

**UNIVERSIDAD POLITECNICA
SALESIANA**

Sede Cuenca

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“CARACTERIZACION DE CAUCHO RECICLADO
PROVENIENTE DE SCRAP Y DE NEUMATICOS FUERA DE
USO PARA SU POTENCIAL APLICACIÓN COMO MATERIA
PRIMA.”**

**Tesis previa a la
obtención del título de
Ingeniero Mecánico.**

AUTOR:

ANDRÉS XAVIER CRIOLLO SALAMEA

DIRECTOR:

ING. JORGE FAJARDO

CUENCA, JUNIO DE 2014

DEDICATORIA.

Quiero dedicar este trabajo principalmente a mis padres Jaime y Gladys, por su apoyo incondicional y sobre todo por no dejar de creer en mí, a ustedes papitos todo mí respeto, admiración y amor. A Damián y Jahnelly mis queridos hijos quienes me inspiraron para hacer este trabajo, y finalmente a mi querida esposa M. Elena por estar siempre a mi lado en las buenas y en las malas.

AGRADECIMIENTO.

Quisiera agradecer principalmente a mis hermanos William y Edison por su ayuda, a la empresa Continental Tire Andina S. A., en especial al personal del laboratorio químico por brindarme todo su tiempo en el desarrollo de esta tesis, a los profesores de la UPS, a toda mi familia y finalmente a mis panas Malationes.

DECLARATORIA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana. En tal virtud los fundamentos técnicos - científicos y los resultados son exclusiva responsabilidad del autor.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigente.



Andrés Xavier Criollo Salamea

CERTIFICACIÓN

Ing. Jorge Fajardo

CERTIFICA.

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos de este trabajo de tesis, realizado por el señor Andrés Xavier Criollo Salamea.

Por cumplir los requisitos, autorizo su presentación.

Cuenca, Junio de 2014



Ing. Jorge Fajardo

RESUMEN.

El presente trabajo ha puesto en conocimiento el porcentaje de contaminación y a su vez el reciclaje que tiene los NFU a nivel mundial, con planificaciones y desarrollo de maquinarias han hecho posible la obtención de una Fibra de NFU, la misma que puede ser aplicada en productos útiles para la humanidad. Como siguiente paso se estudió la manera de revulcanizar las F-NFU mezclando con un aditivo que ayude con en el proceso de vulcanizado, con el desarrollo de probetas se analizó las propiedades de cada una de ellas obteniendo resultados positivos, para finalmente realizar prototipos que confirmen su aplicación.

INDICE

DEDICATORIA.	II
AGRADECIMIENTO.	III
DECLARATORIA	IV
CERTIFICACIÓN	V
RESUMEN.	VI
INDICE DE TABLAS.	IX
INDICE DE GRÁFICOS.	X
CAPITULO 1.	1
Estado del arte de las aplicaciones del caucho reciclado con material SCRAP y neumáticos fuera de uso (NFU).	1
Introducción.	2
1.1 Beneficio para nuestro país.	2
1.2 Tiempo de desgaste de un neumático.	3
1.3 Estado de los NFU en Ecuador.	4
1.4 Manufactura del caucho.	4
1.4.1 Caucho natural.	5
1.4.2 Caucho Sintético.	9
1.4.3 Vulcanización de los elastómeros.	10
1.4.4 Azufre en el elastómero.	12
1.4.5 Tipos de azufre.	13
1.4.6 Técnicas para reciclar neumáticos fuera de uso (NFU).	15
Introducción.	15
1.5 Estado del manejo y destino del SCRAP y NFU a nivel mundial.	18
1.5.1 Japón.	18
1.5.2 Unión Europea.	20
1.5.3 Canadá.	23
1.5.4 Estados Unidos.	25
1.5.5 México.	27
1.5.6 Brasil.	28
1.5.7 Argentina.	29
1.5.8 Colombia.	31
1.5.9 Chile.	32
1.5.10 Uruguay.	33

1.5.11	Ecuador.	34
1.6	Conclusión.	37
CAPITULO 2.		38
Características físicas, mecánicas y químicas del caucho reciclado.		38
2.2	Procesos, ensayos y equipos.	39
2.2.1	Proceso para obtener probetas vulcanizadas de NFU.	39
2.2.2	Ensayo para determinar la densidad de las F-NFU.	43
2.2.3	Ensayo para determinar la dureza de las F-NFU.	45
2.2.4	Resistencia a la tracción (Tensión).	48
2.3	Resultados y gráficos.	50
2.4	Resultados.	53
2.4.1	Evaluación de la Densidad.	53
2.4.2	Evaluación de la Dureza.	55
2.4.3	Evaluación de la Tensión.	56
2.4.4	Evaluación de la Elongación.	58
2.4.5	Evaluación del Módulo de Elasticidad.	59
2.4.6	Evaluación del Rebound.	60
2.4.7	Gráfico de los resultados.	62
2.4.8	Pruebas de TGA en probetas.	64
CAPITULO 3.		68
Prototipos de productos a partir del caucho reciclado.		68
3.1	Introducción.	69
3.2	Aplicaciones potenciales de las F-NFU.	69
3.2.1	Rellenos en césped artificial para canchas sintéticas.	69
3.2.2	Suelos de seguridad y parques infantiles.	70
3.2.3	Mezclas bituminosas	71
3.2.4	Tejas de caucho reciclado.	72
3.2.5	Suelas de calzados	73
3.2.6	Pisos para Gimnasio.	74
3.2.7	Fabricación de piezas de caucho.	75
3.2.8	Pantallas acústicas.	75
3.3	Aplicación de F-NFU en la construcción de prototipos.	75
3.3.1	Tejas recicaucho.	75
3.3.2	PISO RECICAUCHO.	78

3.4	Proceso para la elaboración de los prototipos.	79
3.5	Construcción de moldes.	81
3.6	Pruebas y resultados.	82
3.7	Conclusión.	83
CAPITULO 4.		84
Aplicaciones de productos y resultados.		84
4.1	Introducción.	85
4.2	Aplicaciones de productos.	85
4.2.1	Tejas Recicaucho.	85
4.2.2	Piso Recicaucho.	87
4.3	Conclusiones.	88
ANEXOS.		89
BIBLIOGRAFIA.		111

INDICE DE TABLAS.

CAPITULO 1.

TABLA1. 1	ESTADÍSTICA ANUAL DE VEHÍCULOS MATRICULADOS A NIVEL NACIONAL AÑOS 2010-2011. FUENTE: [1]	3
TABLA1. 2	CLASIFICACIÓN DE ELASTÓMEROS. FUENTE: [4], [10]	5
TABLA1. 3	PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL CAUCHO NATURAL. FUENTE: [9]	9
TABLA1. 4	TIPOS DE CAUCHO SINTÉTICOS Y SUS CARACTERÍSTICAS. FUENTE: [10]	10
TABLA1. 5	TIPOS DE DESVULCANIZACIÓN Y SUS PROCESOS. FUENTE [5]	16
TABLA1. 6	TIPOS DE MOLIENDAS PARA PULVERIZAR LOS NFU. FUENTE [5]	17

CAPITULO 2.

TABLA 2. 1	VALORES DE PORCENTAJES DE LOS COMPUESTOS. FUENTE: AUTOR	42
TABLA 2. 2	RESULTADOS DE ENSAYOS A PROBETAS CON 100% DE F-NFU. FUENTE: AUTOR.	50
TABLA 2. 3	RESULTADOS DE ENSAYOS A PROBETAS CON 99,5% DE F-NFU Y 0.5% DE AZUFRE. FUENTE: AUTOR.	51
TABLA 2. 4	RESULTADOS DE ENSAYOS A PROBETAS CON 98% DE F-NFU Y 2% DE AZUFRE. FUENTE: AUTOR.	51
TABLA 2. 5	RESULTADOS DE ENSAYOS A PROBETAS CON 96,5% DE F-NFU Y 3,5% DE AZUFRE. FUENTE: AUTOR.	52

TABLA 2. 6 RESULTADOS DE ENSAYOS A PROBETAS CON 95% DE F-NFU Y 5% DE AZUFRE. FUENTE: AUTOR.	52
TABLA 2. 7 RESULTADOS DE ENSAYOS A PROBETAS CON 93,5% DE F-NFU Y 6,5% DE AZUFRE. FUENTE: AUTOR.	53
TABLA 2. 8 VALORES DEL EFECTO EN LA DENSIDAD SEGÚN EL CONTENIDO DE AZUFRE.	53
TABLA 2. 9 VALORES DEL EFECTO EN LA DUREZA SEGÚN EL CONTENIDO DE AZUFRE.	55
TABLA 2. 10 VALORES DEL EFECTO EN LA TENSIÓN SEGÚN EL CONTENIDO DE AZUFRE.	56
TABLA 2. 11 VALORES DEL EFECTO EN LA ELONGACIÓN SEGÚN EL CONTENIDO DE AZUFRE.	58
TABLA 2. 12 VALORES DEL EFECTO EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD SEGÚN EL CONTENIDO DE AZUFRE.	59
TABLA 2. 13 VALORES DEL EFECTO EN EL REBOUND SEGÚN EL CONTENIDO DE AZUFRE.	60
TABLA 2. 14 ANÁLISIS TÉRMICOS FUENTE: [34]	64

CAPITULO 3.

TABLA 3. 1 DIMENSIÓN DE GRÁNULOS PARA SU UTILIZACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DEL CÉSPED ARTIFICIAL. FUENTE: [32]	70
TABLA 3. 2 ESPECIFICACIONES PARA PISOS DE GIMNASIOS. FUENTE: [33]	74
TABLA 3. 3 COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE LOS DIFERENTES MATERIALES.	76
TABLA 3. 4 PROPIEDADES DEL PISO DE CAUCHO PARA GIMNASIOS. FUENTE: [33]	78

CAPITULO 4.

TABLA 4. 1 PROPIEDADES DE UN TECHO CON TEJAS RECICAUCHO	86
TABLA 4. 2 PROPIEDADES DEL PISO RECICAUCHO.	88

INDICE DE GRÁFICOS.

CAPITULO 1.

FIG. 1. 1 PORCENTAJES DE VEHÍCULOS MATRICULADOS PARA SU DETERMINADO USO. FUENTE: [1]	3
FIG. 1. 2 UNIDAD ESTRUCTURAL REPETITIVA DEL CAUCHO NATURAL.	6
FIG. 1. 3 COMPARACIÓN ENTRE CADENAS ESTRUCTURALES CON CONFIGURACIÓN CIS Y CONFIGURACIÓN TRANS. FUENTE: [7]	8
FIG. 1. 4 DISEÑO DE UN CAUCHO NATURAL (A) CON CADENAS LINEALES ENTRELAZADAS ANTES DEL VULCANIZADO Y (B) MOLÉCULAS LINEALES CON	

ESTRUCTURA DE RED TRIDIMENSIONAL DESPUÉS DEL VULCANIZADO. LOS CÍRCULOS REPRESENTAN LOS PUENTES. FUENTE [12]	11
FIG. 1. 5 ESQUEMA DE LA VULCANIZACIÓN DEL CAUCHO. A) CADENA DE CIS POLI(1,4-ISOPRENO) ANTES DEL ENTRECruzAMIENTO. B) DESPUÉS DEL ENTRECruzAMIENTO CON AZUFRE O DERIVADOS DE AZUFRE ABRIENDO LOS DOBLES ENLACES DEL ESQUELETO POLIMÉRICO. FUENTE: [5]	12
FIG. 1. 6 REACCIÓN DEL AZUFRE CON EL ELASTÓMERO. FUENTE: [13]	12
FIG. 1. 7 DIAGRAMA DEFORMACIÓN-ESFUERZO. EL CAUCHO NATURAL VULCANIZADO PRESENTA UN MAYOR ESFUERZO CON POCA DEFORMACIÓN COMPARADO CON EL CAUCHO NATURAL. FUENTE [13]	13
FIG. 1. 8 NIVELES EN LOS CUALES MUESTRAN LOS PROCESOS QUE SE APLICA A LOS NEUMÁTICOS PARA SU RECICLAJE [5]	16
FIG. 1. 9 ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA DE RECICLAJE DE LAS LLANTAS SCRAP EN JAPÓN. [15]	19
FIG. 1. 10 DESTINO DE LOS NFU EN JAPÓN. FUENTE: [15]	19
FIG. 1. 11 ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA DE RECICLAJE DE LAS LLANTAS SCRAP EN LA UNIÓN EUROPEA. FUENTE: [15]	21
FIG. 1. 12 DESTINO DE LOS NFU EN LA UNIÓN EUROPEA. FUENTE: [17]	21
FIG. 1. 13 ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA DE RECICLAJE DE LAS LLANTAS SCRAP EN CANADÁ. FUENTE: [15]	24
FIG. 1. 14 DESTINO DEL USO DE NFU EN CANADÁ. FUENTE: [15]	25
FIG. 1. 15 ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA DE RECICLAJE DE LAS LLANTAS SCRAP EN ESTADOS UNIDOS. FUENTE: [15]	26
FIG. 1. 16 DESTINO DEL USO DE NFU EN ESTADOS UNIDOS. FUENTE [19]	26
FIG. 1. 17 ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA DE RECICLAJE DE LAS LLANTAS SCRAP EN MÉXICO. FUENTE [16]	27
FIG. 1. 18 DESTINO DEL USO DE NFU EN MÉXICO. FUENTE: [16]	28
FIG. 1. 19 ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA DE RECICLAJE DE NFU EN BRASIL. FUENTE: [18]	29
FIG. 1. 20 DESTINO DEL USO DE NFU EN BRASIL. FUENTE: [18]	29
FIG. 1. 21 ESTRUCTURA INDUSTRIAL DE RECICLAJE DE LAS LLANTAS SCRAP EN ARGENTINA. FUENTE [21]	31
FIG. 1. 22 ESTRUCTURA DEL MANEJO DE LOS NFU EN COLOMBIA. FUENTE: [23].	32
FIG. 1. 23 DISEÑO TENTATIVO DE RECOLECCIÓN DE NFU EN ECUADOR.	37
CAPITULO 2.	
FIG. 2. 1 BALANZA ANALÍTICA. FUENTE: AUTOR	40
FIG. 2. 2 MOLDE PARA ELABORACIÓN DE PROBETAS. FUENTE: AUTOR	40
FIG. 2. 3 PRENSA HIDRÁULICA PARA CAUCHO. FUENTE: AUTOR	40

