureza	SHORE D	SHORE A	IRHD	
	23,11	70,22	71,85	
Observaciones:	Excelente fusión del producto ya que es vulcanizado y no presenta ningún defecto material totalmente duro comparado al del presente estudio.			
Elaborado por:	José Benavides	Revisado por:	Ing. Luis Escobar	

**Fuente:** Autor

## 4.2. Análisis de los resultados

### 4.2.1. Análisis de resultados por ensayos

**Ficha Técnica 15.** Resultados de compresión residual del ensayo a compresión de cada configuración volumétrica para adoquines flexibles.

		OBSERVACIÓN DE DATOS				
		ENSAYO A COMPRESIÓN				
		NORMA – NTE INEN 889				
ANÁLISIS DE LA COMPRESIÓN RESIDUAL PARA CADA CONFIGURACIÓN VOLUMÉTRICA						
Tamaño del gránulo	Composición volumétrica	Esesor inicial (mm)	Esesor final (mm)	Compresión residual (%)		
TIPO A 1 – 4 mm Con y sin polvillo	1	8% resina – 92% gránulo	13,11	11,99	30,12	
	2	12% resina – 88% gránulo	13,09	12,38	18,24	
	3	16% resina – 14% polvillo – 70% gránulo	13,01	12,20	22,03	
TIPO B 3 – 6 mm Con y sin polvillo	1	8% resina – 92% gránulo	13,32	12,77	13,43	
	2	12% resina – 88% gránulo	13,11	11,99	12,72	
	3	16% resina – 14% polvillo – 70% gránulo	13,29	12,34	23,65	
GRÁFICA DE RESULTADOS DE LA COMPRESIÓN RESIDUAL						
COMPRESIÓN RESIDUAL PROMEDIO						
						
■ Comp. Res.	A1	A2	A3	B1	B2	B3
	30,12	18,24	22,03	13,43	12,72	23,65
ANÁLISIS						
<p>Dadas las condiciones que anteceden en compresión residual de todas las configuraciones planteadas se determinó:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La configuración que presentó mejor compresión residual es el Tipo B con una granulometría de 3 a 6 mm, perteneciente al grupo de tamaño de gránulo de mayor tamaño.</li> <li>➤ Tal como se observa la configuración volumétrica con mejor compresión residual es la B2; que corresponde a granulometría de 3 a 6 mm con una composición volumétrica de 12% resina – 88% gránulo con 12,72% de compresión residual.</li> <li>➤ En el grupo B, al que corresponde una granulometría de mayor tamaño, la compresión residual es mejor, con respecto a los casos restantes donde el material se comportó de manera indeterminada en el proceso de compresión.</li> </ul>						

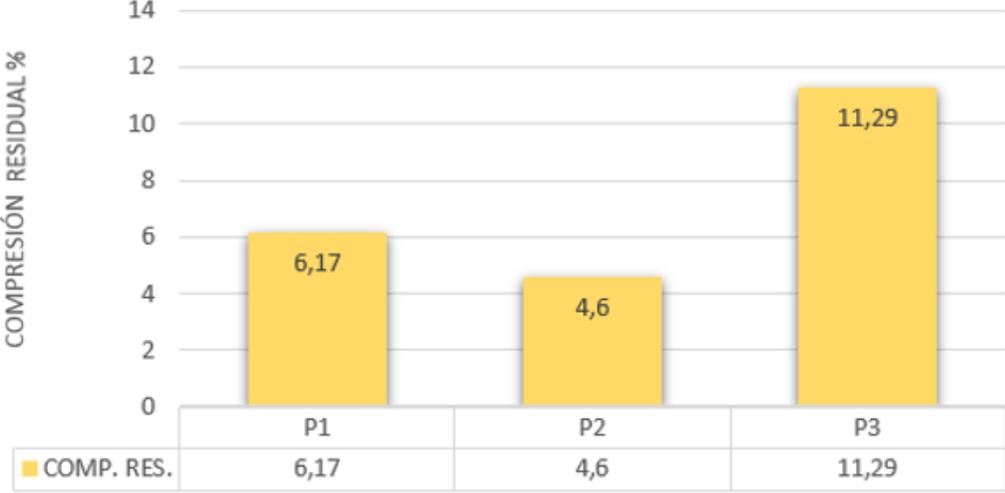
**Fuente:** Autor

**Ficha Técnica 16.** Resultados de dureza shore del ensayo de dureza de cada configuración volumétrica para adoquines flexibles.

	OBSERVACIÓN DE DATOS					
	ENSAYO DE DUREZA					
	NORMA – NTE INEN 889					
ANÁLISIS DE DUREZA PARA CADA CONFIGURACIÓN VOLUMÉTRICA						
Tamaño del gránulo	Composición volumétrica		SHORE D	SHORE A	IRHD	
TIPO A 1 – 4 mm Con y sin polvillo	1	8% resina – 92% gránulo	11,39	48,47	47,47	
	2	12% resina – 88% gránulo	19,95	66,58	65,26	
	3	16% resina – 14% polvillo – 70% gránulo	11,11	47,77	46,77	
TIPO B 3 – 6 mm Con y sin polvillo	1	8% resina – 92% gránulo	7,94	39,70	38,76	
	2	12% resina – 88% gránulo	8,44	41,10	40,10	
	3	16% resina – 14% polvillo – 70% gránulo	12	50	49	
GRÁFICA DE RESULTADOS DE LA COMPRESIÓN RESIDUAL						
DUREZA PROMEDIO						
	A1	A2	A3	B1	B2	B3
■ Dureza	11,39	19,95	11,11	7,94	8,44	12
ANÁLISIS						
<p>Después de las consideraciones anteriores donde se ha evaluado la dureza en todas las configuraciones se determinó:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La dureza aumenta a granulometría menor es decir es más duro con gránulo fino de 1 a 4 mm que corresponde al tipo A; a comparación del tipo B que presenta menor grado de dureza que corresponde a un gránulo más grande y características más blandas.</li> <li>➤ La configuración que presenta más dureza es el de tipo A2 que corresponde a una composición volumétrica de 12% resina y 88% de gránulo de caucho con 19,95 en valores shore D, lo que no requiere nuestra aplicación, por lo tanto, se tomara un valor intermedio entre el valor más blando y duro.</li> <li>➤ Hechas las consideraciones anteriores se asegura que a grano más fino y cantidad de aglutinante la dureza aumenta.</li> </ul>						

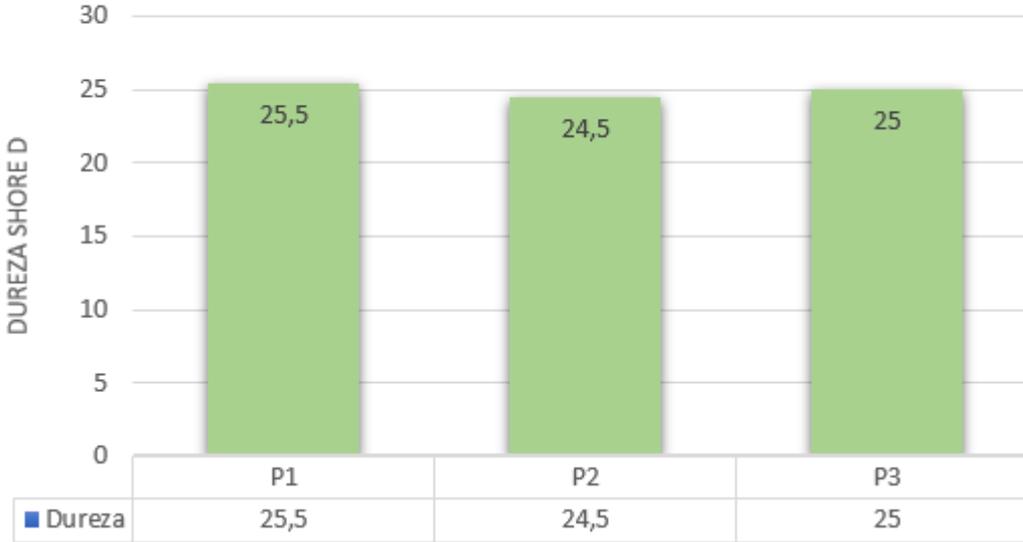
**Fuente:** Autor

**Ficha Técnica 17. Resultados de compresión residual de adoquín comercial ensayado a compresión.**

	<b>OBSERVACIÓN DE DATOS</b>											
	<b>ENSAYO A COMPRESIÓN</b>											
	<b>NORMA – NTE INEN 889</b>											
<b>ANÁLISIS DE LA COMPRESIÓN PARA ADOQUÍN COMERCIAL</b>												
<b>Producto</b>	<b>N° Probetas</b>	<b>Espesor inicial (mm)</b>	<b>Espesor final (mm)</b>	<b>Compresión residual (%)</b>								
Adoquín Betone	P1	13,00	12,77	6,17								
	P2	13,40	13,21	4,60								
	P3	12,99	12,57	11,29								
<b>GRÁFICA DE RESULTADOS DE LA COMPRESIÓN RESIDUAL</b>												
<b>COMPRESIÓN RESIDUAL.</b>												
 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>COMP. RES.</td> <td>P1</td> <td>P2</td> <td>P3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>6,17</td> <td>4,6</td> <td>11,29</td> </tr> </table>					COMP. RES.	P1	P2	P3		6,17	4,6	11,29
COMP. RES.	P1	P2	P3									
	6,17	4,6	11,29									
<b>ANÁLISIS</b>												
<p>Dadas las condiciones que anteceden en compresión residual del adoquín comercial se determinó:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Que este adoquín puede soportar altas presiones de compresión ya que está diseñado para tránsito de vehicular y no existe deformidad notable después de aplicar la misma presión y mismo espesor de espaciador como se desarrolló a las probetas de material compuesto con fibra de caucho reciclado.</li> </ul>												

**Fuente:** Autor

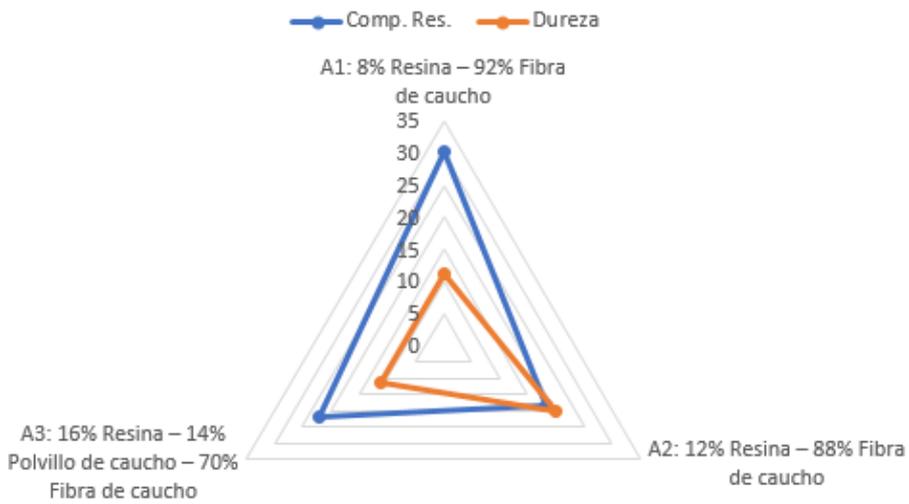
**Ficha Técnica 18.** Resultados de dureza shore D en adoquín comercial con ensayo de dureza.

		OBSERVACIÓN DE DATOS			
		ENSAYO DE DUREZA			
		NORMA – NTE INEN 887			
ANÁLISIS DE DUREZA PARA ADOQUÍN COMERCIAL					
Producto	N° de Probetas	SHORE D	SHORE A	IRHD	
Adoquín betone	P1	25,50	21,5	20,00	
	P2	24,50	22,5	23,00	
	P3	25,00	23,50	22,50	
GRÁFICA DE RESULTADOS DE DUREZA PROMEDIO					
DUREZA PROMEDIO					
					
ANÁLISIS					
<p>Después de las consideraciones anteriores donde se ha evaluado la dureza que brinda el adoquín comercial se determinó:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Al presentar en su configuración una completa fusión de caucho puro en el adoquín comercial este producto presenta una dureza alta lo que es contrario a nuestro estudio donde buscamos adoquines flexibles y blandos para a aplicación de revestimiento de pisos para tránsito peatonal.</li> </ul>					

**Fuente:** Autor

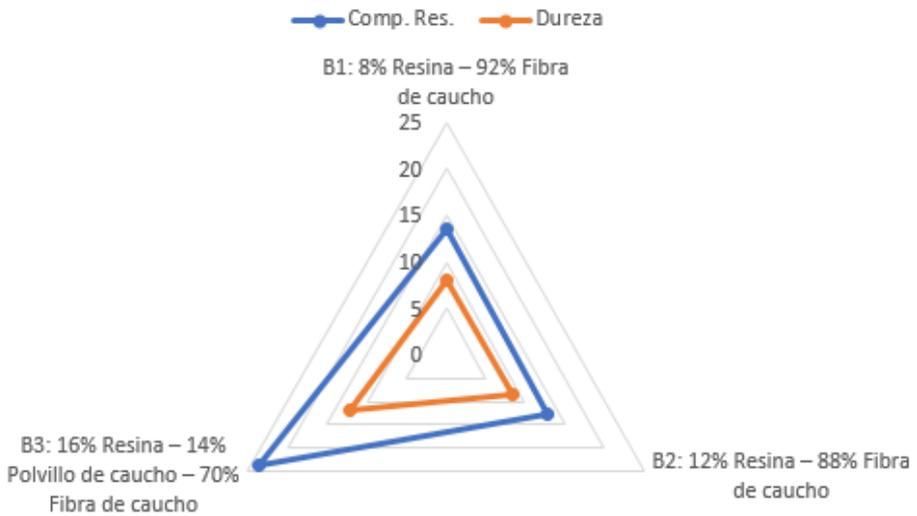
**4.2.2. Análisis de resultados de los ensayos para tipo granulometría de fibra de caucho de neumáticos reciclados.**