FIG. 2. 4	DIMENSIONES DE LA PROBETA DE ENSAYO. R =34MM; E = 6.3MM.	41
FIG. 2. 5	PROBETAS OBTENIDAS DESPUÉS DE SER PRENSADAS.	43
FIG. 2. 6	BALANZA ANALÍTICA. FUENTE: AUTOR.	44
FIG. 2. 7	CONJUNTO PARA MEDIR LA DENSIDAD EN PROBETAS DE CAUCHO. FUENTE: AUTOR	45
FIG. 2. 8	DURÓMETRO Y ACCESORIOS. FUENTE: AUTOR.	46
FIG. 2. 9	TROQUELADORA PARA DISCOS DE CAUCHO. FUENTE: AUTOR	47
FIG. 2. 10	TENSÓMETRO ZWICK, A) MONTAJE DEL ANILLO; B) DETALLE DEL ANILLO EN SU ESTIRAMIENTO. FUENTE: AUTOR.	49
FIG. 2. 11	EFFECTO EN LA DENSIDAD SEGÚN EL CONTENIDO DE AZUFRE.	54
FIG. 2. 12	EFFECTO EN LA DUREZA SEGÚN EL CONTENIDO DE AZUFRE.	55
FIG. 2. 13	EFFECTO EN LA TENSIÓN SEGÚN EL CONTENIDO DE AZUFRE.	57
FIG. 2. 14	EFFECTO EN LA ELONGACIÓN SEGÚN EL CONTENIDO DE AZUFRE.	58
FIG. 2. 15	EFFECTO EN EL MODULO DE ELASTICIDAD SEGÚN EL CONTENIDO DE AZUFRE.	59
FIG. 2. 16	EFFECTO EN EL REBOUND SEGÚN EL CONTENIDO DE AZUFRE.	60
FIG. 2. 17	GRAFICO DE CURVAS DE LOS DIFERENTES ENSAYOS REALIZADOS A LAS PROBETAS DE F-NFU.	62
FIG. 2. 18	TERMOGRAMA TÍPICO: A) CURVA PRIMARIA (TGA); B) CURVA DERIVADA (DTGA). FUENTE: [34]	65
FIG. 2. 19	CURVAS OBTENIDAS DEL ENSAYO TGA A PROBETAS DE F-NFU CON 0, 0.5, 3.5, Y 6.5 % DE AZUFRE.	66
FIG. 2. 20	CURVAS DE LA DTGA APLICADO A LOS RESULTADOS DE LA TGA.	67

CAPITULO 3.

FIG.3. 1	CANCHAS SINTÉTICAS. FUENTE: AUTOR	70
FIG.3. 2	PARQUE INCLUSIVO DE LA CIUDAD DE CUENCA – ECUADOR. FUENTE: AUTOR	71
FIG.3. 3	APLICACIÓN DE NFU EN CARRETERAS. FUENTE: [36]	72
FIG.3. 4	TEJAS DE CAUCHO RECICLADO. FUENTE: [37].	72
FIG.3. 5	SUELAS DE CALZADO CON MATERIAL RECICLADO. FUENTE: [32]	73
FIG.3. 6	PISOS DE CAUCHO DE NFU PARA GIMNASIOS. FUENTE [33]	74
FIG.3. 7	PROTOTIPO DE UNA TEJA PARA TECHO.	76
FIG.3. 8	PARTES DEL MOLDE PARA LA ELABORACIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA TEJA, A) PARTE HEMBRA DEL MOLDE, B) PARTE MACHO DEL MOLDE.	77
FIG.3. 9	PROTOTIPO DE UN PISO DE CAUCHO.	78
FIG.3. 10	MOLDE PARA ELABORAR PISOS DE CAUCHO RECICLADO.	79
FIG.3. 11	FLUJOGRAMA DE UN PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE PROBETAS.	80

FIG.3. 12 CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE PARA PISO DE CAUCHO.	81
FIG.3. 13 CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE PARA TEJA DE CAUCHO.	82
FIG.3. 14 PRUEBAS DE Prensado. FUENTE: AUTOR	82
FIG.3. 15 PROTOTIPOS REALIZADOS EN LAS PRUEBAS, A) PROBETAS DE PISO DE F-NFU B) TEJAS DE F-NFU.	83

CAPITULO 4.

FIG. 4. 1 MONTAJE DE TEJAS DE CAUCHO EN TECHOS LISOS O DE ONDA. FUENTE: AUTOR	85
FIG. 4. 2 TERMINADO DE UN TECHO CON TEJAS RECICAUCHO. FUENTE: AUTOR	86
FIG. 4. 3 MONTAJE DE LOS PISOS RECICAUCHO. FUENTE: AUTOR	87
FIG. 4. 4 APLICACIONES PARA PISOS DE CAUCHO. A) BASE PARA CILINDROS DE GAS, B) PISO PARA GIMNASIOS, C) PISOS PARA ANIMALES. FUENTE: AUTOR	87

CAPITULO 1.

Estado del arte de las aplicaciones del caucho reciclado con material SCRAP y neumáticos fuera de uso (NFU).

Introducción.

Uno de los objetivos de este capítulo es analizar los diferentes tipos de cauchos, que han sido desarrollados con el pasar de los años, a su vez las características que estas tienen, y sus propiedades.

Se pondrá en conocimiento la estructura molecular del caucho, antes y después de ser vulcanizado, los procesos que existen para su desvulcanización y trituración de los neumáticos fuera de uso (NFU). De una forma general toda la manufactura del caucho.

Se presenta de una forma global los diferentes planes de reciclaje de los NFU, esto relaciona con la recolección, tratamiento y aplicaciones que tienen después de cumplir su vida útil, con esto algunos países han dedicado recursos para minimizar la existencia de estos desechos.

En este capítulo se realiza una revisión bibliográfica en base a revistas, paper, tesis de ingenierías, documentos web.

1.1 Beneficio para nuestro país.

Actualmente en el Ecuador existen 15'793.975 habitantes, un valor que muestra el gran crecimiento que ha tenido la población en estos años, ligado a esto la expansión de viviendas en todo el territorio ecuatoriano, así el transporte, una de las necesidades requeridas por la población, va en aumento [1]. En la tabla 1.1, INEC muestra valores de una estadística anual realizada en vehículos matriculados a nivel nacional durante los años 2010 – 2011.

Tabla 1. 1 Estadística anual de vehículos matriculados a nivel nacional años 2010-2011. Fuente: [1]

AÑOS	TOTAL	PARTICULAR	ALQUILER	ESTADO	MUNICIPAL
2010	1'171.924	1'116.201	37.352	14.567	3.804
2011	1'418.339	1'354.346	45.282	14.575	4.136

En la figura 1.1 se ha llegado a determinar que del total de vehículos que circulan en el país, el 95.5% son de uso particular, alquiler el 3.2%, el 1% del estado y municipales el 0.3%.

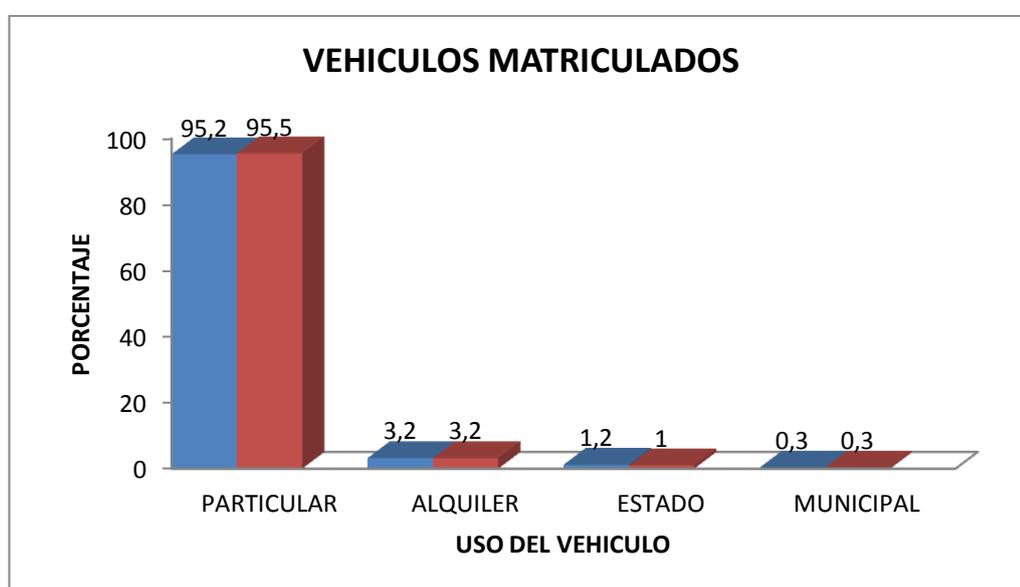


Fig. 1. 1 Porcentajes de vehículos matriculados para su determinado uso. Fuente: [1]

Otros estudios, como la Asociación Nacional Automotriz de Chile indican que existen 8 vehículos por cada mil habitantes. Es así que, según los resultados, nuestro país ocupa el cuarto lugar del ranking de autos por número de habitantes [2].

1.2 Tiempo de desgaste de un neumático.

Existe una regla general en el tiempo de duración de los neumáticos, y menciona que un neumático de buena calidad tiene una duración de 40.000 a 50.000 Km y neumáticos baja calidad 10.000 Km. Pero esto dependerá mucho de las condiciones en el que trabajará el neumático, así prolongará o disminuirá su tiempo de vida útil [3].

Con esto podemos deducir que los neumáticos deberán ser reemplazados a los 6 meses y en el mejor de los casos al año, es decir que en este tiempo Ecuador ya cuenta con neumáticos fuera de uso en su territorio.

1.3 Estado de los NFU en Ecuador.

En nuestro país la tecnología para el reciclaje de los NFU no llega a su punto máximo, son pocas las ciudades que han desarrollado procesos para dar un nuevo uso a este tipo de desperdicio, cada una de ellas cuenta con sus propios procesos para la reutilización, ya sea utilizando a los NFU de forma entera o troceándolos hasta llegar a obtener partículas con espesores no mayores de 2mm. Esto no llega a ser lo suficiente para reducir a los NFU en su totalidad, lo más óptimo sería con un plan de recolección a nivel nacional y con plantas recicladoras, para luego comprometer al gobierno en el reciclaje de estos desperdicios.

Con el estudio de este documento, lograremos darnos cuenta el valor que tienen los NFU, así crecerá la importancia de este material al momento de ser revulcanizado para otras aplicaciones favorables para el ser humano.

1.4 Manufactura del caucho.

El **caucho** se lo define como una sustancia natural o sintética, que tiene como característica: elasticidad, impermeabilidad, y resistencia eléctrica.

Su origen viene en forma líquida lechosa, conocida como látex, que es extraída desde la corteza de diferentes especies de árboles como: El Hevea Brasiliensis, de la familia de las Euforbiáceas, originario del Amazonas, en México extraen el látex desde el llamado árbol de hule, de ahí el nombre de hule, Urceola elástica de Asia, la Funtamia elástica de occidental, Gutta percha o balata que proviene del árbol

Palaquium butta y otras plantas que contienen el producto son las euphobias, las higueras y el diente de león.

En la tabla 1.2 muestra los diferentes tipos de elastómeros relacionado con: los cauchos naturales que se ajustan según el esquema TSR (Technically specified Rubber), y cauchos sintéticos que según su composición pueden ser vulcanizados terminando con propiedades que igualan o superan al caucho natural.

Tabla 1. 2 Clasificación de Elastómeros. Fuente: [4], [10]

Elastómeros	Cauchos naturales (NR)	TSR CV: Grados de Látex de viscosidad constante
		TSR L: Grados de Látex de color claro
		TSR 5: Equivalente al grado RSS1
		TSR 10: Grado de coágulo de campo
		TSR 20: Grado de coágulo de campo
	Cauchos sintéticos	Estireno-butadieno (SBR)
		Polibutadieno (BR)
		Isopreno
		Etileno-propileno (EPM-EPDM)
		Isobutileno-isopreno (IIR)
		Caucho de nitrilo (NBR)
		Policloropreno (neopreno)
		Cauchos fluorados (CFM-FKM)
		Cauchos de silicona (Q)
Termoplásticos		

Al caucho, para su manufactura se lo puede encontrar en el mercado como: **caucho natural** o **caucho sintético**

1.4.1 Caucho natural.

El caucho natural es un hidrocarburo de naturaleza olefínica, pues su estructura está formada por átomos de carbono e hidrógeno, el cual son compuestos básicos de la química orgánica. Lo que le caracteriza a los hidrocarburos olefínicos, es su contenido de hidrógeno ligeramente bajo y por un doble enlace entre los átomos de carbono, reaccionando fácilmente y obteniendo una serie ilimitada de productos. Un

compuesto más simple de caucho es el isopreno o 2-metilbutadieno, cuya fórmula química es C_5H_8 , el cual es representado en la figura 1.2 [5].

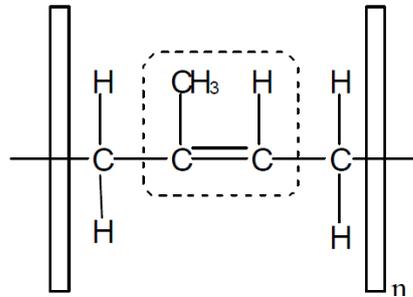


Fig. 1. 2 Unidad estructural repetitiva del caucho natural.

1.4.1.1 Comportamiento térmico del caucho natural.

El caucho presenta diferentes apariencias y propiedades físicas, al aplicar varios rangos de temperatura, a continuación se detalla algunos casos.

Cuando el caucho bruto se encuentra en un estado natural toma un aspecto de un hidrocarburo blanco o incoloro.

Al aplicarle temperaturas menores al cero absoluto, alrededor de $-195^{\circ}C$ el caucho puro llega a ser un sólido duro y transparente.

Es muy diferente su apariencia al momento de incrementar la temperatura por encima del cero absoluto, al momento de dar una temperatura de 0 a $10^{\circ}C$ se transforma en un elemento frágil y opaco. Cuando sobrepasa los $20^{\circ}C$ toma una apariencia blanda, flexible y translúcida.

Cuando se aplica una fuerza mecánica que muele al caucho y con una temperatura superior a 50°C, su textura cambiará a ser plástico pegajoso. A temperaturas extremas como 200 °C o superiores se llega a descomponer. [6]

1.4.1.2 Microestructura.

El caucho natural posee todos los requisitos estructurales de un elastómero, pues contiene cadenas largas y flexibles, con fuerzas intermoleculares débiles y enlaces intermoleculares ocasionales, estos son necesarios para evitar el deslizamiento de las moléculas, pero sin alterar su facilidad de extenderse y volver nuevamente al desorden.

La estructura del caucho es *cis-1,4-poliisopreno*, carece de sustituyentes fuertemente polares, así su atracción intermolecular se define por medio de las fuerzas de Van Der Waals, esta estructura es débil por su configuración *cis* en todos los dobles enlaces [7].

En la figura 1.3 se aprecia las cadenas estructurales de una configuración *trans* que pertenece al caucho nombrado como *Gutta Percha*, esta tiene cadenas extendidas regularmente zigzagueantes formando una buena unión, a diferencia de la configuración *cis* que pertenece al caucho natural.

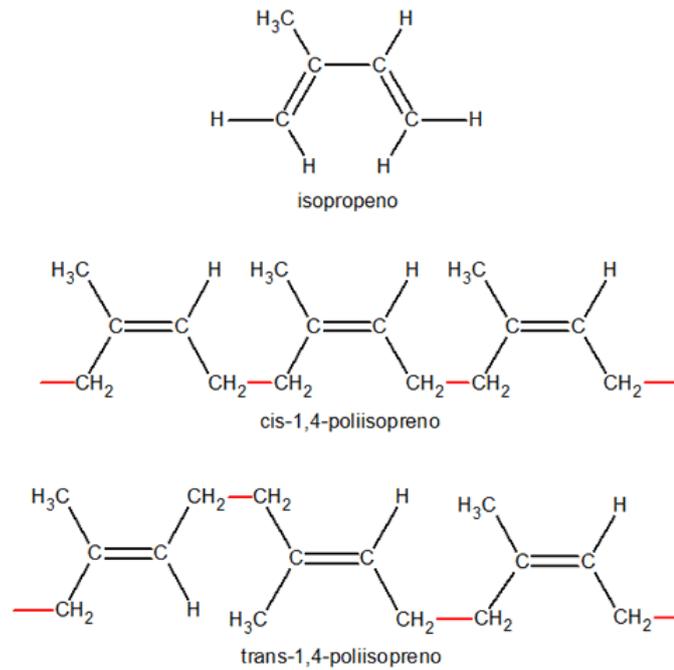


Fig. 1. 3 Comparación entre cadenas estructurales con configuración cis y configuración trans. Fuente: [7]

1.4.1.3 Propiedades físicas.

Existe una gran diferencia en las propiedades del caucho natural y del caucho *gutta percha*, cabe recalcar que estos dos tipos son extraídos de arboles diferentes.

El caucho natural tiene una estructura amorfa, así a temperatura ambiente tiene un comportamiento elástico, fluyen pasados los 60°C y por medio de un estiramiento puede provocar una cristalización.

El caucho *gutta percha* a temperatura ambiente es muy cristalina. [8]

Generalizando estos dos tipos de cauchos naturales tenemos en la tabla 1.3 las propiedades que tienen frente a distintas aplicaciones.

Tabla 1. 3 Propiedades físicas y químicas del caucho natural. Fuente: [9]

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	RESULTADOS
Adhesión a metales	Excelente
Adhesión a telas	Excelente
Resistencia al Desgarramiento	Muy buena
Resistencia a la Abrasión	Excelente
Deformación por compresión	Buena
Resistencia Dieléctrica	Excelente
Electroaislamiento	Bueno a excelente
Permeabilidad a los Gases	Bastante baja
Acido resistencia Diluido	Regular a buena
Acido resistencia Concentrado	Regular a buena
Resistencia Hidrocarburos Alifáticos	Pobre
Resistencia Hidrocarburos Aromáticos	Pobre
Resistencia Solventes Oxigenados (cetonas)	Buena
Resistencia Disolventes de lacas	Pobre

1.4.2 Caucho Sintético.

El caucho sintético está formado por reacciones químicas conocidas como condensación o polimerización de hidrocarburos insaturados, estos tienen compuestos básicos llamados monómeros los cuales tienen una masa molecular relativamente baja y forman unas moléculas gigantes llamados polímeros. [11]

Los cauchos sintéticos se clasifican de acuerdo a su tipo químico o su uso.

En uso pueden ser resilientes, pirotardadores, resistentes a los aceites. Y por su nivel químico se detalla a continuación en la tabla 1.4 que resume además las características más importantes de estos materiales.

Tabla 1. 4 Tipos de caucho sintéticos y sus características. Fuente: [10]

Tipo de caucho sintético	Característica
Estireno-butadieno (SBR)	Copolímero de 75% butadieno y 25% estireno. Sin vulcanizar es soluble en la mayoría de los solventes hidrocarbonados. Necesita aceleradores poderosos para vulcanizar.
Polibutadieno (BR)	Tienen una flexibilidad muy alta, sobrepasando el hule natural. Buena resistencia a la abrasión, y flexibilidad a baja temperatura.
Isopreno	Con catalizadores el isopreno se acerca a la composición del caucho natural, pero en la práctica varía algo en la longitud y estructura de las moléculas.
Etileno-propileno (EPM-EPDM)	Hidrocarburos etileno y propileno, el cual etileno 50% al 65% en peso. Los dos tienen una resistencia a la luz solar, al ozono y al envejecimiento.
Isobutileno-isopreno (IIR)	Copolímero en solución de isobutileno, con porción de isopreno. El poliisobutileno es totalmente saturado y el isopreno proporciona dobles enlaces para su vulcanización.
Caucho de nitrilo (NBR)	Copolímero de acrílonitrilo y butadieno, el acrílonitrilo varía desde 18% a 40%, mayor proporción de acrílonitrilo bajas propiedades físicas y alta resistencia al aceite.
Policloropreno (neopreno)	Líquido parecido al isopreno en estructura química, la diferencia es que tiene un átomo de cloro.
Cauchos fluorados (CFM-FKM)	Fluoro-carbono y fluoro-silicona están entre los elastómeros más caros del mercado.
Cauchos de silicona (Q)	Poseen base de silicio, se distinguen por tener átomos alternados de silicio y oxígeno, tienen estabilidad térmica, aislamiento eléctrico, repele al agua y características antiadhesivas.
Termoplásticos	Se funden al ser calentados y solidifican al ser enfriados, sin dañar sus propiedades. Estas combinaciones de propiedades elastómeras y plásticas, sucede con un tipo especial de copolímero, así las unidades de monómero son enlazadas en el centro de la molécula, y en las unidades del otro están semegradas formando bloques en los extremos de la molécula. Denominándose caucho termoplástico.

1.4.3 Vulcanización de los elastómeros.

El caucho natural sin ningún tratamiento está formado por cadenas lineales entrelazadas, y sus aplicaciones mecánicas son muy bajas. Para mejorar y tener grandes cambios a nivel molecular existe el proceso de curado que llega a reticular las moléculas lineales formando una estructura de red tridimensional figura 1.4,

llegando a obtener mejores propiedades mecánicas pues de un material blando y débil pasa a ser insoluble a los solventes, alta elasticidad, sin pegajosidad y resistentes al deterioro debido al calor, luz u otros factores. [12]

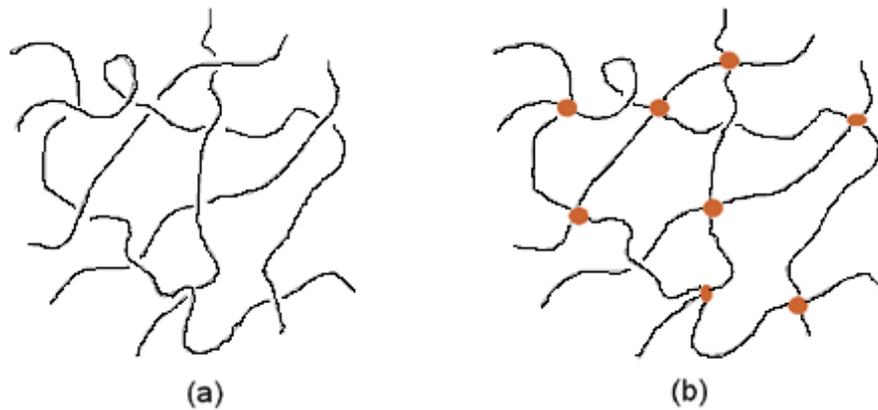


Fig. 1. 4 Diseño de un caucho natural (a) con cadenas lineales entrelazadas antes del vulcanizado y (b) moléculas lineales con estructura de red tridimensional después del vulcanizado. Los círculos representan los puentes. Fuente [12]

Al momento de modificar la estructura interna mediante el proceso de curado sucede una ligadura entre las cadenas, estas son nombradas como puentes químicos o *crosslinks*, aumentando así su elasticidad y disminuyendo su plasticidad, por su nueva red tridimensional. Esto ayuda que aumente la fuerza de recuperación del material después de aplicar una deformación, pues su relación es según la cantidad de puentes en la red por unidad de volumen, esto indica que al aumentar el número de puentes aumenta de forma paralela el número de cadenas de apoyo.