**Ficha Técnica 19.** Resultados de ensayos de compresión y dureza de granulometría Tipo A: 1 – 4 mm

	OBSERVACIÓN DE DATOS			
	ENSAYOS COMPRESIÓN DUREZA			
	NORMA – NTE INEN 889 – 887			
	GRANULOMETRÍA TIPO A			
Tamaño del gránulo	Composición Volumétrica		Compresión Residual %	Dureza shore D
Tipo A 1 – 4 mm	A1	8% Resina – 92% Fibra de caucho	30,12	11,39
	A2	12% Resina – 88% Fibra de caucho	18,24	19,95
	A3	16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho	22,03	11,11
GRÁFICA RADIAL DE RESULTADOS - GRÁNULO TIPO A				
				
ANÁLISIS				
<p>Dadas las condiciones que anteceden en la gráfica radial donde se ha evaluado compresión residual y dureza shore D, para el tipo de gránulo de 1 a 4, se determinó lo siguiente:          La configuración volumétrica de material compuesto que presenta mejores características es el tipo A2: 12% Resina – 88% Fibra de caucho.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Compresión residual de 18,24% consideramos mejor al que posee menor compresión residual</li> <li>✓ Dureza shore D de 19,95 considerando la más alta ya que en este no presenta desgrano del caucho.</li> </ul>				

**Fuente:** El autor

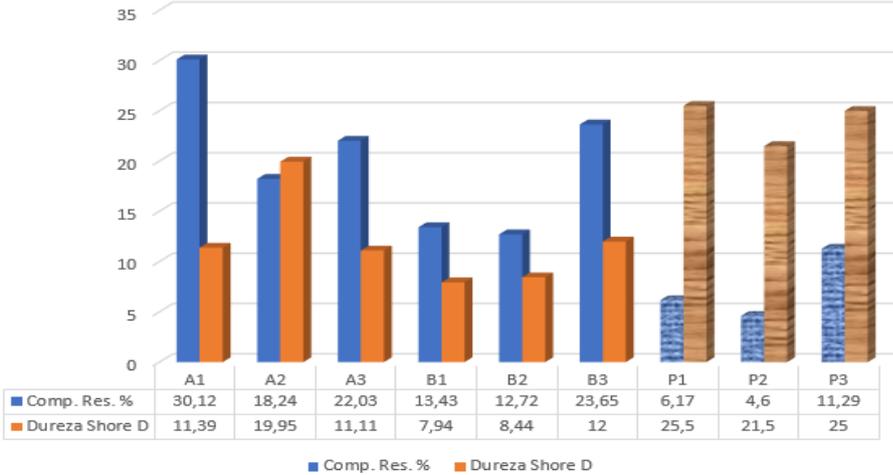
**Ficha Técnica 20.** Resultados de ensayos de compresión y dureza de granulometría Tipo B: 3 – 6 mm.

	OBSERVACIÓN DE DATOS			
	ENSAYOS COMPRESIÓN DUREZA			
	NORMA – NTE INEN 889 – 887			
	GRANULOMETRÍA TIPO B			
Tamaño del gránulo	Composición Volumétrica		Compresión Residual %	Dureza shore D
Tipo A 3 – 6 mm	B1	8% Resina – 92% Fibra de caucho	13,43	7,94
	B2	12% Resina – 88% Fibra de caucho	12,72	8,44
	B3	16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho	23,65	12,00
GRÁFICA DE RESULTADOS GRÁNULO TIPO A				
 <p align="center"> <span style="color: blue;">●</span> Comp. Res.    <span style="color: orange;">●</span> Dureza         </p> <p align="center"> <b>B1: 8% Resina – 92% Fibra de caucho</b>            25            20            15            10            5            0         </p> <p> <b>B3: 16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho</b>      <b>B2: 12% Resina – 88% Fibra de caucho</b> </p>				
ANÁLISIS				
<p>Dadas las condiciones que anteceden en la gráfica radial donde se ha evaluado compresión residual y dureza shore D, para el tipo de gránulo de 3 a 6, se determinó lo siguiente:</p> <p>La configuración volumétrica de material compuesto que presenta mejores características es el tipo B3: 16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Compresión residual de 23,65% consideramos mejor al que posee mayor compresión residual</li> <li>✓ Dureza shore D de 12,00 consideramos mejor por poseer una dureza media, que brinda flexibilidad a nuestros adoquines</li> </ul>				

**Fuente:** El autor

### 4.2.3. Análisis general de los resultados de los ensayos

#### Ficha Técnica 21. Resultados de todos los ensayos.

		OBSERVACIÓN DE DATOS																																
		ENSAYOS COMPRESIÓN Y DUREZA																																
		NORMA – NTE INEN 889 - 887																																
RESULTADOS GENERALES																																		
Tamaño del gránulo	Composición Volumétrica		Compresión Residual %	Dureza Shore D																														
TIPO A 1 -4 mm	A1	8% Resina – 92% Fibra de caucho	30,12	11,39																														
	A2	12% Resina – 88% Fibra de caucho	18,24	19,95																														
	A3	16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho	22,03	11,11																														
Tipo B 3 – 6 mm	B1	8% Resina – 92% Fibra de caucho	13,43	7,94																														
	B2	12% Resina – 88% Fibra de caucho	12,72	8,44																														
	B3	16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho	23,65	12,00																														
Adoquín Betone	P1	Fabricación comercial	6,17	25,50																														
	P2		4,60	24,50																														
	P3		11,29	25,00																														
GRÁFICA DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS (MATERIAL COMPUESTO VS ADOQUÍN COMERCIAL)																																		
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Configuración</th> <th>Comp. Res. %</th> <th>Dureza Shore D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A1</td><td>30,12</td><td>11,39</td></tr> <tr><td>A2</td><td>18,24</td><td>19,95</td></tr> <tr><td>A3</td><td>22,03</td><td>11,11</td></tr> <tr><td>B1</td><td>13,43</td><td>7,94</td></tr> <tr><td>B2</td><td>12,72</td><td>8,44</td></tr> <tr><td>B3</td><td>23,65</td><td>12,00</td></tr> <tr><td>P1</td><td>6,17</td><td>25,50</td></tr> <tr><td>P2</td><td>4,60</td><td>24,50</td></tr> <tr><td>P3</td><td>11,29</td><td>25,00</td></tr> </tbody> </table>					Configuración	Comp. Res. %	Dureza Shore D	A1	30,12	11,39	A2	18,24	19,95	A3	22,03	11,11	B1	13,43	7,94	B2	12,72	8,44	B3	23,65	12,00	P1	6,17	25,50	P2	4,60	24,50	P3	11,29	25,00
Configuración	Comp. Res. %	Dureza Shore D																																
A1	30,12	11,39																																
A2	18,24	19,95																																
A3	22,03	11,11																																
B1	13,43	7,94																																
B2	12,72	8,44																																
B3	23,65	12,00																																
P1	6,17	25,50																																
P2	4,60	24,50																																
P3	11,29	25,00																																
ANÁLISIS																																		
<p>Para un análisis más profundo y determinar cuál es la mejor configuración volumétrica de material compuesto hemos reunido los valores en la gráfica de columna, de la misma manera que se distinguió la mejor configuración para cada tipo de granulometría que fueron: tipo A2: 12% Resina – 88% Fibra de caucho y B3: 16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho.</p> <p>Como se puede entender en la gráfica se reconoce que la mejor configuración de material compuesto con mejores propiedades mecánicas en cuanto a flexibilidad y aplicación para revestimientos de pisos es: B3 con una granulometría (3-6mm) y composición volumétrica de 16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho.</p> <p>Con propiedades mecánicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compresión residual 23,65%</li> <li>• Dureza Shore-D de 12.</li> </ul> <p>Como resultado de este estudio se determinó que esta configuración resulta tener propiedades superiores en cuanto a la elaboración de adoquines flexibles para revestimientos de pisos que el resto de las configuraciones.</p>																																		

Fuente: El autor

#### 4.2.4. Interpretación de resultados

#### Ficha Técnica 22. Ponderación de resultados

		INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS					
		ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y DUREZA					
		NORMA NTE INEN 889 – 887					
PONDERACIÓN DE RESULTADOS DE LAS CONFIGURACIONES ELABORADAS							
Tamaño del gránulo	Composición Volumétrica		Compresión Residual %	$\Delta$	Dureza Shore-D	$\Delta$	Aceptación (10)
Tipo A 1 – 4 mm	A1	8% Resina – 92% Fibra de caucho	30,12	10	11,39	-0,41	10
	A2	12% Resina – 88% Fibra de caucho	18,24	1,79	19,95	8,15	0
	A3	16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho	22,03	2,00	11,11	-0,70	10
Tipo B 3 – 6 mm	B1	8% Resina – 92% Fibra de caucho	13,43	6,60	7,94	-3,87	5
	B2	12% Resina – 88% Fibra de caucho	12,72	7,31	8,44	-3,37	7,5
	B3	16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho	23,65	3,62	12,00	0,20	10
<b>PROMEDIO</b>			20,03		11,81		
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>			6,62		4,32		

Ponderación	
10	ACEPTABLE
5	BUENO
0	RECHAZADO

#### PARÁMETROS DE PONDERACIÓN

Con un valor promedio de las 6 configuraciones volumétricas y su desviación estándar, ponderamos de la siguiente manera:

- Compresión Residual:** se aceptan los valores superiores al promedio y los datos inferiores al promedio correspondientes a la desviación estándar y rechazados los datos inferiores a la desviación estándar
- Dureza:** Se aceptan los datos superiores e inferiores al promedio correspondientes a la desviación estándar y rechazados los datos inferiores a la desviación estándar

**Fuente:** El autor

Como resultado de utilizar la ponderación de resultados, se determina cuáles son las composiciones volumétricas aceptables para la elaboración de adoquines flexibles a partir de fibra de caucho de neumáticos reciclados, ponderando los diferentes ensayos realizados como son compresión y dureza, con una media aritmética que nos indica el valor promedio de los resultados obtenidos de los ensayos cuyo detalle se establece en la ficha técnica 22.

De acuerdo con los razonamientos que se han venido realizado de la ponderación de resultados, se consideró 3 configuraciones aceptables. Las configuraciones que resultados aceptables fueron: Tipo A1: 8% Resina – 92% Fibra de caucho, Tipo A3: 16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho y Tipo B3: 16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho, de estas la que presenta mejores propiedades mecánicas y características visuales es el tipo B3 con las siguientes características:

- Con una compresión residual de 23,65% siendo un valor intermedio se afirma que el material mediamente se deforma al someter a compresión.
- Con un valor de dureza intermedia en Shore-D de 12,00, obtenemos una dureza media para los adoquines y su aplicación para revestir pisos.

Hecha la observación anterior se determina la configuración más óptima seleccionada tiene un tamaño de gránulo de 3 a 6 mm, con una composición volumétrica de 16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho, la designación para esta configuración es B3.

### **4.3. Ensayo de inflamabilidad**

Para el ensayo de inflamabilidad se planteó realizarlo con la configuración volumétrica del material compuesto más óptimo y características mecánicas mejores a las del resto de configuraciones; ante la situación planteada la mejor configuración de material para realizar el ensayo fue el tipo B3, con una granulometría de 3 a 6 mm y una composición de material de: 16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho. Este ensayo se llevó a cabo en los

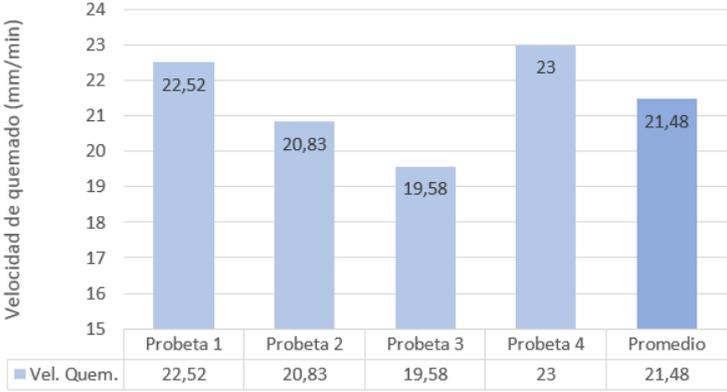
laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi chico.

El personal capacitado del laboratorio de mecánica resalto las siguientes observaciones que se efectuaron para realizar el ensayo:

- Se colocaron unas líneas de referencia en las probetas, una a 25mm y 100mm desde el borde donde se empleará el mechero.
- La llama del mechero consiguió alcanzar las líneas referenciales puestas antes de iniciar el ensayo, con una llama visible durante todo el proceso.
- La llama deberá sobrepasar la marca de referencia de 25 mm para iniciar a medir el tiempo de quemado hasta la longitud que esta recorrerá.
- Los datos que nos brinda la norma sirven para medir y detallar la respuesta que tiene el material compuesto frente al calor bajo condiciones controladas y establecidas por la misma, esta no expone los factores de riesgo de incendio en condiciones reales.

Detallamos los datos obtenidos del ensayo de inflamabilidad en la ficha técnica 23.

**Ficha Técnica 23.** Resultados del ensayo de inflamabilidad de la mejor configuración de material compuesto B3: 16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho.