El proceso de vulcanización de los elastómeros, es un proceso de curado, con la diferencia que se aplica azufre como un elemento químico, para producir la reacción de cura, esto garantiza mejores propiedades al menor costo y sobre todo un alto grado de control. [12]

En el vulcanizado sucede una reacción química entre el azufre y los dobles enlaces de carbono presentes en el elastómero, formando moléculas voluminosas que restringen el movimiento molecular. Fig. 1.5

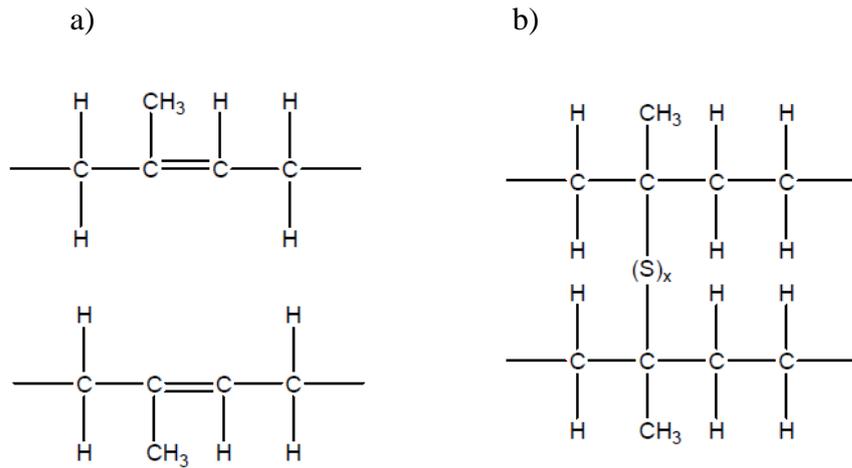


Fig. 1. 5 Esquema de la vulcanización del caucho. A) Cadena de cis poli(1,4-isopreno) antes del entrecruzamiento. B) Después del entrecruzamiento con azufre o derivados de azufre abriendo los dobles enlaces del esqueleto polimérico. Fuente: [5]

En la etapa de vulcanizado se aplican diferentes ingredientes, que mejoren las propiedades del caucho, como son reforzantes, plastificantes, agentes de procesado y de vulcanización, acelerantes y antioxidantes. Estos son mezclados en proporciones adecuadas, en un molde establecido y con presencia de presión – temperatura se obtiene el vulcanizado del material. [12]

1.4.4 Azufre en el elastómero.

El azufre en el elastómero, es muy importante para que exista un entrelazamiento con las moléculas, esto reaccionara bajo presión y con temperatura llegando el material a ser vulcanizado. Fig. 1.6

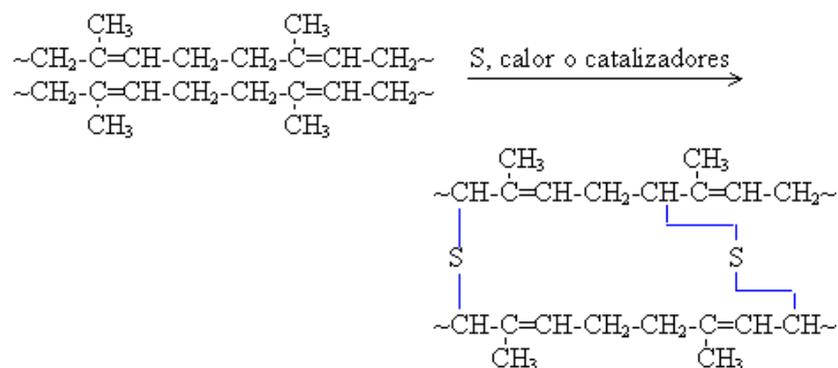


Fig. 1. 6 Reacción del azufre con el elastómero. Fuente: [13]

En la figura 1.7 se observa un diagrama deformación – esfuerzo, realizado al caucho en sus dos etapas, caucho natural y caucho natural vulcanizado.

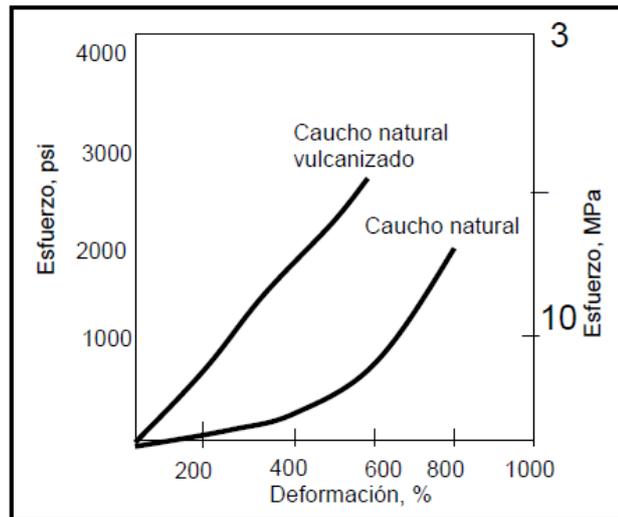


Fig. 1. 7 Diagrama deformación–esfuerzo. El caucho natural vulcanizado presenta un mayor esfuerzo con poca deformación comparado con el caucho natural. Fuente [13]

La cantidad recomendada de azufre va del 0.5 al 3 % del peso del caucho para artículos blandos y del 15 al 30 % para gomas duras o ebonita (usado como aislante eléctrico hasta la aparición de los plásticos). [13]

1.4.5 Tipos de azufre.

Existen diferentes tipos de azufre en el mercado, el cual es importante conocerlos para dar un correcto uso y saber que efectos estos pueden ocasionar en el compuesto.

Azufre coloidal, se obtiene a través del molido en molinos coloidales o de la precipitación de azufre de soluciones coloidales, su tamaño es de una partícula muy fina, adecuado para compuestos de látex. Sedimenta escasamente y puede ser muy bien dispersado.

Azufre natural, soluble, molido y de alta pureza (99.5% min.), usado en compuestos de caucho sólido. Su partícula es de tamaño medio y es fácil de dispersar.

Se dice que en la mayoría de los compuestos de caucho existe más azufre del que es soluble en el respectivo elastómero a temperatura ambiente. Así, se alcanza una disolución completa durante el mezclado, elevando la temperatura lo suficientemente como para derretir el azufre. En el proceso del enfriamiento se forma una solución supersaturada en el compuesto, como fuente de cristales de azufre visible en la superficie luego de la migración.

La cristalización ocurre al momento que se alcanza el límite de solubilidad. La velocidad de migración depende del contenido de carga y del elastómero. Compuestos altamente cargados exhiben una velocidad de migración más baja. El azufre es mínimamente más soluble en NR y SBR que en NBR, EPDM o IIR. Esto explica el largo tiempo de mezclado requerido para el azufre en IIR. Diferencias en la solubilidad y velocidad de migración pueden traer problemas cuando las mezclas de elastómeros se almacenan durante largos períodos de tiempo.

Como el azufre es menos soluble en BR y su velocidad de difusión es más alta que en NR o SBR, pueden formarse cristales romboidales de azufre relativamente grandes en la fase BR. Es recomendable retrabajar intensamente esas mezclas, luego de almacenamiento prolongado y antes de que se realice el moldeado, y la vulcanización debe ocurrir tan pronto como sea posible.

Estos problemas mejoran al usar azufre insoluble en lugar de azufre molido, cuando el nivel de dosis está por encima del límite de solubilidad del azufre. El beneficio del azufre insoluble es que es insoluble en caucho, no migra y no produce eflorescencia.

Azufre insoluble se obtiene al fundir el azufre soluble y enfriando instantáneamente a temperatura ambiente. Se forma el azufre polimérico que es insoluble en solventes orgánicos y elastómeros. En el mezclado, está presente en el compuesto de caucho, como una suspensión en una forma similar a la de una carga inerte.

En este proceso se tiene en cuenta la estabilidad del azufre insoluble: Siendo una modificación metaestable, puede revertirse rápidamente a azufre rómbico, particularmente a temperaturas elevadas y bajo la influencia de sustancias alcalinas.

Por lo tanto, la temperatura de procesamiento no debe exceder los 100 °C máx., durante tiempos prolongados.

Un tamaño de partícula del azufre soluble excesivamente fina da una buena distribución en un compuesto. Sin embargo, hace que la dispersión en el elastómero sea más difícil. Además, el azufre insoluble es fuertemente propenso a cargas electrostáticas. [14]

1.4.6 Técnicas para reciclar neumáticos fuera de uso (NFU).

Introducción.

Con el propósito de disminuir la gran contaminación causado por los NFU a nivel mundial, se ha desarrollado diferentes procesos que puedan reciclarlos, y así dar un nuevo uso, al desperdicio que causa grandes daños al medio ambiente y a la humanidad. A continuación se detalla cada proceso.

1.4.6.1 Desvulcanización.

La desvulcanización es una tecnología de regeneración que se realiza particularmente a los NFU para luego ser utilizado en diferentes aplicaciones.

El principio del proceso consiste en la rotura de los enlaces S-S del polvo del caucho y esto se lo puede realizar mediante procesos de desvulcanización clasificados en dos grupos.

a) Procesos físicos: El desvulcanizado es producido por una fuente de energía externa. Procesos como: mecánicos, termo-mecánicos, crio-mecánicos, microondas y ultrasonidos. [5]

b) Procesos químicos: En el campo de la industria son los más utilizados. Para este proceso generalmente se emplea agentes químicos como disulfuros o mercaptanos orgánicos cuando se realiza un trabajo mecánico a una elevada temperatura. También pueden ser utilizados agentes inorgánicos y otros tipos de procesos como catálisis por transferencia de fase. [5]

En la figura 1.8 se detalla los diferentes niveles que tienen los procesos de desvulcanización, el número de niveles dependerá del tipo de uso que este previsto.

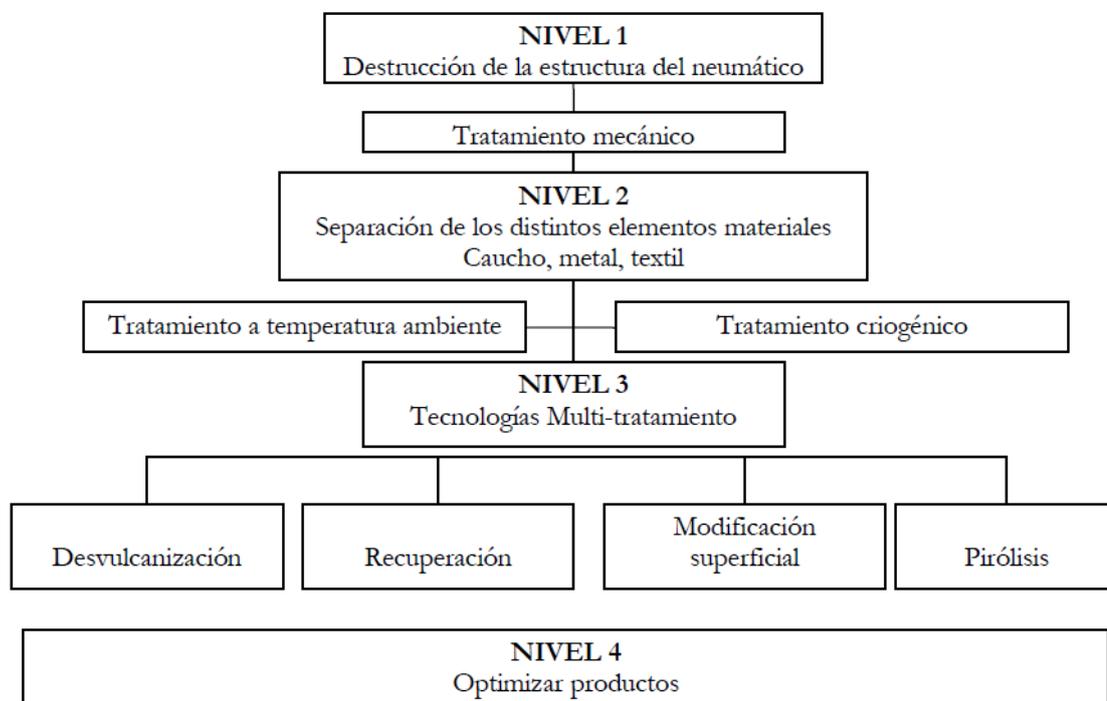


Fig. 1. 8 Niveles en los cuales muestran los procesos que se aplica a los neumáticos para su reciclaje [5]

En la tabla 1.5 se detalla algunos tipos de desvulcanización que pertenecen a los procesos mencionados anteriormente.

Tabla1. 5 Tipos de desvulcanización y sus procesos. Fuente [5]

METODO	PROCESO
Desvulcanización química.	Con agentes químicos se rompe enlaces para eliminar el azufre del enlace químico entrecruzado. Se emplea CO ₂ supercrítico con un reactivo de disulfuro de difenilo. En el campo microbiana utilizan el hongo "Resinicium bicolor".
Desvulcanización térmica.	Empleado para caucho natural, se calienta el polvo del caucho a una elevada temperatura sin agentes químicos. O desvulcanización por microondas provoca rotura del enlace químico entrecruzado, un ajuste fino puede conseguir romper enlaces S-S y C-S pero no C-C.
Desvulcanización mecánica.	Un proceso patentado es emplear aleaciones Fe-Co para reducir mediante catálisis la densidad de entrecruzamiento de cloropreno y EPDM con un porcentaje de desvulcanización de 43%. Obteniendo malas propiedades

Desvulcanización químico-mecánica.	Aplica cortadura mecánica (molienda) sobre polvo de caucho, así se puede producir radicales en la cadena principal, aquí añaden agentes químicos (dioles, disulfuro) evitando su recombinación, al mismo tiempo los entrecruzamientos se abren y la viscosidad se reduce.
Desvulcanización termo-mecánica.	Se emplean extrusoras que calientan el polvo, produciendo una masa viscosa que es mezclada con el compuesto virgen. Así aumenta la fracción sólida y disminuye el número medio de entrecruzamiento.
Desvulcanización termo-química.	No emplea bases o ácidos normalizados, con temp. 150-190°C durante un tiempo dado, se extrae la masa ablandada y se lamina en un molino de 2 rollos.
Desvulcanización ultrasónica.	Sin agentes químicos y con ondas ultrasónicas se rompe enlaces químicos entrecruzados del azufre en el caucho produciendo la desvulcanización, degradando la cadena principal bajo ciertas condiciones de presión y temperatura reprocessando y revulcanizando normalmente.

1.4.6.2 Moliendas.

Con los diferentes tipos de moliendas se puede triturar a los NFU obteniendo diferentes tamaños de partículas de caucho, requeridos para su aplicación. Luego de estos procesos el material que es pulverizado se puede reutilizar en diferentes aplicaciones, en el mejor de los casos el material se puede volver a vulcanizar, y lo más recomendable para esta aplicación es el caucho pulverizado en molienda mecánica a temperatura ambiente. En la tabla 1.6 se redacta el procedimiento de cada uno de las moliendas existentes.