		REGISTRO DE DATOS														
		ENSAYO DE INFLAMABILIDAD														
		NORMA ASTM-D635														
		GRANULOMETRÍA (3 – 6 mm)														
Fecha:	02/07/19	Ciudad:	Ambato													
Equipo:	Mechero Bunsen	Lugar:	Laboratorios (FICM)													
Configuración:	B3	Estratificación:	Manual													
Matriz:	Resina poliuretano	Fracción Volumétrica:	16%													
Refuerzo:	Fibra de caucho reciclado	Fracción Volumétrica:	84%													
Número de probetas:	4	Temperatura:	20° C													
Dimensiones de la probeta:	125x13x5 mm	Humedad:	70 %													
RESULTADOS																
N° Probeta	Espesor (mm)	Longitud recorrida de llama (mm)	Tiempo de quemado (mm: seg)	Velocidad de quemado (mm/min)												
1	5,11	75,00	3,20	22,52												
2	5,05	75,00	3,36	20,83												
3	5,10	75,00	3,50	19,58												
4	5,01	75,00	3,16	23,00												
Promedio			3,31	21,48												
GRÁFICA DE RESULTADOS																
<p>Inicio del ensayo</p> 		<p align="center"><b>INFLAMABILIDAD</b></p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>Vel. Quem. (mm/min)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Probeta 1</td> <td>22,52</td> </tr> <tr> <td>Probeta 2</td> <td>20,83</td> </tr> <tr> <td>Probeta 3</td> <td>19,58</td> </tr> <tr> <td>Probeta 4</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>21,48</td> </tr> </tbody> </table>			Probeta	Vel. Quem. (mm/min)	Probeta 1	22,52	Probeta 2	20,83	Probeta 3	19,58	Probeta 4	23	Promedio	21,48
Probeta	Vel. Quem. (mm/min)															
Probeta 1	22,52															
Probeta 2	20,83															
Probeta 3	19,58															
Probeta 4	23															
Promedio	21,48															
<p>Final del ensayo</p> 																
Velocidad de quemado (mm/min)		21,48														
Observaciones:		Fusión de matriz y refuerzo buena no presenta inconvenientes las probetas														
Elaborado por:		José Benavides	Revisado por:	Ing. Luis Escobar												

**Fuente:** El autor

#### 4.4. Verificación de la hipótesis

Teniendo todos los datos analizados y tabulados de los diferentes ensayos practicados en el material compuesto y revisado de manera minuciosa e interpretando los resultados de todo esto, procedemos a verificar la hipótesis planteada la cual se ha verificado de una manera comparativa y estadística con la aplicación de la distribución T-Student.

##### **Ho (Hipótesis Nula)**

La elaboración de adoquines flexibles a partir de fibra de caucho de neumáticos reciclados no permitirá el revestimiento pisos.

##### **Ha (hipótesis alternativa)**

La elaboración de adoquines flexibles a partir de fibra de caucho de neumáticos reciclados permitirá el revestimiento pisos.

Para comprobar la hipótesis se utilizó una prueba bilateral de 2 colas con una significancia del 5% y nivel de confianza del 95%, para el cálculo de probabilidad utilizando la ecuación 9.

$$P = \frac{\alpha}{100} \quad \text{Ec.9}$$

**Donde:**

P= probabilidad

$\alpha$ = nivel de significancia

$$P = \frac{5}{100}$$

$$P = 0,05$$

Dividimos para dos la probabilidad para obtener la prueba bilateral.

$$P = \frac{0,05}{2}$$

$$P = 0,025$$

Utilizamos ecuación 10. Para calcular los grados de libertad.

$$Gl = n1 + n2 - 2 \quad \text{Ec.10}$$

**Donde:**

Gl= grados de libertad

n= número de muestras (3 muestras)

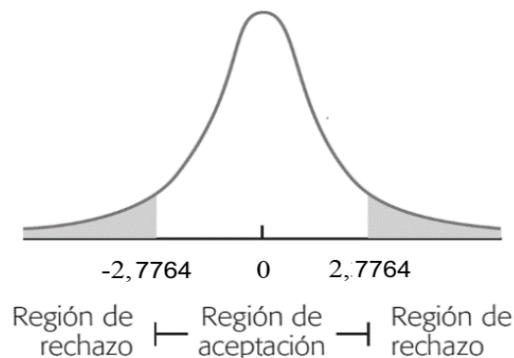
$$Gl = 3 + 3 - 2$$

$$Gl = 4$$

Con la tabla de distribución T-Student que se muestra en el Anexo F y los datos de prueba bilateral y grados libertad determinamos el valor tabulado.

$$t_{tab} = 2,7764$$

La hipótesis nula  $H_0$  se admite, cuando el valor (t) se encuentre dentro del rango de aceptación de -2,7764 a 2,7764, caso contrario se acepta Hipótesis alternativa  $H_a$ .



**Figura 19.** Distribución T-Student

**Fuente:** Autor

**Verificación de hipótesis del ensayo a compresión; Tipo B3 y B2 con granulometría de 3 a 6 mm.**

Para la verificación de hipótesis se consideró los materiales con mejor configuración volumétrica para cada uno de los ensayos.

**Tabla 41.** Detalle de las configuraciones del ensayo a compresión.

Tipo	Granulometría	Composición volumétrica
B3	3 a 6 mm	16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho
B2	3 a 6 mm	12% Resina – 88% Fibra de caucho

Fuente: Autor

**Tabla 42.** Detalle de compresión residual del ensayo a compresión.

N° Probetas	B3: Compresión Residual (%)	B2: Compresión Residual (%)	Diferencia de Promedios
1	19,85	10,44	
2	25,33	10,57	
3	25,78	17,13	
Promedio	23,65	12,72	10,93
Desviación Estándar	2,33	2,71	

Fuente: El autor

Varianza utilizando ecuación 11.

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad \text{Ec. 11}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{(3-1)2,33^2 + (3-1)2,71^2}{4}}$$

$$S_p = 2,04$$

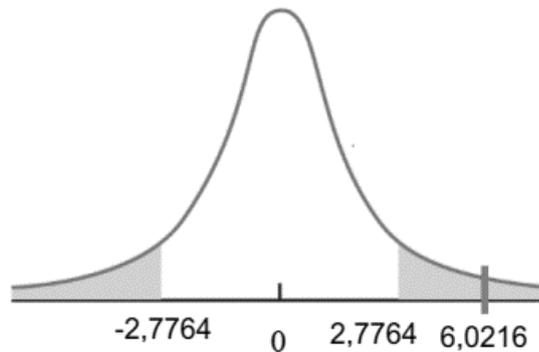
t calculado, utilizando ecuación 12.

$$t_{\text{cal}} = \frac{H}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad \text{Ec. 12}$$

$$t_{\text{cal}} = \frac{10,93}{2,04 \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{3}}}$$

$$t_{\text{cal}} = 6,0216$$

$$t_{\text{cal}} = 6,0216 > t_{\text{tabl}} = 2,7764$$



**Figura 20.** Campana de distribución de ensayo a compresión para verificar hipótesis

**Fuente:** El autor

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  debido al que el valor  $t_{\text{calculado}}$  es mayor que el  $t_{\text{tabulado}}$ .

Debido a esto se acepta a hipótesis alternativa  $H_a$  que dice: La elaboración de adoquines flexibles a partir de fibra de caucho de neumáticos reciclados permitirá el revestimiento pisos.

**Verificación de hipótesis del ensayo de dureza; Tipo B3 y A2 con granulometría de 3 a 6 mm y 1 a 4 respectivamente.**

Para la verificación de hipótesis se consideró los materiales con mejor configuración volumétrica para cada uno de los ensayos.

**Tabla 43.** Detalle de las configuraciones del ensayo de dureza.

Tipo	Granulometría	Composición volumétrica
B3	3 a 6 mm	16% Resina – 14% Polvillo de caucho – 70% Fibra de caucho
A2	1 a 4 mm	12% Resina – 88% Fibra de caucho

**Fuente:** Autor

**Tabla 44.** Detalle de compresión residual del ensayo a compresión.

N° Probetas	B2: Compresión Residual (%)	B3: Compresión Residual (%)	Diferencia de Promedios
1	17,67	11,83	
2	19,17	14,50	
3	23,00	9,67	
Promedio	19,95	12,00	7,95
Desviación Estándar	2,75	2,42	

**Fuente:** El autor

Varianza utilizando ecuación 11.

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{gI}} \quad \text{Ec. 13}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{(3-1)2,75^2 + (3-1)2,42^2}{4}}$$

$$S_p = 2,59$$

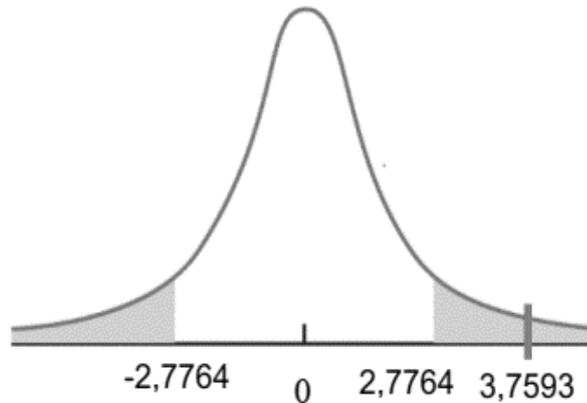
t calculado, utilizando ecuación 12.

$$t_{\text{cal}} = \frac{H}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad \text{Ec. 14}$$

$$t_{\text{cal}} = \frac{7,95}{2,59 \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{3}}}$$

$$t_{\text{cal}} = 3,7593$$

$$t_{\text{cal}} = 3,7593 > t_{\text{tabl}} = 2,7764$$



**Figura 21.** Campana de distribución de ensayo de dureza para verificar hipótesis

**Fuente:** El autor

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  debido a que el valor  $t_{\text{calculado}}$  es mayor que el  $t_{\text{tabulado}}$ .

Debido a esto se acepta a hipótesis alternativa  $H_a$  que dice: La elaboración de adoquines flexibles a partir de fibra de caucho de neumáticos reciclados permitirá el revestimiento pisos.

### **Sumario de resultados para verificación de hipótesis**

En la tabla 44 se difunde un resumen de los resultados obtenidos de los ensayos de compresión y dureza para verificar la hipótesis por medio de la aplicación de T-Student, la cual muestra de una manera detallada las hipótesis que fueron aceptadas y rechazadas

**Tabla 45.** Resumen de verificación de hipótesis para los ensayos de compresión y dureza

<b>Tipo de ensayo</b>	<b>t - tabulado</b>	<b>t - calculado</b>	<b>Ho – Hipótesis nula</b>	<b>Ha – Hipótesis alternativa</b>
Compresión	2,7764	6,0216	Se rechaza	Se acepta
Dureza	2,7764	3,7593	Se rechaza	Se acepta

**Fuente:** El autor

Puesto que la hipótesis nula se rechaza en los dos casos se acepta la hipótesis alternativa debido a que los valores t calculados en compresión y dureza son mayores; por ende, la hipótesis alternativa se acepta en todos los casos la cual dice:

La elaboración de adoquines flexibles a partir de fibra de caucho de neumáticos reciclados permitirá el revestimiento pisos.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- A partir de la fibra de caucho de neumáticos reciclados se elaboró adoquines flexibles con mejores propiedades mecánicas en compresión y flexibilidad en comparación con el adoquín comercial (betone) que utiliza caucho puro vulcanizado y que presenta mayor dureza y menor compresión residual.
- Se estableció para el material compuesto el aglutinante, resina de poliuretano, el mismo que tuvo una excelente fusión entre matriz y refuerzo, con la cantidad adecuada de 16% de resina frente al refuerzo de fibra de caucho con 84%; presentando una flexibilidad óptima para la elaboración de adoquines con características como bajo costo de producción, maleabilidad, compresión y dureza.
- Determinamos que a menor cantidad de aglutinante el material es más propenso a desgranarse y a no establecer una correcta fusión de matriz y refuerzo, por el otro lado a una cantidad mayor de 16% el material compuesto viene a adquirir mayor dureza y por lo tanto disminuye su flexibilidad.
- Mientras menor sea la granulometría aplicada como refuerzo a la matriz, el valor de la dureza aumenta y disminuye la compresión.
- Los adoquines que presentan mayor dureza son los de Tipo A con 4,15 shore-D frente a los de Tipo B con 9,46 dureza shore-D que presentaron características acordes a los objetivos de la investigación.
- Los adoquines que presentan una mayor resistencia a la compresión son los de configuración volumétrica Tipo B, con granulometría de 3 a 6 mm, presentando una mayor deformación, con una compresión residual promedio de 16,60%; que los del tipo A que presentaron un promedio de 23,46% los cuales se deforman menos pero no son tan flexibles, como resultado de este análisis se establece

que la granulometría adecuada para la elaboración de adoquines flexibles es la de 3 a 6 m

- Con los porcentajes establecidos de aglutinante y caucho, se estableció el material compuesto para revestimiento de pisos, es el tipo B3 con una granulometría de 3 a 6 mm y con una composición volumétrica de 16% de resina de poliuretano, 14% polvillo de caucho y 70% de fibra de caucho con las siguientes características:
  - Con una compresión residual de 23,65% siendo un valor intermedio se afirma que el material mediamente se deforma al someter a compresión.
  - Con un valor de dureza intermedia en Shore-D de 12,00, obtenemos una dureza media para los adoquines y su aplicación para revestir pisos.
  - Con una velocidad de quemado de 21,48 mm/min
- Como resultado final, la mejor configuración volumétrica se consideró que el material compuesto puede tener múltiples aplicaciones industriales entre las principales es para el revestimiento de pisos ya que presentó mejores beneficios frente al adoquín comercial de caucho disponible en el mercado.
- El uso del caucho reciclado en la elaboración de adoquines ayuda a mitigar la contaminación ambiental por neumáticos fuera de uso.

## **5.2. Recomendaciones**

Al concluir la presente investigación, se recalcan ciertas recomendaciones a tomar en cuenta para la elaboración de adoquines flexibles.

- Que esta investigación no sea el fin del análisis y aplicaciones que podemos dar al caucho reciclado en sí, a los derivados de los neumáticos fuera de su uso, como son los residuos de alambre y tela.
- Verificar mediante un proceso de prefabricación la fusión entre matriz y refuerzo donde se verifique que el material compuesto cumpla las expectativas a analizar.
- Durante el proceso de moldeo de adoquines flexibles se recomienda utilizar algún tipo de desmoldante sea líquido o en cera para facilitar la extracción del material compuesto luego de su proceso de secado.

- Se debe eliminar todo tipo de residuo o lubricante en el momento de desmoldeo que los adoquines no tengan ninguna presencia de otra sustancia y estén libres de defectos.
- La mezcla de matriz (resina de poliuretano) y refuerzo (fibra de caucho) debe ser homogénea, es decir que la matriz se encuentre dispersa por todo el refuerzo para así no tener problemas en la compactación de los adoquines
- Se recomienda para la mezcla de matriz y refuerzo una espátula la misma que deberá estar humedecida en agua jabonosa para que no exista adherencia del material compuesto en el proceso.
- Se sugiere para futuras investigaciones construir un sistema encargado de mezclar de manera uniforme la resina y la fibra de caucho para que este tenga una mejor distribución del aglutinante en el caucho.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] El Comercio, Las llantas tienen más opciones de reciclaje, Quito: Ecuador, 2018.
- [2] Hidalgo Laguna, Daniel Estalin; Poveda Calderón, Ricardo Andrés, «Obtención de adoquines fabricados con vidrio reciclado como agregado,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2013.
- [3] G. Calle, «Determinación de las propiedades mecánicas,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.utp.edu.co/~gcalle/FLEXION.pdf>.
- [4] R. Ortiz y Y. Aguirre, Aplicación del ensayo de madurez a, Bogotá : Bogotá, 2013.
- [5] S. Kosmalka, B. Kerkhoff, W. Panarese y J. Tanesi, Diseño y Control de Mezclas, EE.UU: Illinois, 2014.
- [6] S. Higuera y O. Pacheco, Patología de Pavimentos Articulado, Colombia: Tunja, 2010.
- [7] S. d. I. E. Centroamericana, Manual Centroamericano para diseño de pavimentos, SIECA, 2012.
- [8] H. Ayala, Estudio de factibilidad para la fabricación y comercialización de productos en caucho reciclado de llantas usadas. Adoquines de caucho, vinil de caucho, Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2013.
- [9] S. d. I. E. Centroamericana, Manual Centroamericano de Especialistas para la construcción de carreteras y puentes regionales, SIECA , 2014.
- [10] A. Cuzco, ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS ENTRE, Quito-Ecuador: Universidad Central del Ecuador, 2015.
- [11] G. Castro, Materiales y compuestos para la industria del neumático, España: Madrid, 2008.
- [12] S. Diana, «Fabricación de láminas impermeables a partir de caucho reciclado utilizando espuma de poliuretano,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2013.
- [13] M. Stefany, Técnicas de revestimientos de pisos y paredes, Maracay, 2017.
- [14] R. Chugá y F. Valencia, Materiales de construcción. Revestimiento de pisos, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2016.

- [15] Ministerio del Ambiente, «Ministerio del Ambiente,» 20 Febrero 2013. [En línea]. Available: <http://www.ambiente.gob.ec/la-gestion-integral-de-neumaticos-usados-optimiza-recursos-para-el-manejo-seguro-de-desechos/>. [Último acceso: 03 Diciembre 2018].
- [16] B. N. Armas Juan, «Estudio de factibilidad para la fabricación y comercialización de productos en caucho reciclado de llantas usadas, adoquines de caucho y vinil de caucho en la ciudad de Quito.,» Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2013.
- [17] L. Patricio, «Estudio de la aplicación potencial de compuestos obtenidos con residuos de caucho reciclado provenientes de continental tire andina como materiales estructurales,» Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2013.
- [18] S. L. Gómez Laura, «Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos,» Universidad de Medellín, Medellín, 2011.
- [19] M. Joffre, «Análisis comparativo de la resistencia a compresión entre un adoquín convencional y adoquines preparados con diferentes fibras: sintética (polipropileno), orgánica (estopa de coco), inorgánica (vidrio),» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2016.
- [20] A. Neyva, «Utilización de fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de bloques de mampostería para mitigar el impacto ambiental en el cantón Ambato,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2011.
- [21] S. Plazas y G. Gamba, CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ADOQUINES DE, Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas , 2015.
- [22] Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma técnica INEN 1487; Adoquines, requisitos, Quito: Escuela Politécnica Nacional , 2014.

# **ANEXOS**

# ANEXO 1

## NTE INEN 889, Norma para ensayo a compresión.

CDU 678.063:678.01:620.173



MC 10.01-303

Norma Ecuatoriana	CAUCHO. DETERMINACION DE LA COMPRESION RESIDUAL.	INEN 889
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar la compresión residual de cauchos vulcanizados de dureza 30 y 85 IHRD.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p>2.1 Esta norma se aplica para determinar la capacidad de los cauchos para retener las propiedades elásticas después de compresión prolongada bajo presión constante. Para cauchos con dureza mayor a 85 IHRD, es posible que no se pueda conseguir una compresión del 25<sup>o</sup> sin producir daños, razón por la cual no se aplica el método a tales cauchos.</p> <p>2.2 Esta norma no se aplica para ensayos de deformación rápida, resultante de fuerzas intermitentes.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DEFINICIONES</b></p> <p>3.1 Esfuerzo de compresión. Aquel resultante de la aplicación de una carga que produce acortamiento o contracción de la probeta en la misma dirección de la carga (fuerza).</p> <p style="text-align: center;"><b>4. METODO DE ENSAYO</b></p> <p>4.1 <b>Principio.</b> La probeta debidamente preparada se somete a compresión y, luego de determinado período, se retira la carga. Se miden los espesores de la probeta antes y después de la aplicación de la carga.</p> <p>4.2 <b>Instrumental</b></p> <p>4.2.1 <i>Troqueles y cuchillas.</i> Utilizados para cortarlas probetas; deben tenerlos filos cortantes en buen estado, libres de dobleces o golpes que puedan dejar rastro en la probeta cortada. Un ejemplo de conjunto apropiado para el corte se presenta en la figura 1.</p> <p>4.2.2 <i>Instrumento de medida.</i> Para el espesor, consiste en un reloj comparador micrométrico, con los elementos de contacto formados por una plataforma de 9,5 mm de diámetro y una esfera de 6,35 mm, o preferentemente por dos contactos esféricos de un radio de 12,5 mm, formados en cilindros de aproximadamente 10 mm de diámetro. El reloj debe tener la escala graduada en divisiones de 0,01 mm y cumplir con las normas pertinentes. El reloj comparador debe trabajar bajo una fuerza de <math>850 \pm 30</math> mN. Los dos tipos de contacto pueden dar lugar a diferentes lecturas, lo cual se debe a la concavidad de la superficie en la probeta, después de la comparación.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p>		

**4.2.3 Aparato de compresión.** Consta de dos placas paralelas, lisas y altamente pulidas, de acero inoxidable o recubiertas de cromo. La probeta se sitúa entre las dos placas. Las placas deben ser rígidas, de modo que soporten la carga sin flejar, y de tamaño adecuado para asegurar que todas las probetas ensayadas se cubran totalmente. El acabado de las superficies debe corresponder a una rugosidad media  $R_a = 4\mu\text{m}$ . Las placas deben sujetarse mediante tornillos de tamaño adecuado, provistos de espaciadores de acero, en forma de anillos, para evitar contacto con las probetas, y del espesor requerido para dar la compresión especificada. El espesor de otros espaciadores debe ser de  $4,37 \pm 0,01$  mm para probetas del tipo 1 y de  $9,38 \pm 0,01$  mm para probetas del tipo 2 (ver numeral 4.3). Cuando se aplica lubricación, las superficies de las placas deben recibir solamente lubricantes, que no tengan acción sobre el caucho. Para la mayoría de los casos, es apropiado usar fluidos de fluorosilicona con viscosidad cinemática (aproximada)  $0,01 \text{ m}^2/\text{s}$ . Conjuntos apropiados se representan en las figuras 2 y 3.

**4.2.4 Horno.** De aire, de calefacción uniforme, capaz de mantener al aparato de compresión y a las probetas dentro de la tolerancia de temperatura establecida en el numeral 4.4.4.

### 4.3 Probetas

**4.3.1** Las probetas pueden ser de uno de los dos tipos especificados a continuación. Usar en lo posible el tipo 2 para mayor exactitud. Los dos tipos de probetas no producen necesariamente los mismos valores de compresión residual, por lo cual debe evitarse la comparación de valores obtenidos en los dos tipos de probetas.

**4.3.2 Tipo 1.** Disco cilíndrico de  $13,0 \pm 0,5$  mm de diámetro y  $6,3 \pm 0,3$  mm de espesor, preparados por moldeo o cortado. El corte debe efectuarse por medio de una cuchilla giratoria o por un troquel rotativo, circular, lubricado con agua jabonosa y aplicado cuidadosamente sobre el caucho, que debe estar montado rigidamente sobre madera, u otro material apropiado. Debe mantenerse baja la presión de corte para evitar deformaciones del caucho durante la operación. Se determina que para ciertos cauchos existe diferencia en los resultados, dependiendo de que la probeta sea moldeada o cortada y, en último caso, si el corte se efectúa antes o después del curado.

**4.3.3 Tipo 2.** Disco cilíndrico de  $29 \pm 0,5$  mm de diámetro y  $12,5 \pm 0,5$  mm de espesor, preparado de conformidad con 4.3.2.

**4.3.4** Se pueden usar probetas de material laminado, que cumplan con 4.3.2 o 4.3.3, hechas de 2 a 4 discos sobrepuestos (para tipo 1) y de 2 a 7 (para tipo 2). Estas probetas no dan por lo general los mismos resultados de compresión residual que un disco único.

### 4.4 Procedimiento

**4.4.1** Si existen textiles adhesivos en la muestra, deberán quitarse antes de cortar la probeta. El método de separación debe evitar el uso de líquidos absorbibles, pero se puede usar benceno, cloroformo o tetra cloruro de carbono (o cualquier otro líquido no tóxico - volátil) para humedecer las superficies de contacto. Se debe tener cuidado de no estirar el caucho durante la separación de los textiles, y el líquido debe evaporarse completamente después de la separación. Las superficies que tengan marcas del tejido, deben pulirse. Las piezas moldeadas deben limpiarse y no deben presentar ni líquidos lubricantes

(Continúa)

ni polvo en su superficie. Los ensayos no deben realizarse antes de las primeras 16 horas después de la vulcanización, ni después de 800 horas. Para productos vulcanizados, sin precisar cuando, el período máximo deberá ser de 800 horas después de recibido el producto por el cliente. Las muestras y probetas de ensayo deben protegerse de la luz, en el período comprendido entre el vulcanizado y el ensayo. Las probetas deben condicionarse a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , por lo menos 3 horas antes del ensayo. Si son pulidas, deberán usarse dentro de las 72 horas siguientes al pulimentado.

**4.4.2** El espesor de las probetas debe medirse con el instrumento de 4.2.2 en el centro de la misma.

**4.4.3** Colocar 3 probetas tipo 1 simétricamente (ver figura 2) o una de tipo 2 exactamente en el centro (ver figura 3), juntamente con el espaciador adecuado, entre las placas del aparato, a temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . En cualquier caso, deben usarse tres probetas para la determinación. Los tornillos (o tornillo) deben apretarse de modo que las placas se aproximen paralelamente hasta que hagan contacto con los espaciadores. Inmediatamente, introducir todo el conjunto en un horno, situarlo en el centro del mismo, estando alcanzada ya la temperatura de ensayo.

**4.4.4** La temperatura, durante el período de compresión, debe ser una de las siguientes:  $70 \pm 1^\circ\text{C}$ ;  $85 \pm 1^\circ\text{C}$ ;  $100 \pm 1^\circ\text{C}$ ;  $125 \pm 2^\circ\text{C}$ ;  $150 \pm 2^\circ\text{C}$ ;  $175 \pm 2^\circ\text{C}$ ;  $200 \pm 2^\circ\text{C}$ ;  $225 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $250 \pm 2^\circ\text{C}$ .

**4.4.5** La duración del período de compresión debe ser de  $24_{-2}^0$  horas para ensayos a  $20^\circ\text{C}$ .

**4.4.6** Al finalizar el período de compresión, aflojar los tornillos y retirar las probetas. Transferirlas rápidamente a un banco de madera donde deben reposar por  $30 \pm 3$  minutos a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Medir nuevamente el espesor de las probetas. Cortar luego las probetas en dos partes por un diámetro y comprobar la existencia o no de defectos internos, tales como burbujas de aire. Si existen defectos, descartar el ensayo.

#### 4.5 Resultados

$$C = \frac{t_o - t_f}{t_o - t_s} \times 100$$

**4.5.1** Calcular la compresión residual bajo carga constante como sigue:

Donde:

- C = compresión residual;
- $t_o$  = espesor original de la probeta;
- $t_f$  = espesor final de la probeta;
- $t_s$  = espesor del espaciador.

Promediar aritméticamente los resultados de las tres probetas.

(Continúa)

**4.5.2** Hacer un reporte de ensayo que contenga:

- a) la compresión residual calculada según 4.5.1;
- b) tipo de probeta usado, moldeada o cortada, de una o varias láminas;
- c) valores de  $t_c$  y  $t_r$  ;
- d) duración y temperatura del ensayo;
- e) estado de lubricación de las placas; y
- f) tipo de instrumento de medida.