Tabla 1. 6 Tipos de moliendas para pulverizar los NFU. Fuente [5]

Molienda mecánica a temperatura ambiente	En molinos de dos rollos tipos “cracker” se muele el neumático se separa del metal, de la fibra, luego se reduce a polvo grueso, o polvo ultra fino, se empaqueta y se pesa.
Molienda criogénica	Se enfría a -200°C con nitrógeno líquido, las piezas congeladas pasan por un molino de impacto, se obtienen elementos finos, luego se seca, se separa la fibra y el metal, se clasifica según los tamaños obtenidos.
Molienda húmeda	El procedimiento consiste en una serie de ruedas de molienda con agua pulverizada inyectada continuamente para asegurar el enfriamiento del polvo. Después de este proceso se separa el agua del polvo y se seca.

1.5 Estado del manejo y destino del SCRAP y NFU a nivel mundial.

En los siguientes puntos, se analiza a partir de revisión bibliográfica actualizada los estudios y procesos que se realizan a los NFU en varios países, claramente se evidencia un gran interés pues el alto grado de contaminación ha causado problemas para el medio ambiente y hacia la humanidad.

Países que han puesto importancia en este tema cuentan con datos de generación de los NFU, programas de recolección, y las aplicaciones que estos le dan, después de ser reciclado.

1.5.1 Japón.

Japón es uno de los principales recicladores en el mundo, ya que se le da mucha importancia a los NFU por su manera de ocupar espacio, y aquí no hay espacio disponible para vertederos. Como un resultado, la tasa de reciclaje de neumáticos en Japón es más alta que cualquier otro país desarrollado, por lo general su promedio de reciclaje es de 85 – 90%. El combustible a partir del NFU continúa siendo la aplicación más importante de los neumáticos SCRAP en Japón, a pesar de la caída que tuvieron por la demanda en el año 2001. En contraste, la exportación de neumáticos SCRAP aumenta rápidamente.

La estructura del reciclaje de neumáticos SCRAP en Japón no es muy diferente desde la estructura de la industria en otros países desarrollados. Los neumáticos SCRAP surgen de dos fuentes: 1. Demanda en reemplazo de neumáticos, donde los consumidores reemplazan el neumático viejo por una nueva, descartando a la ya usada 2. Fin de la vida útil de los vehículos, donde los neumáticos también se eliminarán como parte del vehículo.

Los consumidores particulares típicamente disponen de neumáticos viejos a almacenadores, que incluye también minoristas de neumáticos, concesionarios de automóviles, estaciones de servicios y tiendas de reparación de automóviles. Los concesionarios suministran los neumáticos SCRAP a los almacenadores, que a su vez envían a los procesadores.

La figura 1.9 se observa la estructura industrial en Japón que viene dado de la siguiente manera.

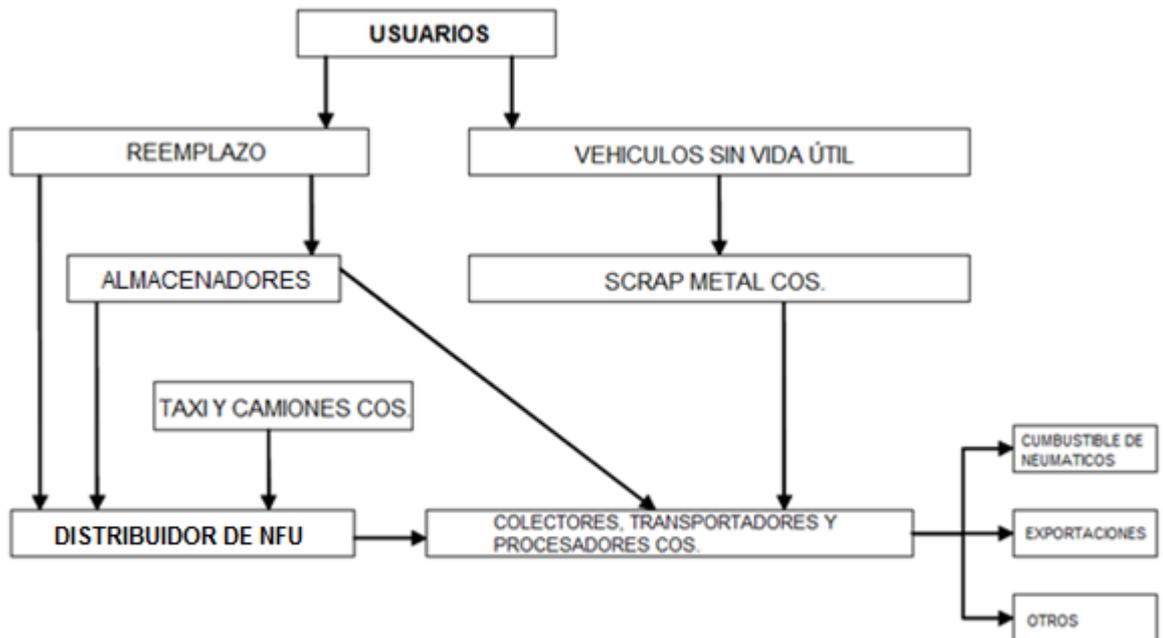


Fig. 1. 9 Estructura de la industria de reciclaje de las llantas SCRAP en Japón. [15]

Japón ha tenido un gran avance en el campo de reciclaje de los NFU, como se observa en la figura 1.10.

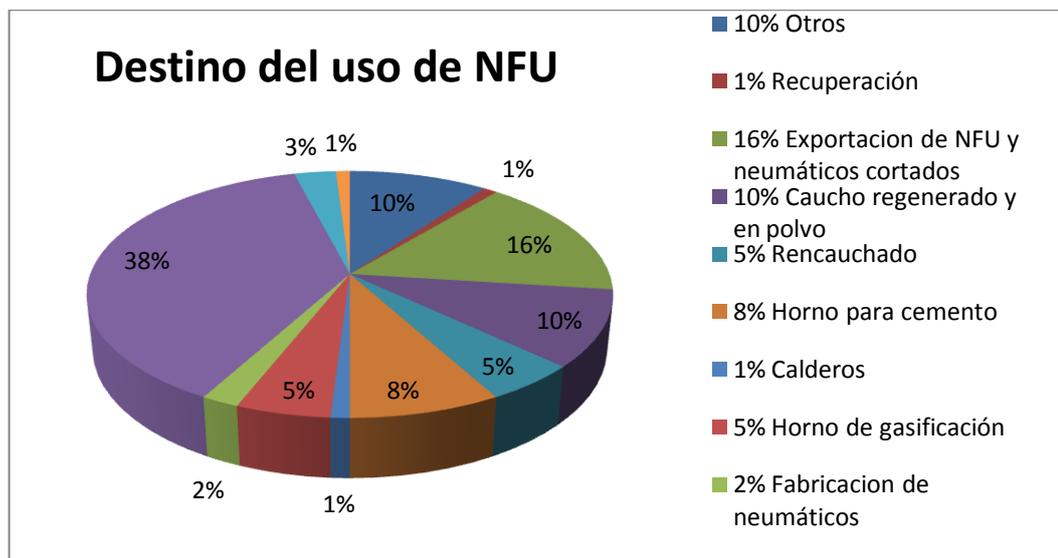


Fig. 1. 10 Destino de los NFU en Japón. Fuente: [15]

1.5.2 Unión Europea.

En la Unión Europea la producción de neumáticos es un negocio importante, llegando a ser el 24% de toda la producción mundial, teniendo como resultado más generación de neumáticos fuera de uso. Esta generación deberá ser tratada según la legislación correspondiente.

Una de las legislaciones que se toma en cuenta es de la Directiva 1999/31/CE(1) de vertederos, que establece los neumáticos usados enteros no deben ser admitidos en vertederos.

La legislación 1619/2005(3) el objetivo principal es la protección del medio ambiente, previniendo la generación de NFU, el establecimiento del régimen jurídico de su producción y gestión y fomentar de forma jerárquica, su reducción, reutilización, reciclado y otras formas de valorización.

En Europa, la industria de neumáticos SCRAP funciona mediante dos sistemas:

Sistema de responsabilidad industrial, los productores junto con otras empresas del sector asumen responsabilidades en el reciclaje de neumáticos SCRAP y la administración del mismo. Y el **sistema de producción responsable**, los productores asumen responsabilidades del reciclaje de los neumáticos SCRAP. En los dos casos los consumidores pagan por el reciclaje y los gastos de la recolección de los neumáticos. [17]

La figura 1.11 se ve la estructura del reciclaje que existe en los países aliados a la unión europea.

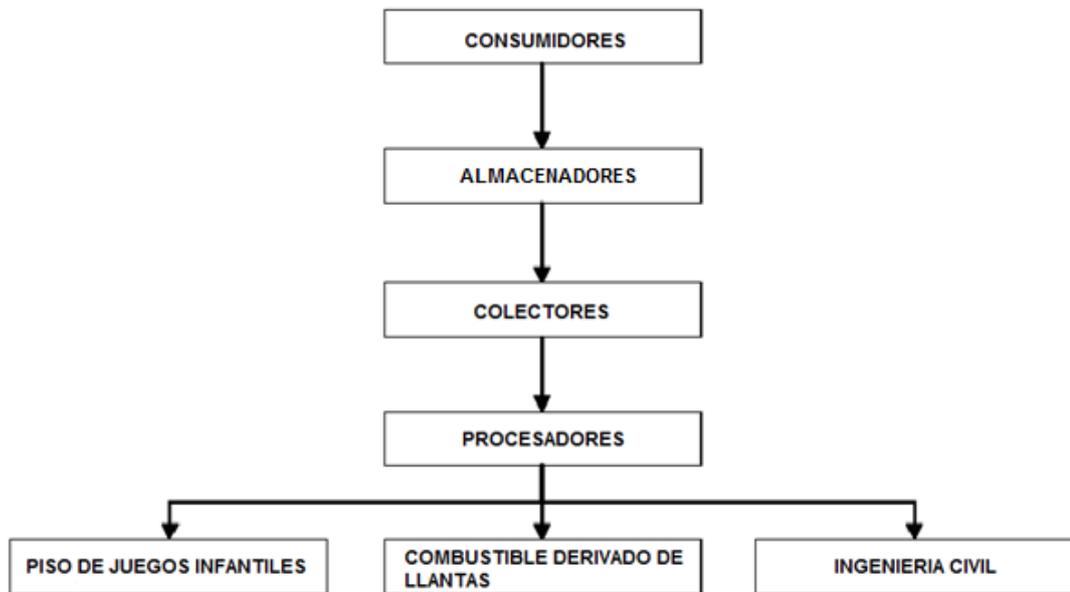


Fig. 1. 11 Estructura de la industria de reciclaje de las llantas SCRAP en la Unión Europea. Fuente: [15]

La Unión Europea ha realizado estudios para poder dar aplicaciones al NFU esto ha surgido técnicamente y económicamente viable en algunos casos, en la figura 1.12 muestra los porcentajes y su utilización.

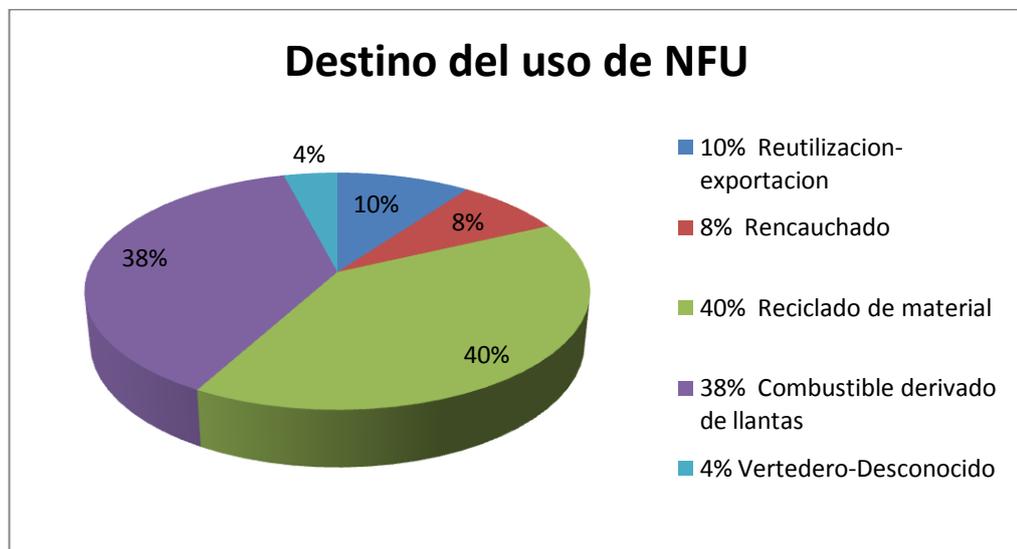


Fig. 1. 12 Destino de los NFU en la Unión Europea. Fuente: [17]

1.5.2.1 Análisis del reciclaje de NFU en algunos países de la Unión Europea.

➤ Alemania.