*(Continúa)*

## ANEXO 2

### NTE INEN 887, Norma para ensayo de dureza.

CDU 678.4/678.7.620.1



MC 10.01-301

Norma Ecuatoriana	CAUCHO. DETERMINACIÓN DE LA DUREZA (ESCALA IRHD).	INEN 887 1982-10			
<b>1. OBJETO</b>					
<p><b>1.1</b> Esta norma establece el método de ensayo para la determinación de la dureza de productos de caucho vulcanizado.</p>					
<b>2. ALCANCE</b>					
<p><b>2.1</b> Esta norma se aplica a caucho de dureza entre 50 y 85 IRHD y puede usarse también para rangos entre 30 y 95 IRHD.</p> <p><b>2.2</b> Esta norma no se aplica a cauchos muy blandos o muy duros, que serán objeto de las otras normas.</p>					
<b>3. METODO DE ENSAYO</b>					
<p><b>3.1 Principio.</b> El ensayo de la dureza consiste en medir la diferencia de indentación de la esfera en el caucho, una vez bajo carga pequeña y otra bajo carga elevada. De esta diferencia se determina el valor de la dureza internacional del caucho (internacional rubber hardness degress - IRHD), de una tabla (o de un gráfico) o de una escala para lectura directa en grados de dureza IRHD, fijada en el instrumento de indentación. (ver también Anexo A).</p>					
<b>3.2 Instrumental</b>					
<p><b>3.2.1</b> El aparato para medición de la dureza debe constar de los siguientes dispositivos, con las dimensiones y fuerzas de la Tabla 1.</p> <p><b>3.2.1.1</b> Eje vertical que tenga una bola rígida o superficie esférica en la parte inferior, con mecanismo para sujetar el eje de modo que la superficie esférica se pueda mantener ligeramente sobre la superficie antes de aplicar la fuerza.</p>					
<b>TABLA 1. Fuerzas y dimensiones del instrumental</b>					
Ensayo	Diámetros	Fuerza en la superficie esférica			Fuerza en el pie
		contacto	intentado	total	
Normal	mm	N	N	N	N
	esfera 2,38±0,01 pie - 20 ± 1 perfor. 6±1 o también esfera 2,5±0,01 pie 20 ± 1 perfor. 6 ± 1	0,30 ± 0,02	5,23 ± 0,01	5,53 ± 0,3	8,3 ± 1,5
Micro	mm	mN	mN	mN	mN
	esfera 0,365 ± 0,005 pie 3,35 ± 0,15 perfor. 1,00 ± 0,15	8,3 ± 0,5	145 ± 0,5	153 ± 1	235 ± 30

(Continúa)

**3.2.1.2** Dispositivo para aplicación de la fuerza de contacto y de indentación con margen para soportar el peso del eje vertical y de cualquier accesorio o mecanismo requerido, o de resortes que actúen sobre él, de modo que se puedan aplicar fuerzas especificadas sobre la superficie esférica.

**3.2.1.3** Dispositivos, mecánicos, eléctricos u ópticos para medir el incremento de la profundidad de indentación de la superficie esférica, causada por aplicación de la fuerza, ya sea con lectura en unidades métricas o directamente en grados IRHD.

**3.2.1.4** Pie anular plano, perpendicular al eje vertical, con perforación central para paso del eje. El pie se apoya sobre la probeta de ensayo y ejerce sobre esta una presión de  $0,3 \pm 0,05$  bar, siempre que la fuerza total sobre el pie no esté fuera de los establecidos en la Tabla 1; el pie está conectado rígidamente con el dispositivo de medición de la indentación, de modo que se mide el movimiento relativo del eje respecto al pie (esto, es, del tope de la superficie esférica), no relativo a la superficie que soporta a la probeta.

**3.2.1.5** Medios para evitar la fricción en el instrumental, que puede omitirse en aparatos muy precisos.

**3.2.1.6** Cámara de ensayo para la probeta, cuando el ensayo se realiza a temperaturas diferentes que las normalizadas para el laboratorio. Esta cámara debe estar equipada con dispositivos para mantener la temperatura en un valor, determinado  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Debe permitir colocar el pie y el eje del instrumento de medición en el interior de la cámara. Se requiere un sensor en el interior, en la proximidad de la pieza a ensayarse, para medir la temperatura.

**3.3 Probeta.** La probeta debe tener las caras superior e inferior planas, lisas y paralelas. Los ensayos que deben ser comparados con otros, deben llevarse a cabo en probetas del mismo espesor. Para obtener el espesor necesario, está permitido sobreponer dos piezas de caucho, pero no más de dos, siempre y cuando las superficies sean paralelas.

**3.3.1 Probeta para ensayo normal.** Debe tener entre 8 y 10mm de espesor, en casos especiales se permiten otros espesores, pero no menos de 4 mm. Las dimensiones laterales de probetas normalizadas (8 a 10mm de espesor) o de probetas fuera de norma deben ser tales, que el ensayo debe hacerse a distancia menor del borde de la pieza, según lo establecido en la Tabla 2.

**TABLA 2. Distancias laterales mínimas**

Espesor total de la probeta	Distancia mínima del punto de impacto al borde de la probeta
mm	mm
4	7,0
6	8,0
8	9,0
10	10,0
15	11,5
25	13,0

(Continúa)

**3.3.2 Probeta para micro - ensayo:** La probeta normalizada debe tener un espesor de  $2,0 \pm 0,5$  mm. Debido a los efectos variables en el endurecimiento de la superficie del caucho y de cualquier rugosidad superficial, no se obtendrá resultados exactamente iguales a los determinados, con probetas para ensayo normal. Un espesor en el intervalo 1,6 a 2,0 mm puede producir medidas iguales, pero no siempre es éste el caso. Se pueden utilizar probetas más gruesas o más delgadas, pero no menos de 1 mm. Las dimensiones laterales deben ser tales, que no tomen mediciones menos de 2 mm del borde de la probeta. Piezas curvadas: (anillos) por ejemplo, se pueden ensayar con el micro ensayo, pero los valores no son comparables a los de las probetas planas. Cuando se ensayan probetas de espesor mayor a 4 mm en el micro - ensayo, debido a que las dimensiones laterales no permiten el ensayo normal, el micro - ensayo se aplicará lo más lejos posible de los bordes de la probeta.

### **3.3.3 Otras condiciones de la probeta**

**3.3.3.1** Los ensayos no deben llevarse a cabo dentro de las primeras 16 horas subsiguientes al vulcanizado y, en caso de arbitrio, no más de 72 horas después de la vulcanización. Cuando el ensayo se realiza en un laboratorio normalizado, las probetas deberán ser mantenidas en las condiciones de ensayo, por lo menos 3 horas inmediatamente antes de proceder al ensayo. Cuando los ensayos se llevan a cabo a más o menos temperatura que las normalizadas, las probetas deberán mantenerse en las condiciones de ensayo por un período que permita que las probetas adquieran equilibrio térmico con el ambiente de ensayo, o por el tiempo requerido en la norma específica del producto, en caso de haberla.

**3.3.3.2** El ensayo debe llevarse a cabo a temperaturas normalizadas de laboratorio. Estas temperaturas son:  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ;  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ;  $27 \pm 2^\circ\text{C}$ .

### **3.4 Procedimiento**

**3.4.1** Controlar que la probeta cumpla las condiciones de 3.3. Las superficies superior e inferior de la probeta deben polverse ligeramente con talco fino y colocárselas sobre una superficie plana rígida. Aplicar el pie del instrumento sobre la probeta. Aplicar luego la fuerza sobre la esfera (o superficie esférica) durante 5 minutos, y también la fuerza de contacto.

**3.4.1.1** Si la lectura es directa en grados de la dureza IRHD, la escala deberá ajustarse para que marque 100 al final del período de 5 segundos. La fuerza adicional de indentación debe aplicarse después y mantenerse por 30 segundos. Leer luego el valor directamente en la escala.

**3.4.1.2** Si la lectura es en unidades métricas, la diferencia D de las indentaciones (en centésimas de milímetro) causadas por el eje vertical a causa de la fuerza de indentación, aplicada durante 30 segundos, deberá ser registrada. Este valor se convierte en dureza IRHD mediante la Tabla 3. Para el micro -ensayo, debe multiplicarse el valor D por seis, antes de convertirlo en dureza IRHD.

**3.4.2** Durante los períodos de ensayo, hacer vibrar todo el instrumento de ensayo, para vencer cualquier fricción de los mecanismos.

**3.4.3** Se tomarán tres o cinco diferentes puntos de medición sobre la superficie ensayada.

(Continúa)

**3.5 Resultados**

**3.5.1** La dureza en grados IRHD es el número entero más aproximado (ver nota 1) a la media aritmética de los tres o cinco valores medidos.

**3.5.2** El reporte de ensayo debe incluir:

- a) dimensiones de la probeta y la declaración de estar constituida por una o dos piezas.
- b) temperatura de ensayo;
- c) tipo de superficie ensayada (moldeada, pulida, etc); y
- d) tipo de aparato usado (normal - micro) .

*(Continúa)*

**ANEXO 3**

**Informe de ensayo de inflamabilidad, por parte del Laboratorio de la  
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
INGENIERÍA MECÁNICA**

**INFORME DE ENSAYO DE INFLAMABILIDAD  
SEGÚN NORMA ASTM D635**

**JULIO DE 2019  
AMBATO – ECUADOR**

ORDEN 210

HOJA 1

#### ANTECEDENTES:

Con fecha 01 de Julio de 2019, el Sr. Jose Benavides, domiciliado en la ciudad de Salcedo – Cotopaxi, solicita al Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para realizar la prueba de inflamabilidad según la norma ASTM D635, la cual especifica los métodos de prueba estándar para la tasa de combustión y / o la extensión y el tiempo de combustión de plásticos en una posición horizontal

Se reciben 5 muestras o probetas ingresadas bajo el nombre de: **(Resina de poliuretano combinado con fibra de caucho reciclado)** de aspecto compuesto del 16% de matriz y 84% de refuerzo. Por anverso: color negro claro con superficie irregular; por reverso: color negro oscuro, superficie rugosa. Las muestras tienen dimensiones promedias de: 125 mm de largo, 13 mm de ancho y espesor de 5.1 mm.

#### PROCESO GENERAL:

Según lo indica el método, la prueba de inflamabilidad se realizó sobre sus respectivas submuestras, las cuales se prepararon y manipularon de acuerdo a lo señalado en la norma ASTM D635.

Las pruebas se efectuaron dentro de una cámara extractora de gases, en cuyo interior las muestras se colocaron de manera horizontal en su respectivo, soporte dentro de la cámara de combustión con una inclinación de 45°.

Para proporcionar la llama se utilizó un mechero bunsen y gas GLP.

Se efectuaron los ensayos con las réplicas solicitadas y los datos fueron registrados y tabulados.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

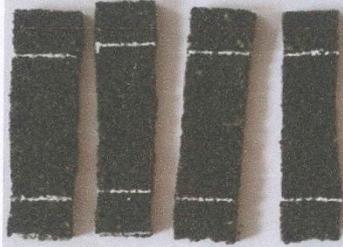
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

**Centro de Transferencia y Tecnología**
**FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**
**DATOS INFORMATIVOS:**

<b>Fecha:</b>	04/07/2019	<b>Ciudad:</b>	Ambato
<b>Lugar:</b>	Laboratorios de Materiales de la FICM	<b>Campus Huachi</b>	
<b>Máquina:</b>	Banco de pruebas CTT-FICM		
<b>Realizado por:</b>	Ing. Gustavo Pomaquero	<b>Revisado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas

**PARÁMETROS DE ENSAYO**

<b>Tipo de Ensayo:</b>	Prueba de Inflamabilidad	<b>Norma:</b>	ASTM D635
<b>Tipo de material:</b>	Resina de poliuretano combinado con fibra de caucho reciclado.		
<b>Dimensiones (mm):</b>	125 x 13 x 5.1	<b>Nº de probetas:</b>	4


**Conjunto de muestras antes de las pruebas**
**Resultados según la norma ASTM D635**

N- De Probetas	Espesor (mm)	Distancia (mm)	Tiempo (min)	Tasa de combustión (mm/min)
A	5.11	75	3.20	22.52
B	5.05	75	3.36	20.83
C	5.1	75	3.50	19.58
D	5.01	75	3.16	23
Promedio				21.48

**Observaciones:** Durante el proceso de combustión la llama es no es auto - extingible. Se percibe al inicio una emisión moderada de humo con presencia de hollín y se mantiene durante todo el tiempo de combustión. Además, se observó que existe desprendimiento del material en la combustión de las probetas elastómeras debido a que la matriz de poliuretano no está enlazada entre sí. No obstante, el proceso de combustión fue homogéneo.



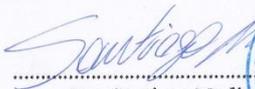
Muestra durante el ensayo.

**Conclusiones:**

- Según la especificación de la normativa ASTM D635 se realizó el ensayo de inflamabilidad con lo cual se puede estimar una tasa de combustión promedio de 21.84 mm/min para las 4 muestras del material conformado por: Resina de poliuretano combinado con fibra de caucho reciclado.
- La combustión fue uniforme alcanzando en todas las probetas la marca de 25 mm, además se tomaron los tiempos mostrados en los datos luego de haber pasado dicha marca y llegando para las 4 probetas la combustión completa.

  
Ing. Gustavo Pomaquero  
TÉCNICO LABORATORISTA

  
Ing. Sebastián Villegas  
JEFE DE LABORATORIO

  
Ing. Santiago Medina  
COORDINADOR DE CTT



## ANEXO 4

### Informe de ensayo a compresión, por parte del Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

		RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESION			
NORMA – NTE INEN 889					
GRANULO DE CAUCHO (1-4 y 3-6 mm)					
Fecha Inicio:	20/06/2019	Ciudad:	Ambato		
Fecha Finalización:	21/06/2019	Lugar:	Laboratorios de la Facultad de ingeniería Civil y Mecánica (UTA)		
Equipo:	SHIMADZU concreto 2000X	Equipo de medición:	Reloj comparador micrométrico		
Configuración:	TIPO A Y TIPO B	Estratificación:	Manual		
Matriz:	Resina de poliuretano	Frac. Volumétrica:	8%		
Refuerzo:	Fibra de caucho reciclado	Frac. Volumétrica:	92%		
N° de probetas:	3	Tipo de probeta:	Moldeada		
Duración de ensayo:	24 horas	Diámetro de probeta:	29±0,5		
Temperatura:	20 °C	Espesor de espaciador:	9,27 mm		
RESULTADOS OBTENIDOS TIPO A1					
Tiempo (seg)	Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo Axial (Mpa)	Deformación (%)	
0	0,00890096	0	0,01321919	0	
1	0,02161662	0,006	0,03210375	0,0457666	
5	0,00794729	0,06975	0,01180285	0,5320367	
10	0,0111262	0,152875	0,01652399	1,166095	
15	0,02829234	0,236	0,04201814	1,800153	
20	0,01589457	0,319125	0,02360569	2,434211	
25	0,02829234	0,40225	0,04201814	3,068269	
30	0,041008	0,485375	0,0609027	3,702327	
35	0,04037221	0,5685	0,05995847	4,336385	
40	0,05245209	0,651625	0,0778988	4,970442	
45	0,0667572	0,73475	0,09914392	5,604501	
50	0,09091695	0,817875	0,1350246	6,238559	
55	0,08519491	0,901125	0,1265265	6,873569	
60	0,1007716	0,984125	0,1496601	7,506675	
65	0,1138051	1,06725	0,1690168	8,140733	
70	0,1204809	1,150375	0,1789312	8,77479	
75	0,1262029	1,233375	0,1874292	9,407895	
80	0,1424154	1,3165	0,2115071	10,04195	
85	0,1481374	1,39975	0,2200051	10,67696	
90	0,1424154	1,482875	0,2115071	11,31102	
95	0,1824697	1,565875	0,2709934	11,94413	
100	0,1688004	1,649	0,2506925	12,57819	
105	0,1754761	1,73225	0,2606069	13,2132	
110	0,1818339	1,81525	0,2700492	13,8463	
115	0,1983643	1,8985	0,2945991	14,48131	
120	0,2009074	1,981625	0,298376	15,11537	
125	0,210762	2,064875	0,3130116	15,75038	
130	0,2244314	2,147875	0,3333125	16,38349	
135	0,2295176	2,231	0,3408662	17,01755	
140	0,2422333	2,314125	0,3597508	17,6516	
145	0,2393723	2,39725	0,3555018	18,28566	
150	0,2536774	2,480375	0,3767469	18,91972	
155	0,2628962	2,563625	0,3904382	19,55473	

160	0,272433	2,6465	0,4046016	20,18688
170	0,2892812	2,812875	0,4296237	21,45595
175	0,3070831	2,896	0,4560621	22,09001
180	0,3032684	2,979125	0,4503967	22,72407
185	0,8665721	4,913875	1,286983	37,48189
190	3,477097	7,399875	5,163982	56,44451
195	19,06776	9,486876	28,31834	72,36366
<b>RESULTADOS OBTENIDOS TIPO A1.2</b>				
<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Fuerza (kN)</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>	<b>Esfuerzo Axial (Mpa)</b>	<b>Deformación (%)</b>
0	-0,00572205	-0,000125	-0,00863315	-0,00093563
1	0,04037221	0,005875	0,06091166	0,04397456
5	0,0333786	0,06962501	0,05036003	0,5211452
10	0,04704793	0,15275	0,07098366	1,143338
15	0,04609426	0,235875	0,06954481	1,765532
20	0,0594457	0,319125	0,08968882	2,38866
25	0,05912781	0,402375	0,08920921	3,011789
30	0,07915497	0,48525	0,1194252	3,632111
35	0,08869171	0,5683751	0,1338138	4,254304
40	0,08964539	0,6515	0,1352527	4,876498
45	0,10554	0,734625	0,1592336	5,498691
50	0,1118978	0,817875	0,168826	6,121819
55	0,1179377	0,900875	0,1779388	6,743076
60	0,1242956	0,9842501	0,1875312	7,367142
65	0,1293818	1,067125	0,1952051	7,987463
70	0,1382828	1,150375	0,2086344	8,610591
75	0,1487732	1,2335	0,2244619	9,232785
80	0,1490911	1,3165	0,2249415	9,854042
85	0,1614888	1,39975	0,2436466	10,47717
90	0,1675288	1,482875	0,2527594	11,09936
95	0,1738866	1,566	0,2623518	11,72156
100	0,1900991	1,649125	0,2868124	12,34375
105	0,1834234	1,73225	0,2767404	12,96594
110	0,1926422	1,815375	0,2906493	13,58814
115	0,2047221	1,898625	0,3088748	14,21127
120	0,2047221	1,9815	0,3088748	14,83159
125	0,2117157	2,06475	0,3194264	15,45472
130	0,2279282	2,147875	0,3438871	16,07691
135	0,2301534	2,231	0,3472444	16,6991
140	0,2352397	2,314125	0,3549183	17,3213
145	0,243187	2,397125	0,3669088	17,94255
150	0,2504984	2,480375	0,37794	18,56568
155	0,2638499	2,563375	0,398084	19,18694
160	0,2816518	2,646625	0,4249427	19,81007

170	0,2895991	2,81275	0,4369332	21,05352
175	0,3032684	2,896	0,4575568	21,67665
180	0,3080368	2,979125	0,4647512	22,29884
185	0,8134842	4,916875	1,227346	36,80296
190	2,595266	7,511375	3,915612	56,22287
195	11,43487	9,435	17,25239	70,62126

**RESULTADOS OBTENIDOS TIPO A1.3**

Tiempo (seg)	Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo Axial (Mpa)	Deformación (%)
0	0,00890096	0	0,01327353	0
1	0,04482269	0,006	0,06684173	0,0462963
5	0,05340576	0,06975	0,0796412	0,5381945
10	0,07851919	0,152875	0,1170915	1,179591
15	0,07502238	0,236125	0,1118769	1,821952
20	0,09250641	0,31925	0,1379499	2,463349
25	0,1068115	0,402375	0,1592824	3,104745
30	0,114123	0,485625	0,1701857	3,747107
35	0,1312892	0,56875	0,1957846	4,388504
40	0,1351039	0,65175	0,2014733	5,028935
45	0,1742045	0,735	0,259782	5,671296
50	0,1694361	0,818	0,2526712	6,311728
55	0,1808802	0,901125	0,2697372	6,953125
60	0,1700719	0,9842501	0,2536193	7,594522
65	0,2063115	1,067375	0,3076616	8,235919
70	0,2126694	1,1505	0,3171426	8,877316
75	0,2269745	1,2335	0,3384751	9,517747
80	0,2260208	1,316875	0,3370529	10,16107
85	0,2346039	1,4	0,3498524	10,80247
90	0,2511342	1,483125	0,3745033	11,44387
95	0,2574921	1,566125	0,3839844	12,0843
100	0,2791087	1,64925	0,4162201	12,72569
105	0,275294	1,732375	0,4105314	13,36709
110	0,3000895	1,815375	0,4475077	14,00752
115	0,2950033	1,89875	0,4399228	14,65085
120	0,3792445	2,143625	0,5655473	16,54032
125	1,239141	4,68575	1,847866	36,15548
130	4,906972	6,80125	7,317511	52,47878
135	24,22619	8,826626	36,12724	68,10668

**RESULTADOS OBTENIDOS TIPO A2.1**

Tiempo (seg)	Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo Axial (Mpa)	Deformación (%)
0	-0,0038147	0	-0,00573567	0
1	0,0518163	0,005875	0,07790952	0,04488159
5	0,0705719	0,069875	0,1061099	0,5338044
10	0,0928243	0,152875	0,139568	1,167876

15	0,125885	0,235875	0,1892771	1,801948
20	0,1173019	0,319125	0,1763719	2,43793
25	0,1649857	0,4025	0,2480678	3,074867
30	0,1614888	0,485625	0,24281	3,709893
35	0,187556	0,568625	0,2820038	4,343965
40	0,1910527	0,651625	0,2872615	4,978037
45	0,219663	0,734875	0,330279	5,614019
50	0,2266566	0,818	0,3407944	6,249045
55	0,243187	0,901125	0,365649	6,884072
60	0,263532	0,984125	0,3962393	7,518143
65	0,2721151	1,067375	0,4091445	8,154126
70	0,2813339	1,150375	0,4230057	8,788197
75	0,2953211	1,235	0,4440365	9,423223
80	0,386556	1,48225	0,5812146	11,32353
85	1,021385	4,02125	1,535726	30,72002
90	2,994537	6,615	4,502501	50,53476
95	22,02384	9,1905	33,11441	70,21009
<b>RESULTADOS OBTENIDOS TIPO A2.2</b>				
Tiempo (seg)	Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo Axial (Mpa)	Deformación (%)
0	0,00222524	0	0,00334811	0
1	0,1398722	0,00625	0,2104526	0,0484872
5	0,1735687	0,07025	0,2611525	0,5449961
10	0,1703898	0,153375	0,2563695	1,189876
15	0,1986821	0,236375	0,2989383	1,833786
20	0,2218882	0,3195	0,3338543	2,478666
25	0,2349218	0,40275	0,3534646	3,124515
30	0,2435048	0,485875	0,3663788	3,769395
35	0,2619425	0,569	0,3941202	4,414275
40	0,2759298	0,6521251	0,4151655	5,059155
45	0,2851486	0,7352501	0,4290362	5,704034
50	0,3039042	0,8182501	0,457256	6,347944
55	0,5089442	1,62	0,7657604	12,56788
60	1,138369	4,21325	1,712797	32,68619
65	4,38118	6,802375	6,591948	52,7725
70	46,53994	9,354626	70,02426	72,57274
<b>RESULTADOS OBTENIDOS TIPO A2.3</b>				
Tiempo (seg)	Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo Axial (Mpa)	Deformación (%)
0	-0,01525879	0	-0,02273906	0
1	0,3989538	0,006375	0,5945317	0,04800452
5	0,5677541	0,9326251	0,8460824	7,022779
10	0,9600322	3,526125	1,430666	26,55215
15	2,149264	6,117875	3,202892	46,06834
20	12,24359	8,6975	18,24573	65,49323

RESULTADOS OBTENIDOS TIPO A3.1				
Tiempo (seg)	Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo Axial (Mpa)	Deformación (%)
0	-0,01780192	0	-0,02708196	0
1	0,1802444	0,006375	0,2742049	0,04814955
5	0,187556	0,07012501	0,2853278	0,5296451
10	0,193278	0,153375	0,2940328	1,158422
15	0,1910527	0,236375	0,2906475	1,78531
20	0,1920064	0,3195	0,2920983	2,413142
25	0,1789729	0,40275	0,2722704	3,041918
30	0,1996358	0,485875	0,3037049	3,669751
35	0,1977285	0,569	0,3008032	4,297583
40	0,2018611	0,652	0,3070901	4,924471
45	0,1986821	0,735125	0,302254	5,552304
50	0,1983643	0,8183751	0,3017704	6,18108
55	0,2202988	0,9013751	0,3351393	6,807969
60	0,2094905	0,984625	0,3186967	7,436746
65	0,2183914	1,067625	0,3322377	8,063634
70	0,2222061	1,150875	0,3380409	8,69241
75	0,234286	1,234	0,356418	9,320243
80	0,2231598	1,317	0,3394917	9,947131
85	0,2272924	1,400375	0,3457786	10,57685
90	0,2295176	1,48325	0,3491639	11,20279
95	0,2406438	1,5665	0,3660901	11,83157
100	0,2463659	1,649625	0,374795	12,4594
105	0,2381007	1,732625	0,3622213	13,08629
110	0,2533595	1,81575	0,3854343	13,71412
115	0,2485911	1,899	0,3781803	14,3429
120	0,254631	1,98225	0,3873688	14,97168
125	0,2555847	2,065125	0,3888196	15,59762
130	0,2495448	2,148375	0,3796311	16,2264
135	0,2520879	2,2315	0,3835	16,85423
140	0,2705256	2,314625	0,4115491	17,48206
145	0,2797445	2,3975	0,4255737	18,10801
150	0,2806982	2,48075	0,4270245	18,73678
155	0,2857844	2,564	0,4347622	19,36556
160	0,2902349	2,647125	0,4415327	19,99339
170	0,2978643	2,81325	0,4531393	21,24811
175	0,3887812	3,24075	0,5914507	24,47696
180	1,072884	5,833	1,632172	44,05589
185	4,367828	8,057375	6,644753	60,85631
RESULTADOS OBTENIDOS TIPO A3.2				
Tiempo (seg)	Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo Axial (Mpa)	Deformación (%)
0	-0,01398722	0	-0,02103079	0
1	0,1198451	0,006375	0,1801956	0,04945694