Alemania, el país más industrializado de la Unión Europea, probablemente con el mejor record de reciclaje de neumáticos SCRAP, a pesar que genera más neumáticos SCRAP que cualquier otra nación, esto es por su buen plan de reciclaje (78% en 2003). El proceso más importante en el mercado alemán es el combustible generado de neumáticos. Con todo este proceso de reciclaje Alemania no cuenta con una norma específica que aplique a los neumáticos SCRAP, al igual que no existe una organización que coordinen o manejen programas de reciclaje. [17]

➤ Francia.

La industria de reciclaje en Francia está todavía en una etapa inicial. Al ser un país altamente industrializado con grandes ventas de automotores, genera un gran número de NFU. Y este valor comparado con el número de reciclaje es totalmente alto. La mayoría de NFU generados en Francia son usados en vertederos, mientras que el resto son reciclados, sin embargo la tasa de reciclaje va en crecimiento ya que Francia está endureciendo sus leyes para cumplir con la normativa de la Unión Europea sobre vertederos y reciclaje. [17]

➤ Italia.

Italia ocupa el segundo lugar, entre los aleados de la Unión Europea, hablando en términos de tasa de reciclaje de NFU. Sin embargo cuando las exportaciones del producto final paran, paralelamente los porcentajes de reciclaje disminuyen y en par con el Reino Unido y otros países. En el 2003 Italia tuvo una tasa de reciclaje del 70% según el BLIC. La mayoría de los NFU son enviados a rellenos sanitarios. En este país no existe un organismo que supervise y gestione el reciclado del desecho de los neumáticos. Sin embargo el guiado y la asistencia provienen de una empresa privada llamado Eco.Pne.Us., que son fabricantes de neumáticos en Italia. Esta empresa no participa de recolección u opciones de tratamiento de NFU. Cada día el

gobierno italiano presiona a los fabricantes de neumáticos e importadores, responsabilidad por los NFU generados. [17]

➤ **España.**

España es el país con la tasa más baja de reciclaje de neumáticos entre los demás países de la Unión Europea. En el 2003 de los 301000 ton., de NFU generados solo el 25% fue reciclado o exportado, el resto son enviados a vertederos. Por ello los mercados finales no son bien establecidos. Las regulaciones son usualmente realizadas a nivel provincial. Como un resultado, las nivel de crecimiento de los NFU son prometedoras, por ello hay mucha incertidumbre debido a la falta de políticas adecuadas y marcos regulatorios. [17]

➤ **Reino Unido.**

El Reino Unido es el segundo más largo generador de NFU en la Unión Europea después de Alemania. El combustible de neumático y productos derivados de neumáticos es el más popular en el mercado del Reino Unido. Como el resto de la UE, el Reino Unido también tiene un proceso de estabilización viable de una industria de reciclaje de neumáticos. Esto ha sido necesario por los directivos de la UE para el manejo de los vertederos de los NFU. El Reino Unido ha confiado a los constructores de llantas e importadores con la responsabilidad del manejo y disposición adecuada de los neumáticos SCRAP. [17]

1.5.3 Canadá.

De acuerdo a datos recogidos por la Asociación Canadiense de Agencias de Reciclaje de Neumáticos (Canadian Association of Tire Recycling Agencies) Canadá, en el 2002, genero 20 millones de llantas scrap y su perspectiva de incremento es del 2% por año.

En este país se maneja el reciclaje con programas administrativos a nivel provincial, el gobierno promueve a la gente con incentivos para la recolección del neumático.

El programa generalmente maneja una autoridad provincial. Cada provincia tiene su propio programa administrativo, estos programas tanto en su estructura como en operación son similares en todos los estados. Los NFU y el SCRAP no tienen valor económico, es por eso que un buen programa administrativo será necesario que otorgue incentivos, promoviendo así el reciclaje. [15]

En la figura 1.13 se visualiza un organigrama del proceso de reciclaje que se utiliza en Canadá.

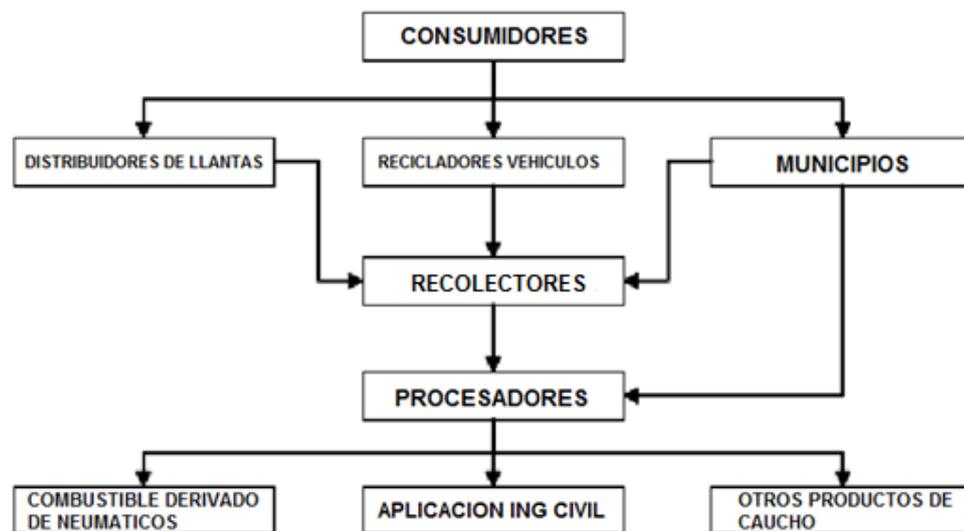


Fig. 1. 13 Estructura de la industria de reciclaje de las llantas SCRAP en Canadá. Fuente: [15]

Canadá tiene algunas maneras de volver a utilizar a los NFU o por lo menos de dar un buen uso. En la figura 1.14 se muestra los destinos que tienen los NFU en todo el país.

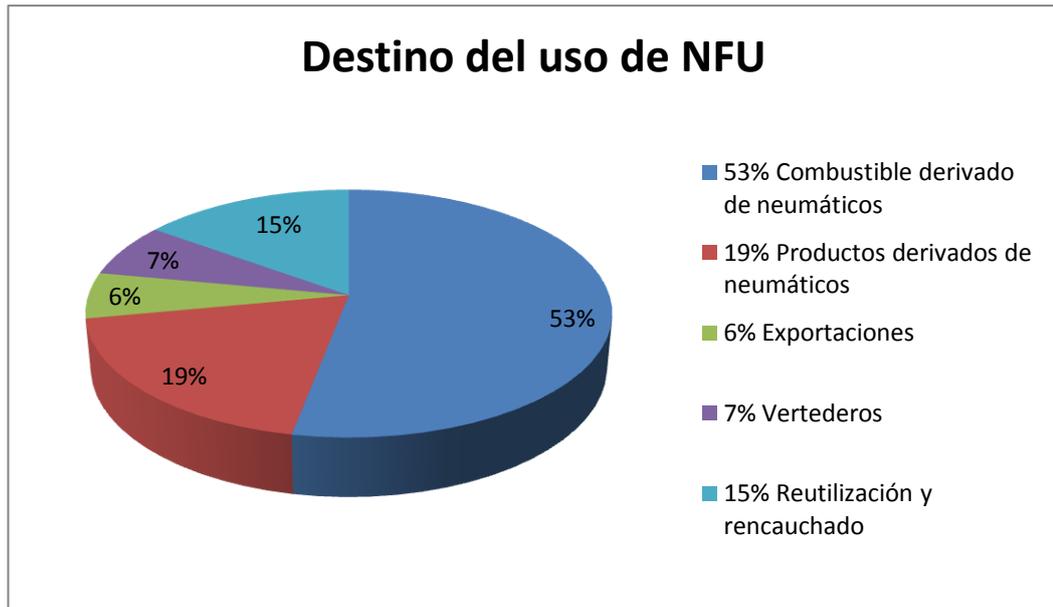


Fig. 1. 14 Destino del uso de NFU en Canadá. Fuente: [15]

1.5.4 Estados Unidos.

En los Estados Unidos, las industrias de reciclaje de las llantas SCRAP es el más largo en el mundo. En el 2003, los 290 millones de neumáticos SCRAP que son generados, 233 millones son reciclados. [19]

Muchos estados tienen programas administrativos para el manejo de los NFU, cerca de la mitad de los estados tienen reducido sus reservas menos de un millón de llantas, y estados como Minnesota y West Virginia han reducido sus reservas en su totalidad.

El proceso de reciclaje es muy parecido al de Canadá, la industria es guiada por programas de administración estatal. [15]

La figura 1.15 tenemos el proceso de reciclaje que es utilizado en Estados Unidos.

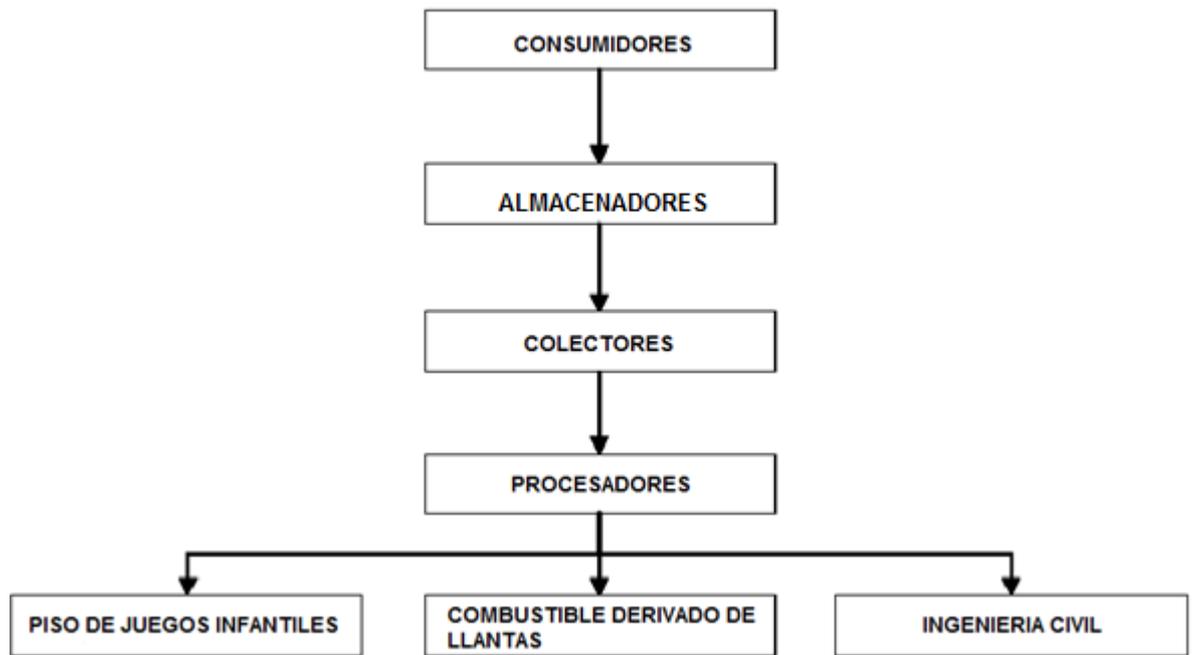


Fig. 1. 15 Estructura de la industria de reciclaje de las llantas SCRAP en Estados Unidos. Fuente: [15]

En la figura 1.16 se muestra los destinos que tienen los NFU en todo el país de los 130 millones generados por año.

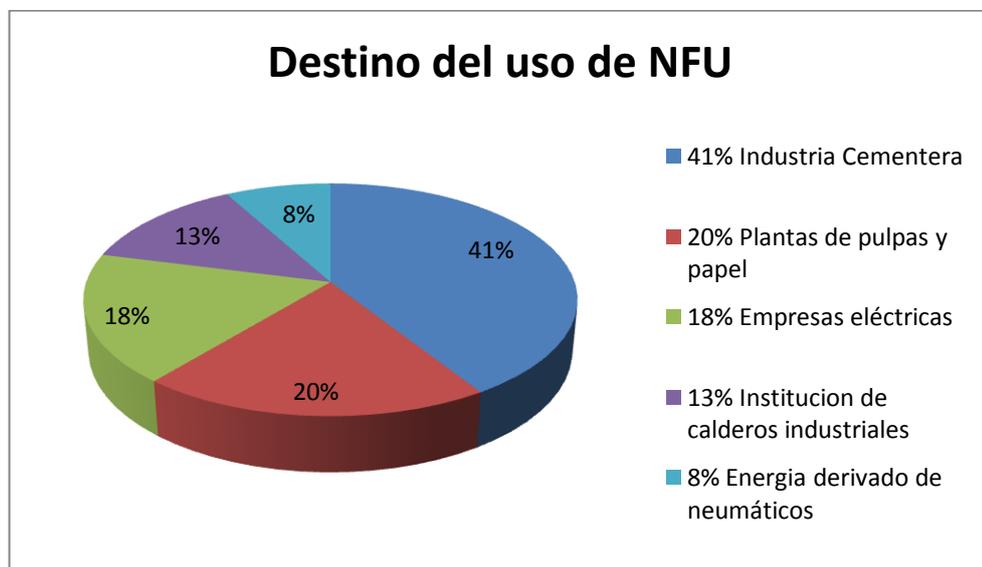


Fig. 1. 16 Destino del uso de NFU en Estados Unidos. Fuente [19]

1.5.5 México.

En México se desechan anualmente 28.5 millones de neumáticos fuera de uso el cual el 91% de dicha cantidad son abandonados irresponsablemente.