5	0,1252492	0,07012501	0,1883212	0,5440264
10	0,1277924	0,15325	0,192145	1,188906
15	0,1379649	0,236	0,2074401	1,830877
20	0,1484553	0,319625	0,2232132	2,479635
25	0,1560847	0,40275	0,2346845	3,124515
30	0,1564026	0,485875	0,2351625	3,769395
35	0,1665751	0,568875	0,2504576	4,413305
40	0,1703898	0,652	0,2561933	5,058185
45	0,181516	0,7352501	0,2729223	5,704034
50	0,1846949	0,8183751	0,277702	6,348914
55	0,1916885	0,9013751	0,2882175	6,992825
60	0,1942317	0,9845001	0,2920412	7,637704
65	0,2063115	1,06775	0,3102041	8,283553
70	0,2158483	1,150875	0,3245434	8,928433
75	0,2072652	1,233875	0,3116381	9,572343
80	0,2237956	1,317125	0,3364927	10,21819
85	0,2377828	1,400375	0,3575235	10,86404
90	0,2349218	1,483375	0,3532217	11,50795
95	0,2450943	1,5665	0,3685168	12,15283
100	0,2520879	1,649625	0,3790323	12,79771
105	0,2581278	1,732625	0,3881137	13,44162
110	0,2616247	1,816	0,3933714	14,08844
115	0,2651215	1,898875	0,3986291	14,73138
120	0,2730688	1,982125	0,4105784	15,37723
125	0,2835592	2,065125	0,4263515	16,02114
130	0,2889633	2,14825	0,434477	16,66602
135	0,2784729	2,231375	0,4187039	17,3109
140	0,2959569	2,314625	0,4449925	17,95675
145	0,4851023	3,2335	0,7293861	25,08534
150	1,079559	5,82425	1,623195	45,18425
155	3,765106	8,412126	5,661107	65,26086
<b>RESULTADOS OBTENIDOS TIPO A3.3</b>				
Tiempo (seg)	Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo Axial (Mpa)	Deformación (%)
0	-0,00540415	0	-0,00818167	0
1	0,1214345	0,00625	0,1838469	0,0484872
5	0,1227061	0,07012501	0,185772	0,5440264
10	0,1398722	0,153125	0,2117608	1,187936
15	0,1525879	0,236375	0,2310118	1,833786
20	0,15227	0,3195	0,2305305	2,478666
25	0,1637141	0,402625	0,2478564	3,123545
30	0,1691182	0,48575	0,2560381	3,768425
35	0,1780192	0,568875	0,2695138	4,413305
40	0,1945496	0,652	0,29454	5,058185
45	0,1916885	0,7352501	0,2902086	5,704034

50	0,1983643	0,8183751	0,3003154	6,348914
55	0,2190272	0,9015	0,3315982	6,993793
60	0,2231598	0,9845001	0,3378548	7,637704
65	0,234286	1,067625	0,3546994	8,282584
70	0,2377828	1,150625	0,3599934	8,926495
75	0,263532	1,233875	0,3989767	9,572343
80	0,2590815	1,317125	0,3922388	10,21819
85	0,2622604	1,400125	0,3970515	10,8621
90	0,2772013	1,483375	0,4196714	11,50795
95	0,283877	1,566375	0,4297782	12,15186
100	0,2911886	1,649625	0,4408475	12,79771
105	0,2985001	1,73275	0,4519168	13,44259
110	0,3245672	1,842	0,4913814	14,29015
115	1,060804	4,321	1,606013	33,52211
120	3,621737	6,5365	5,483161	50,70985
125	5,183856	7,120875	7,848145	55,2434
130	6,828944	7,507626	10,33874	58,2438
135	8,538564	7,795125	12,92704	60,47421
140	10,04569	8,022751	15,20876	62,24011
145	12,02043	8,123	18,19843	63,01785
150	13,41279	8,161375	20,30642	63,31555
155	15,09857	8,20975	22,85862	63,69085
160	16,68262	8,28975	25,25681	64,31148
170	20,09583	8,457376	30,42425	65,61191
175	21,55654	8,535001	32,63571	66,21412
180	23,2509	8,606	35,2009	66,76493
185	24,89153	8,6675	37,68476	67,24205
190	26,85261	8,72325	40,65374	67,67456
195	28,35115	8,77425	42,92247	68,07021
200	30,0595	8,824	45,50884	68,45617
205	31,80663	8,868125	48,15393	68,79848
210	33,36334	8,908501	50,51073	69,11172
215	35,08727	8,945625	53,12068	69,39973
220	36,53463	8,980625	55,31192	69,67126
225	38,37236	9,013375	58,09417	69,92532
230	39,81495	9,045251	60,2782	70,17262
235	41,47593	9,07575	62,79286	70,40923
240	43,06952	9,104876	65,20549	70,63519
245	44,93141	9,131875	68,02431	70,84464
250	46,38068	9,156876	70,21844	71,0386
255	47,98667	9,180751	72,64984	71,22382
260	49,72553	9,203125	75,28242	71,3974
265	51,39701	9,225125	77,81296	71,56808
270	53,01126	9,24625	80,25687	71,73196
275	54,588	9,267	82,644	71,89294

RESULTADOS OBTENIDOS TIPO BL1				
Tiempo (seg)	Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo Axial (Mpa)	Deformación (%)
0	-0,00190735	0	-0,00283462	0
1	0,1045863	0,00625	0,1554316	0,04767353
5	0,111262	0,07012501	0,1653528	0,5348971
10	0,120163	0,153375	0,178581	1,169909
15	0,1131693	0,236375	0,1681874	1,803013
20	0,1192093	0,3195	0,1771637	2,437071
25	0,1290639	0,40275	0,1918092	3,072083
30	0,1246134	0,48575	0,1851951	3,705187
35	0,1293818	0,569	0,1922817	4,340199
40	0,146548	0,6521251	0,2177933	4,974257
45	0,1417796	0,7352501	0,2107067	5,608315
50	0,1567205	0,8183751	0,2329112	6,242373
55	0,1519521	0,9013751	0,2258247	6,875477
60	0,1621246	0,9845001	0,2409427	7,509535
65	0,1627604	1,06775	0,2418875	8,144547
70	0,164032	1,15075	0,2437773	8,777651
75	0,1624425	1,234	0,2414151	9,412663
80	0,1627604	1,31725	0,2418875	10,04767
85	0,1777013	1,40025	0,264092	10,68078
90	0,1773834	1,483375	0,2636196	11,31484
95	0,1866023	1,566375	0,2773203	11,94794
100	0,1983643	1,649625	0,2948004	12,58295
105	0,1964569	1,73275	0,2919658	13,21701
110	0,1939138	1,81575	0,2881863	13,85011
115	0,2066294	1,898875	0,3070838	14,48417
120	0,1999537	1,982125	0,2971626	15,11918
125	0,2005895	2,06525	0,2981075	15,75324
130	0,225385	2,148375	0,3349575	16,3873
135	0,222524	2,231375	0,3307056	17,02041
140	0,2098083	2,314625	0,3118081	17,65542
145	0,2333323	2,397625	0,3467685	18,28852
150	0,2435048	2,480875	0,3618864	18,92353
155	0,231425	2,564	0,3439338	19,55759
160	0,2457301	2,647125	0,3651935	20,19165
170	0,2568563	2,813375	0,3817287	21,45977
175	0,2619425	2,896375	0,3892877	22,09287
180	0,2670288	2,9795	0,3968467	22,72693
185	0,2759298	3,06275	0,4100749	23,36194
190	0,2841949	3,145875	0,4223583	23,996
195	0,2962748	3,229	0,4403109	24,63005
200	0,3093084	3,312	0,4596808	25,26316
205	0,3054937	3,39525	0,4540116	25,89817

210	0,8487701	5,724875	1,261406	43,668
215	3,458023	8,16125	5,139165	62,2521
<b>RESULTADOS OBTENIDOS TIPO BL2</b>				
Tiempo (seg)	Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo Axial (Mpa)	Deformación (%)
0	-0,0038147	0	-0,00577928	0
1	0,09600321	0,0065	0,1454452	0,04807692
5	0,09918213	0,07012501	0,1502613	0,5186761
10	0,09250641	0,15325	0,1401476	1,133506
15	0,1087189	0,2365	0,1647095	1,749261
20	0,1115799	0,3195	0,169044	2,363166
25	0,1166662	0,40275	0,1767497	2,97892
30	0,114123	0,485875	0,1728968	3,59375
35	0,1300176	0,569	0,1969771	4,20858
40	0,1331965	0,6521251	0,2017932	4,82341
45	0,1290639	0,735125	0,1955323	5,437315
50	0,128746	0,8185	0,1950507	6,053995
55	0,1363754	0,9013751	0,2066093	6,666975
60	0,1481374	0,98475	0,2244287	7,283654
65	0,1513163	1,06775	0,2292448	7,89756
70	0,1579921	1,15075	0,2393585	8,511465
75	0,1519521	1,234	0,230208	9,12722
80	0,1436869	1,317	0,2176862	9,741125
85	0,1516342	1,40025	0,2297264	10,35688
90	0,1630783	1,48325	0,2470642	10,97078
95	0,1618067	1,566375	0,2451378	11,58561
100	0,1808802	1,649625	0,2740342	12,20137
105	0,1745224	1,73275	0,2644021	12,8162
110	0,1853307	1,81575	0,2807767	13,43011
115	0,1862844	1,899	0,2822215	14,04586
120	0,1799266	1,982125	0,2725894	14,66069
125	0,2018611	2,06525	0,3058203	15,27552
130	0,20504	2,148375	0,3106363	15,89035
135	0,1999537	2,2315	0,3029307	16,50518
140	0,2059937	2,314625	0,3120812	17,12001
145	0,2085368	2,397625	0,315934	17,73391
150	0,2206167	2,481	0,334235	18,35059
155	0,2295176	2,563875	0,34772	18,96358
160	0,2333323	2,647125	0,3534993	19,57933
170	0,2374649	2,813375	0,3597602	20,80899
175	0,2485911	2,896375	0,3766164	21,42289
180	0,2482732	2,979625	0,3761348	22,03865
185	0,2597173	3,06275	0,3934727	22,65348
190	0,2616247	3,14575	0,3963623	23,26738
195	0,2648036	3,228875	0,4011784	23,88221

200	0,2756119	3,312125	0,417553	24,49797
205	0,2733866	3,39525	0,4141817	25,1128
210	0,2940496	3,478375	0,4454862	25,72763
215	0,3000895	3,561375	0,4546367	26,34153
220	0,3067652	3,644625	0,4647505	26,95729
225	0,7184346	5,3805	1,088431	39,7966
230	3,359159	7,960625	5,089138	58,88036
<b>RESULTADOS OBTENIDOS TIPO B1.3</b>				
Tiempo (seg)	Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo Axial (Mpa)	Deformación (%)
0	-0,00031789	0	-0,00049379	0
1	0,102361	0,006375	0,1590018	0,04782446
5	0,1106262	0,07012501	0,1718405	0,526069
10	0,1122157	0,15325	0,1743095	1,149662
15	0,1214345	0,236375	0,1886295	1,773256
20	0,1106262	0,3195	0,1718405	2,39685
25	0,1363754	0,40275	0,2118378	3,02138
30	0,1351039	0,485875	0,2098627	3,644974
35	0,1277924	0,569	0,1985054	4,268568
40	0,1408259	0,652	0,218751	4,891223
45	0,1414617	0,7352501	0,2197386	5,515755
50	0,1382828	0,8182501	0,2148006	6,13841
55	0,1570384	0,9015	0,2439345	6,762941
60	0,1427333	0,984625	0,2217138	7,386535
65	0,1468658	1,06775	0,2281331	8,010128
70	0,1557668	1,150875	0,2419593	8,633721
75	0,1554489	1,233875	0,2414655	9,256377
80	0,1694361	1,317125	0,2631925	9,880909
85	0,1659393	1,400125	0,2577608	10,50356
90	0,1767476	1,483375	0,2745498	11,1281
95	0,1837413	1,5665	0,2854132	11,75169
100	0,1916885	1,6495	0,2977581	12,37434
105	0,1967748	1,73275	0,3056588	12,99888
110	0,1866023	1,81575	0,2898574	13,62153
115	0,1974106	1,898875	0,3066464	14,24513
120	0,2005895	1,982	0,3115844	14,86872
125	0,219663	2,06525	0,341212	15,49325
130	0,2129873	2,148375	0,3308423	16,11684
135	0,2237956	2,2315	0,3476313	16,74044
140	0,2326965	2,3145	0,3614576	17,36309
145	0,2365112	2,39775	0,3673832	17,98762
150	0,2346039	2,480875	0,3644204	18,61122
155	0,2470016	2,563875	0,3836783	19,23387
160	0,2555847	2,647125	0,3970108	19,8584
170	0,2641678	2,813375	0,4103433	21,10559

175	0,2737045	2,8965	0,4251571	21,72919
180	0,2918243	2,979375	0,4533034	22,3509
185	0,3112157	3,062875	0,4834248	22,97731
190	0,2981822	3,14575	0,4631793	23,59903
195	0,3197988	3,2425	0,4967573	24,32483
200	1,086553	5,69575	1,68779	42,72881
205	5,647977	7,91875	8,773248	59,40548

**RESULTADOS OBTENIDOS TIPO B2.1**

Tiempo (seg)	Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo Axial (Mpa)	Deformación (%)
0	-0,02352397	0	-0,03529715	0
1	0,07724762	0,006375	0,1159082	0,04866413
5	0,09155273	0,07012501	0,1373727	0,5353054
10	0,1106262	0,15325	0,165992	1,169847
15	0,1255671	0,236375	0,1884105	1,804389
20	0,1392365	0,319625	0,208921	2,439886
25	0,1557668	0,402625	0,2337244	3,073473
30	0,1583099	0,485875	0,2375403	3,70897
35	0,1672109	0,568875	0,250896	4,342557
40	0,1862844	0,6521251	0,2795153	4,978054
45	0,1920064	0,735125	0,2881011	5,611642
50	0,1935959	0,8183751	0,290486	6,247138
55	0,2272924	0,9013751	0,3410468	6,880726
60	0,2257029	0,984625	0,3386618	7,516222
65	0,2355576	1,06775	0,3534485	8,150764
70	0,2492269	1,15075	0,373959	8,784352
75	0,25177	1,234	0,377775	9,419848
80	0,2686183	1,317125	0,4030553	10,05439
85	0,2791087	1,40025	0,4187959	10,68893
90	0,295639	1,48325	0,4435993	11,32252
95	0,3131231	1,566375	0,4698337	11,95706
100	0,3064474	1,649625	0,459817	12,59256
105	0,5896886	2,766	0,8848138	21,1145
110	1,545906	5,358875	2,319595	40,90745
115	6,464005	7,556875	9,699085	57,68607

**RESULTADOS OBTENIDOS TIPO B2.2**

Tiempo (seg)	Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo Axial (Mpa)	Deformación (%)
0	0,00127157	0	0,00189363	0
1	0,114123	0,0065	0,1699529	0,04942966
5	0,1144409	0,07012501	0,1704263	0,5332699
10	0,1274745	0,15325	0,189836	1,165399
15	0,1548131	0,236375	0,2305489	1,797528
20	0,1703898	0,319625	0,2537459	2,430609
25	0,1821518	0,402625	0,2712619	3,061787

30	0,1974106	0,485875	0,2939854	3,694867
35	0,2069473	0,569	0,3081876	4,326996
40	0,2066294	0,652	0,3077142	4,958175
45	0,2266566	0,7352501	0,3375388	5,591255
50	0,2358754	0,8183751	0,3512676	6,223384
55	0,2425512	0,9013751	0,3612092	6,854562
60	0,2454122	0,9845001	0,3654698	7,486692
65	0,260671	1,06775	0,3881933	8,119772
70	0,2698898	1,15075	0,4019221	8,750951
75	0,275294	1,233875	0,40997	9,38308
80	0,2867381	1,317125	0,4270126	10,01616
85	0,3023148	1,40025	0,4502096	10,64829
90	0,6907781	3,514	1,028712	26,72243
95	1,711845	6,105375	2,549294	46,42871
100	9,8931	8,6835	14,73288	66,03423

**RESULTADOS OBTENIDOS TIPO B2.3**

Tiempo (seg)	Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo Axial (Mpa)	Deformación (%)
0	60	-0,000125	-0,01230016	-0,00097428
1	0,1163483	0,00625	0,1731483	0,04871395
5	0,1265208	0,07	0,188287	0,5455963
10	0,1338323	0,153125	0,1991679	1,193492
15	0,1500448	0,236125	0,2232951	1,840413
20	0,1490911	0,3195	0,2218759	2,490258
25	0,1579921	0,402625	0,2351222	3,138153
30	0,1703898	0,48575	0,2535724	3,786049
35	0,1850128	0,568875	0,2753342	4,433944
40	0,1891454	0,651875	0,2814843	5,080865
45	0,2088547	0,735	0,3108155	5,728761
50	0,2091726	0,8182501	0,3112885	6,377631
55	0,2190272	0,9012501	0,3259541	7,024553
60	0,2183914	0,9845001	0,3250079	7,673422
65	0,2387365	1,067625	0,3552852	8,321318
70	0,2355576	1,15075	0,3505544	8,969213
75	0,2619425	1,233875	0,3898202	9,617108
80	0,2657572	1,31675	0,3954973	10,26306
85	0,2679825	1,400125	0,3988089	10,9129
90	0,281016	1,48325	0,4182052	11,56079
95	0,3093084	1,56625	0,4603096	12,20772
100	0,3035863	1,649375	0,4517942	12,85561
105	0,5060832	2,38125	0,753148	18,56002
110	1,509349	4,97525	2,246197	38,77826
115	7,242838	7,174125	10,77872	55,9168

**RESULTADOS OBTENIDOS TIPO B3.1**

Tiempo (seg)	Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo Axial	Deformación
--------------	-------------	---------------------	----------------	-------------

			(Mpa)	(%)
0	-0,00127157	0	-0,00191058	0
1	0,1144409	0,006375	0,1719519	0,04793233
5	0,1242956	0,07025	0,1867589	0,5281955
10	0,1252492	0,153125	0,1881918	1,151316
15	0,1357396	0,23625	0,2039541	1,776316
20	0,1500448	0,3195	0,2254481	2,402256
25	0,1630783	0,402625	0,2450315	3,027256
30	0,1808802	0,48575	0,2717796	3,652256
35	0,178655	0,56875	0,268436	4,276316
40	0,1916885	0,6522501	0,2880195	4,904136
45	0,1935959	0,735125	0,2908853	5,527256
50	0,1967748	0,8183751	0,2956617	6,153196
55	0,2075831	0,9013751	0,3119017	6,777256
60	0,2142588	0,9845001	0,3219322	7,402256
65	0,2164841	1,067625	0,3252757	8,027256
70	0,231425	1,15075	0,347725	8,652256
75	0,246048	1,233875	0,3696966	9,277255
80	0,2438227	1,317125	0,3663532	9,903196
85	0,2549489	1,40025	0,3830707	10,5282
90	0,2593994	1,483125	0,3897577	11,15132
95	0,2616247	1,5665	0,3931012	11,7782
100	0,2746582	1,6495	0,4126846	12,40226
105	0,2772013	1,73275	0,4165057	13,0282
110	0,2883275	1,81575	0,4332233	13,65226
115	0,298818	1,898875	0,4489856	14,27726
120	0,2883275	1,982	0,4332233	14,90226
125	0,5668004	2,998	0,8516396	22,54135
130	1,464208	5,5885	2,200029	42,0188
135	5,435626	7,788876	8,167238	58,56298

**RESULTADOS OBTENIDOS TIPO B3.2**

Tiempo (seg)	Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo Axial (Mpa)	Deformación (%)
0	-0,01748403	0	-0,0262524	0
1	0,08710226	0,006375	0,1307847	0,0462963
5	0,09981791	0,07012501	0,1498773	0,5092593
10	0,1128515	0,15325	0,1694473	1,112927
15	0,1211166	0,236375	0,1818575	1,716594
20	0,1344681	0,3195	0,2019048	2,320262
25	0,1411438	0,402625	0,2119284	2,923929
30	0,1564026	0,485875	0,2348396	3,528504
35	0,1532237	0,568875	0,2300664	4,131264
40	0,1637141	0,6521251	0,2458179	4,735839
45	0,1637141	0,735125	0,2458179	5,338599
50	0,1662572	0,8183751	0,2496364	5,943174

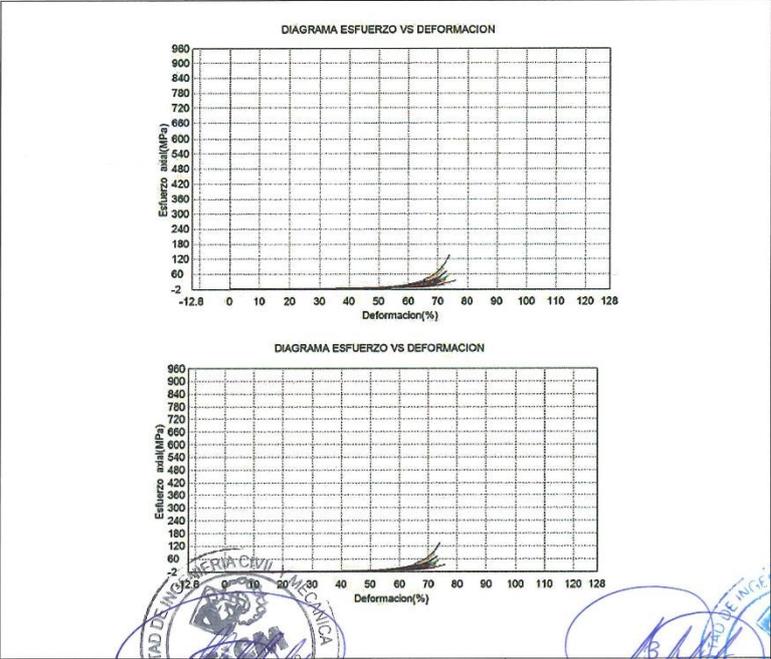
55	0,1827876	0,9013751	0,2744569	6,545933
60	0,1862844	0,984625	0,2797073	7,150509
65	0,1964569	1,06775	0,2949814	7,754176
70	0,1999537	1,15075	0,3002319	8,356936
75	0,2031326	1,234	0,3050051	8,961512
80	0,2053579	1,317125	0,3083463	9,565179
85	0,2161662	1,400125	0,3245751	10,16794
90	0,2317429	1,48325	0,3479636	10,7716
95	0,2326965	1,566625	0,3493955	11,37709
100	0,2514521	1,649625	0,3775572	11,97985
105	0,2485911	1,73275	0,3732613	12,58352
110	0,2609889	1,81575	0,3918766	13,18628
115	0,2746582	1,899	0,4124013	13,79085
120	0,2905528	1,982125	0,436267	14,39452
125	0,2749761	2,06525	0,4128786	14,99819
130	0,2985001	2,148375	0,4482	15,60185
135	0,6707509	3,3255	1,007137	24,15033
140	2,305984	5,9175	3,462452	42,97386
145	4,345576	7,120875	6,524913	51,71297
150	6,019592	7,59675	9,038461	55,16885
155	7,662138	7,932	11,50475	57,60349
160	9,260178	8,185625	13,90422	59,44535
170	12,7039	8,542126	19,07499	62,03432
175	14,36202	8,676126	21,56467	63,00745
180	15,92223	8,791876	23,90734	63,84805
185	17,62231	8,890375	26,46003	64,56336
190	19,40759	8,97875	29,14064	65,20515
195	20,94078	9,057	31,44273	65,77342
200	22,63037	9,126125	33,97966	66,27542
<b>RESULTADOS OBTENIDOS TIPO B3.3</b>				
Tiempo (seg)	Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo Axial (Mpa)	Deformación (%)
0	-0,00095367	-0,000125	-0,00143392	60
1	0,1316071	0,00625	0,1978806	0,04882813
5	0,1227061	0,07	0,1844974	0,5468751
10	0,146548	0,153125	0,2203453	1,196289
15	0,1478195	0,23625	0,2222572	1,845703
20	0,1548131	0,319375	0,2327726	2,495117
25	0,1665751	0,402625	0,2504576	3,145508
30	0,1783371	0,485625	0,2681426	3,793946
35	0,1846949	0,568875	0,277702	4,444336
40	0,2053579	0,652	0,3087702	5,09375
45	0,225385	0,735125	0,3388825	5,743164
50	0,2307892	0,818125	0,347008	6,391602
55	0,2470016	0,9012501	0,3713847	7,041016

60	0,2530416	0,9845001	0,3804661	7,691406
65	0,2603531	1,067625	0,3914595	8,34082
70	0,2708435	1,15075	0,4072326	8,990235
75	0,2835592	1,23375	0,4263515	9,638673
80	0,2959569	1,317	0,4449925	10,28906
85	0,3007253	1,400125	0,452162	10,93848
90	0,6170273	2,676375	0,9277447	20,90918
95	1,424789	5,267	2,142273	41,14844
100	3,946304	7,601875	5,933551	59,38965
105	6,061554	8,259126	9,11398	64,52442
110	7,681529	8,636875	11,54973	67,47559
115	9,456952	8,915501	14,2192	69,65235
120	11,096	9,132751	16,68363	71,34962

GRÁFICAS OBTENIDAS POR SISTEMA DE COMPRESIÓN

Nombre de muestra	Diametro	Altura	EDAD EN DIAS
Unidad	cm	cm	
A1.1	2.9280	1.3110	92
A1.2	2.9050	1.3360	92
A1.3	2.9220	1.2960	92
A2.1	2.9100	1.3090	92
A2.2	2.9090	1.2890	92
A2.3	2.9230	1.3280	92
A3.1	2.8930	1.3240	92
A3.2	2.9100	1.2890	92
A3.3	2.9000	1.2890	92
B1.1	2.9270	1.3110	92
B1.2	2.8990	1.3520	92
B1.3	2.8630	1.3330	92
B2.1	2.9130	1.3100	92
B2.2	2.9240	1.3150	92
B2.3	2.9250	1.2830	92
B3.1	2.9110	1.3300	92
B3.2	2.9120	1.3770	92
B3.3	2.9100	1.2800	92

Nombre Parametros	Max. Fuerza Calc. at Entire Areas kN	Max. Esfuerzo axial Calc. at Entire Areas MPa	Max. Tiempo Calc. at Entire Areas seg
A1.1	19.4	29.8	195.030
A1.2	22.7	34.2	199.470
A1.3	48.3	72	138.620
A2.1	34.6	52	95.8400
A2.2	46.5	70	70.0000
A2.3	27.6	41.1	21.3400
A3.1	12.3	18.7	187.260
A3.2	11.6	17.4	156.790
A3.3	55.2	83.6	278.390
B1.1	10.8	16.1	217.690
B1.2	14.9	22.6	233.820
B1.3	25.1	39	207.730
B2.1	35.3	53	118.460
B2.2	26	38.7	101.710
B2.3	90.9	135	119.600
B3.1	20.3	30.5	138.100
B3.2	23.7	35.6	202.270
B3.3	12	18	122.450
Media	29.84444	44.79445	155.421
Desviacion Estandar	20.1721	30.0433	64.1492
Rango	80.1000	118.900	255.050



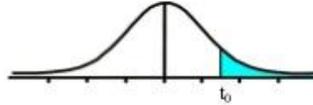
Elaborado por: Ing. Edwin Cazarza Revisado por: Ing. Byron Lopez



## ANEXO 6

### Tabla T – Student

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800

## ANEXO 7

### Tabla de Dureza

*conversor durezas*

<b>°Shore A</b> DIN 53505	<b>°IRHD</b> ASTM D 1415	<b>°Shore D</b> DIN 53505	<b>°Shore 0</b> ASTM D 2240	<b>°Shore 00</b> ASTM D 2240
100	100	58		
95	95	46		
90	90	39		
85	85	33		
80	80	29	84	98
75	74	25	79	97
70	68	22	75	95
65	64	19	72	94
60	62	16	69	93
55	54	14	65	91
50	49	12	61	90
45	44	10	57	88
40	39	8	53	86
35	35	7	48	83
30	28	6	42	80
25			35	76
20			28	70
15			21	62
10			14	55
5			8	45
<i>Elastómeros compactos y celulares</i>	<i>Elastómeros compactos</i>	<i>Poliuretanos, PTFE rígido, Termoplásticos y Elastómeros muy duros</i>	<i>Elastómeros compactos y celulares de media densidad</i>	<i>Elastómeros celulares de media y baja densidad</i>

IRHD : International Rubber Hardness Degree