El país ha comenzado con un proyecto Estatal, que integra planes regionales, contemplando la reglamentación para depósito del usuario final, existen obligaciones para vulcanizadores y comerciantes de neumáticos nuevos y usados, cuentan con reglamentación para los sistemas de recolección, operación de centros de acopio y disposiciones para el municipio. [16]

La figura 1.17 plantea un organigrama que según un proyecto llamado Reciclaje-360, tiene el siguiente plan integral.

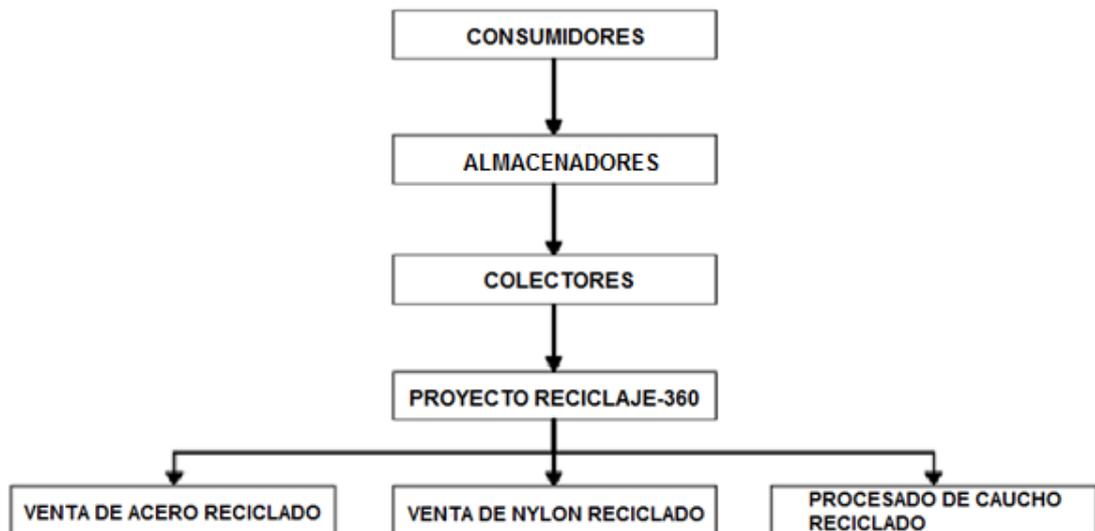


Fig. 1. 17 Estructura de la industria de reciclaje de las llantas SCRAP en México. Fuente [16]

México ha descuidado el manejo de los NFU, como se muestra en la figura 1.18, que compara porcentajes del destino de los NFU.

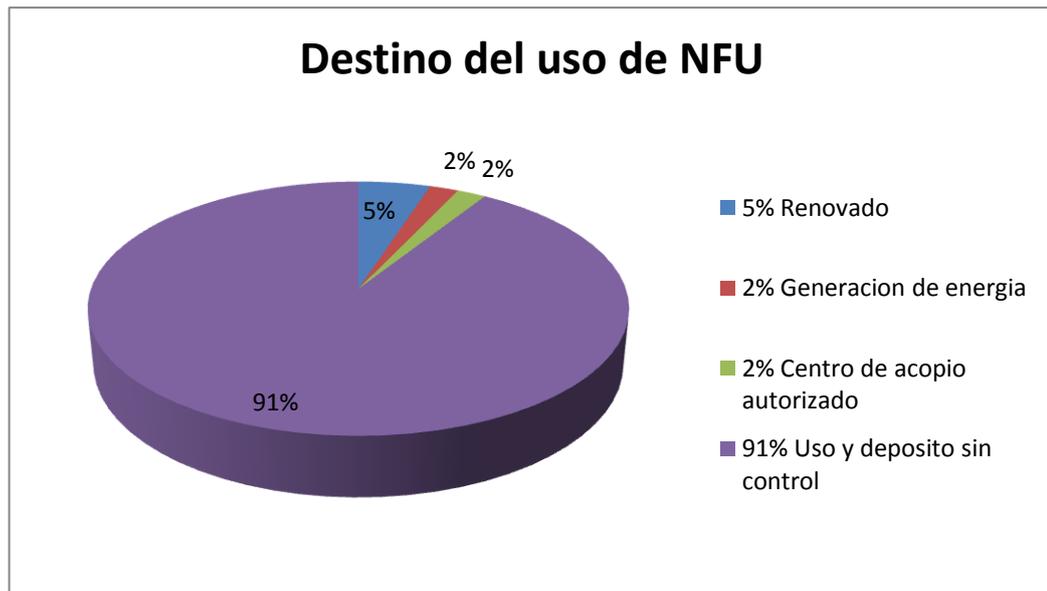


Fig. 1. 18 Destino del uso de NFU en México. Fuente: [16]

1.5.6 Brasil.

El país ya cuenta con tecnología industrial que produzca caucho regenerado por proceso en frío, obteniendo un producto reciclado con elasticidad y resistencia parecida al material virgen.

En Brasil el índice de reciclaje de neumáticos marco el 85%, esto se debe a que existe en el país entero como 30 empresas dedicadas a procesar neumáticos. [18].

El programa para la industria del reciclaje de NFU en Brasil se muestra en la siguiente figura 1.19.

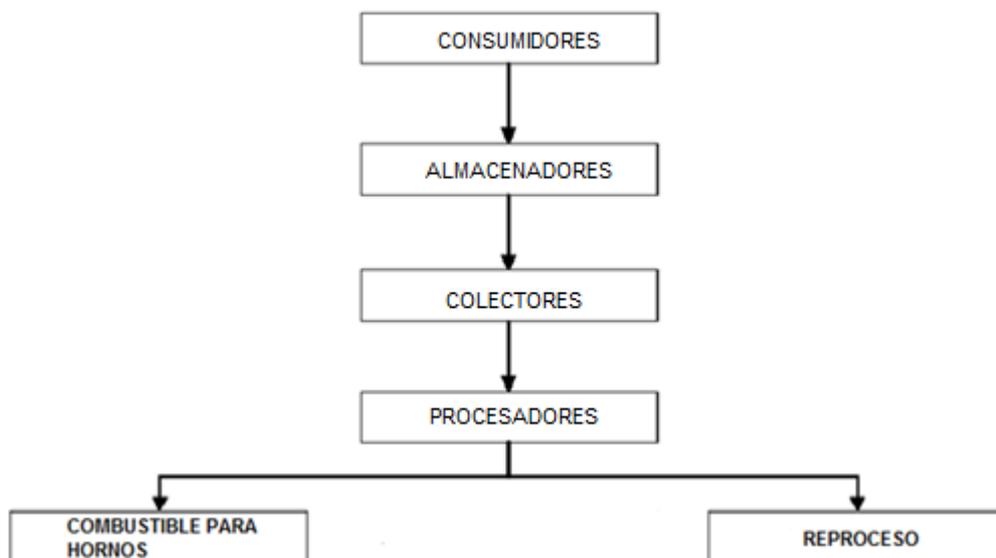


Fig. 1. 19 Estructura de la industria de reciclaje de NFU en Brasil. Fuente: [18]

En la parte del uso de los NFU, después de ser reciclado ha dado un avance en este país, así detalla la siguiente figura 1.20.

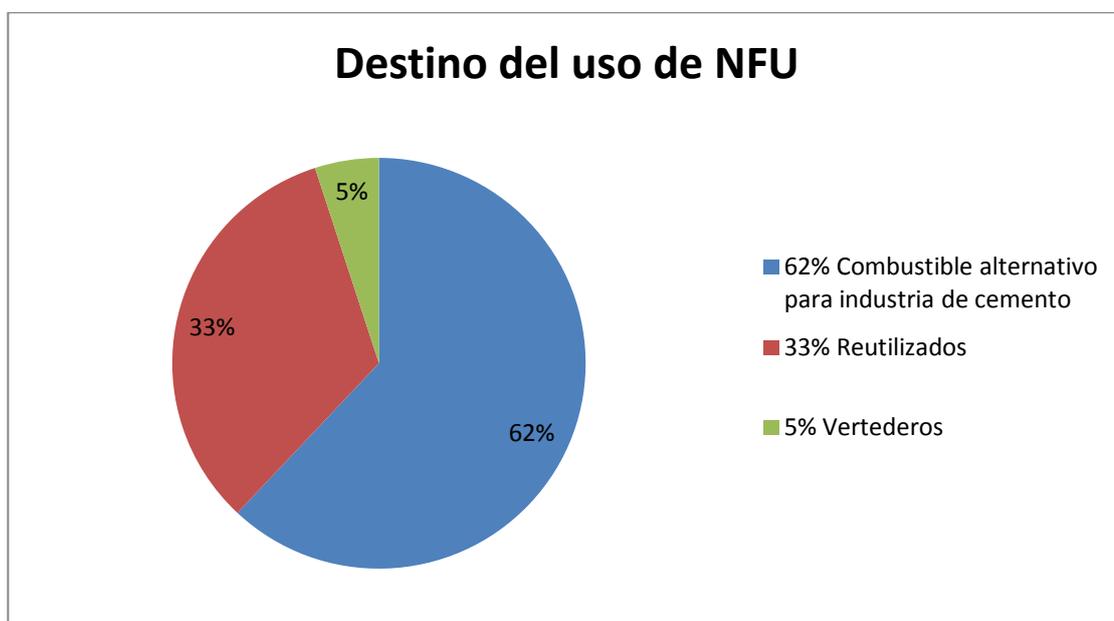


Fig. 1. 20 Destino del uso de NFU en Brasil. Fuente: [18]

1.5.7 Argentina.

Estudios realizados en este país declaran que 7 millones de desechos de NFU son generados por año, de la misma manera el Instituto Nacional de Tecnología

Industrial (INTI) estima que se generan más de 100.000 ton., anuales de residuos provenientes de neumáticos, el cual cerca de 40.000 proviene de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y el Gran Buenos Aires, conocido como AMBA.

En Argentina se ha desarrollado un procesamiento para recauchar los neumáticos usados, disminuyendo la importación de estos productos. Así con una ley puesta por el gobierno en Argentina prohibieron la importación de neumáticos recauchutados y usados, con excepciones específicas en el marco del Mercosur. [20]

Existe un nuevo plan de reciclaje de NFU en Argentina es por ello que Bridgeston y Pirelli Neumáticos, contienen un programa de responsabilidad social empresaria, y por medio de la Cámara de Industria del Neumático participan activamente del Programa de Reciclado de NFU, coordinado por el INTI. [21]. Con esta participación se avanzado con el siguiente proyecto

Proyecto argentino.

La ciudad de Buenos Aires analiza un proyecto CEAMSE-Regomax-INTI para el procesamiento de NFU. El objetivo que tienen es transformar neumáticos desechados en materia prima para otros proyectos productivos.

La figura 1.21 se observa la estructura de funcionamiento del reciclaje en Argentina, cabe recalcar que Pirelli envía a la planta Regomax S.A. el scrap industrial de su producción para ser reciclado.

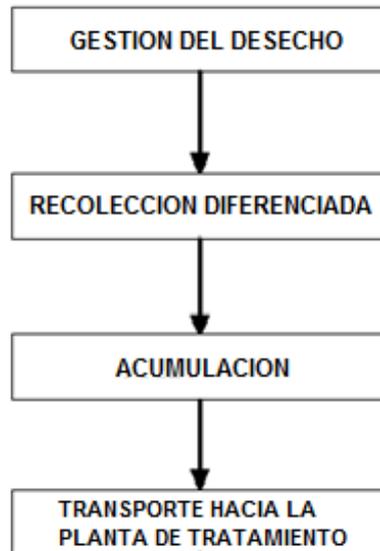


Fig. 1. 21 Estructura industrial de reciclaje de las llantas SCRAP en Argentina. Fuente [21]

No existen valores precisos del nuevo uso que se le da a los NFU, pues antes la mayor parte de los NFU terminaba en rellenos sanitarios o los abandonaban de manera irresponsable, en la actualidad Argentina tendrá mayor control con los NFU el plan de reciclaje dará como destino final, el uso en canchas deportivas de césped sintético y asfalto modificado. [21]

1.5.8 Colombia.

Se calcula que al año Colombia genera un promedio de 4,5 a 5,5 millones NFU, según estudios realizados por una empresa llamada MinAmbiente, muestra que los NFU provienen de automóviles, camionetas, camiones, y busetas alcanzando los 61 mil toneladas al año. [22]

Con esta problemática el gobierno colombiano cuenta con una Resolución 1457, el cual obliga a implementar sistemas de recolección selectiva de NFU, a los productores de 200 o más llantas al año, de igual manera a los que importen 50 o más vehículos sean estos automóviles, camiones, camionetas, buses, busetas y tractores con sus respectivas llantas, hasta rin 22,5 pulgadas. [22]

Desde el año 2009 Colombia ha empezado con este plan de reciclaje teniendo hasta la fecha 52 empresas recicladoras, entre las cuales están las ensambladoras e importadoras de carros y los fabricantes e importadores de llantas de todo el país.

En la figura 1.22 nos detalla la estructura del manejo de los NFU, para dar un material que pueda ser reutilizado. Este proceso es realizado por el grupo RENOVA que es una organización colombiana que recupera materiales renovables y no renovables entre ellos el NFU.

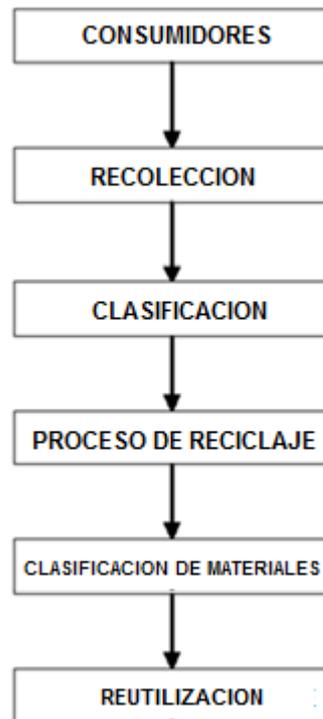


Fig. 1. 22 Estructura del manejo de los NFU en Colombia. Fuente: [23].

El destino de los NFU en Colombia va mejorando cada vez más, pues el porcentaje de reciclado en el año 2011 era de 20% de allí incrementa un 5% anual, hasta alcanzar el 75%. [22]

1.5.9 Chile.

Datos recogidos en el año 2008 muestra que Chile generó tres millones de neumáticos usados, que equivale a 42 mil toneladas de NFU, de ello el 95% terminó en basurales, en lugares desconocidos o no autorizados.

La Cámara de la Industria del Neumático de Chile (CINC) y el Consejo de Producción Limpia (CPL) firmaron un acuerdo para la recuperación de los NFU mejorando el reciclaje de este desecho, los resultados se ven después de cuatro años

de a ver realizado este convenio el porcentaje de reciclaje en Chile alcanza un 23% lo que quiere decir que recicla un millón y medio de neumáticos.

En la actualidad Chile llega a reciclar nueve mil toneladas de NFU al año, lo que ha eliminado más de 40 basurales clandestinos. En este convenio también incluyo que más de 160 puntos de venta, plantas recicladoras, productores de bandas de rodamiento y grandes usuarios están certificando sus procesos productivos.

Este proceso realizado a los NFU para su reciclaje a logrado situar a Chile como líder en Latinoamérica, considerando la cantidad de neumáticos reciclados contra los producidos e importados.

Para las empresas chilenas se lograron introducir un concepto de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), que consiste en mejorar el ciclo de vida de los productos (NFU), así se da una responsabilidad del productor en la recuperación y disposición final del producto que vende.

Chile cuenta con una empresa exclusiva para el reciclaje de neumáticos, esta lleva el nombre de Polambiente, esta empresa es la primera y única que tritura mecánicamente a los NFU, esta planta produce gránulo de caucho, usados para pavimentar caminos, como aislante o para canchas deportivas sintéticas. [24]

1.5.10 Uruguay.

En este país el consumo anual de neumáticos alcanza los 7 mil toneladas [25], a pesar de ello la gente de Uruguay a encontrado modos para evitar que los NFU sean abandonados.

Todos los NFU son recolectados de forma informal, es realizado por las vulcanizadoras y talleres mecánicos al momento de reemplazar los NFU por nuevos, luego cada uno de ellos lo pasa al sector informal.

Por otra parte algunos neumáticos de autos son reciclados en empresas de rencauchaje informal, en lugares como Montevideo y Canelones las empresas de

transporte pesado como camiones, autobuses y remolques reencauchan sus neumáticos hasta 4 veces.

En otras empresas el reciclaje son muy puntuales, estas se dedican a la destrucción de los NFU para finalmente depositar en terrenos.

Una aplicación más que se le da los NFU es como combustible para:

- Chacras, aquí queman los neumáticos para proteger a las plantas de las heladas en invierno.
- Ladrilleras, para usar como combustible en los hornos.
- Productores de azúcar de caña, los neumáticos se aplica como combustible para refinar y cristalizar el azúcar, esto es realizado en la zona de Bella Unión.

Esta aplicación no está bajo ningún control de emisiones gaseosas, el cual genera una fuerte contaminación atmosférica.

La aplicación de la cual cuenta con autorización ambiental es usar como combustible para hornos en plantas cementeras.

Como ultima aplicación en defensas de autódromo, muelles, en viviendas particulares, y en gran medida exportan informalmente a Brasil. [26]

1.5.11 Ecuador.

Se pudo constatar en capítulos anteriores, la cantidad de vehículos existentes en nuestro país, y a su vez el tiempo de consumo que se le puede dar a un neumático. Con esto percibimos el porcentaje de generación de NFU que va ganando nuestro territorio.

Es así que un informe del grupo Mavesa señala un valor promedio de 60 mil toneladas generados por año [27], este valor es a nivel nacional.

1.5.11.1 Políticas nacionales de residuos sólidos y normas para empresas reencauchadoras de neumáticos.

En Ecuador existen políticas sobre el manejo de los residuos sólidos comprometiendo a la ciudadanía y especialmente a las empresas generadoras de los

NFU, así el Art. 30 redacta que el estado ecuatoriano da como prioridad el compromiso total hacia los residuos sólidos, dando una responsabilidad en la cual participe toda la sociedad, contribuyendo al desarrollo sustentable, a través de un conjunto de políticas intersectoriales nacionales.

El Art. 35 va dirigido mas al ámbito técnico, este anima al desarrollo investigativo y uso tecnológico para minimizar el impacto ambiental y sobre todo a la salud, mediante un principio precautorio.

Las empresas dedicadas al reencauche deben cumplir con normas propuestas por el Ministerio de Industrias y Productividad (MIP), con esto las empresas reencauchadoras son inscritas en un Registro de Empresas Reencauchadoras a nivel nacional, las normas propuestas por el MIP son INEN 2581y 2582 que mencionan definiciones y procesos de reencauche.

Actualmente se incremento un nuevo reglamento técnico RTE INEN 067, habla del proceso de reencauche de neumáticos, el cual exige pruebas de ensayo en los neumáticos reencauchados, garantizando la calidad del producto y el cumplimiento de normas de calidad. [31]

1.5.11.2 Formas de reciclar en Ecuador.

En nuestro país existen ciudades que se han comprometido en reducir los NFU y dar una nueva aplicación.

Quito y Guayaquil: Se instalado una empresa llamada Reencauchadora del Pacifico S.A. (RENPACIF), esta empresa tendrá como objetivo la incrementación del porcentaje de neumáticos reencauchados, ya que hasta hoy es el 20% de los NFU generados anualmente. [27]

Islas Galápagos: Se ha realizado una campaña a través del Ministerio del Ambiente (MAE) y el Ministerio de Salud Pública (MSP) para movilizar 35 mil NFU desde las Islas, hacia el puerto de Guayaquil, para que a su vez empresas guayaquileñas den una nueva utilidad al material reciclado. Con esta campaña las islas Galápagos fueron declaradas como el primer territorio del Ecuador libre de NFU. [28].

Ambato: Existen artesanos que se han dado facilidades para reciclar los NFU, obteniendo de ellos caucho granulado en diferentes espesores, al neumático lo llegan a trocear de forma mecánica siendo muy útil el material para el desarrollo de esta tesis, además otras aplicaciones que se le da es en canchas sintéticas y para el asfaltado de carreteras. Cabe recalcar que la recolección de los NFU es informal pues no existe ningún plan de recolección.

Cuenca: Por tener la única empresa generadora de neumáticos en el país, nuestra ciudad se obligada a desarrollar muchos tipos de reciclaje de NFU y del SCRAP generado por Continental Tire Andina S.A.

Es por ello que la empresa Continental Tire Andina S.A. se ha comprometido en el reciclaje de NFU y del SCRAP, entre ellos se puede destacar los siguientes procesos:

- Renovallanta, es una empresa reencauchadora que cuenta con una capacidad de 2400 unidades, este proceso se lo realiza con bandas ContiTread especialmente al transporte público y privado de carga, pasajeros y construcción. [29]
- Donación de parques infantiles a escuelas y diferentes barrios de Cuenca, aquí utilizan neumáticos para elaborar juegos. [30]
- Convenios con artesanos que utilizan neumáticos reciclados, estos lo ocupan de forma entera, es decir sin llegar a trocearlo. Los artesanos llegan a crear productos como repuestos para vehículos, reparaciones de zapatos, comederos para chanchos y sogas para animales.

El resto de neumáticos son utilizados energéticamente, y votados en vertederos en el relleno de Pichancay, que es propiedad de la Municipalidad de Cuenca y operado por la Empresa Municipal de Aseo Cuenca (EMAC).

1.5.11.3 Plan de recolección.

Nuestro país no cuenta con un plan de recolección para los NFU, todas las recolecciones se los hace informalmente, así no contamos con datos exactos de

cuantos NFU genera Ecuador. En la figura 1.23 detallamos un diseño tentativo de cómo puede ser la recolección en nuestro país.

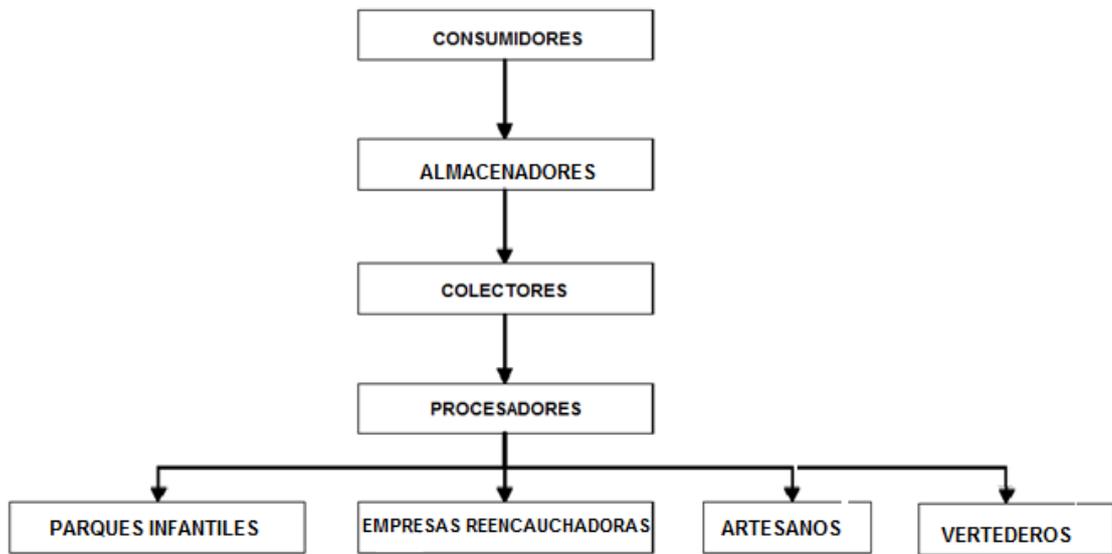


Fig. 1. 23 Diseño tentativo de recolección de NFU en Ecuador.

1.6 Conclusión.

La contaminación producido por los desperdicios humanos ha ido incrementado considerablemente, uno de ellos son los NFU, que por su forma y volumen ha causado malestar a nivel mundial. Como conclusión los países con mayor generación de este desperdicio, se han preocupado en reutilizar como productos que cubran necesidades, desarrollando diferentes maneras de reciclar los neumáticos para obtener la materia prima. La población de estos países junto a su gobierno ha logrado socializar un acuerdo y planificar procesos para el reciclaje de los NFU, comenzando desde su recolección hasta llegar a la obtención de las F-NFU. Hemos comprobado que en nuestro país el interés por el reciclaje de este desperdicio es muy bajo. Pues su nivel de contaminación no es tan alto como en otros países, pero con planificaciones para su recolección y reciclaje, se podrá controlar de una manera sana y sin peligro alguno.

CAPITULO 2.

Características físicas, mecánicas y químicas del caucho reciclado.

2.1 Introducción.

En el presente capítulo se describe el proceso desarrollado para elaborar probetas de material elastomérico a partir de F-NFUs. Se realizaron una serie de caracterizaciones para determinar propiedades físicas y mecánicas. Se presenta el procedimiento normalizado para la elaboración de cada ensayo y los resultados de cada uno. Los ensayos fueron realizados en el centro de ensayos físicos de Continental Tire Andina S.A. Se utilizaron seis probetas de cada composición y se desecharon aquellas que presentaron los valores más altos y más bajos. En los siguientes apartados se describen los ensayos realizados.

2.2 Procesos, ensayos y equipos.

2.2.1 Proceso para obtener probetas vulcanizadas de NFU.

Laboratorio: Centro de ensayos físicos Continental Tire Andina S.A.

NORMA: Preparación y vulcanización de anillos para: densidad, tensión, rebound y dureza: PLCU – S – LA – P – 00 – WI – 0019 – 14¹

Introducción al proceso:

El laboratorio de Continental Tire Andina realiza prensados en muestras de caucho, que serán utilizados en la construcción de neumáticos, bajo normas que implican dimensiones y tolerancias. Bajo este concepto se realizaron varios prensados de F-NFU, con diferentes porcentajes de azufre, obteniendo probetas con medidas que cumplen las tolerancias establecidas.

¹ Norma obtenida de la empresa alemana Continental.

Materiales:

➤ **Balanza analítica de precisión.**



Marca: Mettler Toledo

Capacidad: Max. 3100gr – Min. 5gr

Precisión: 0.5 mg

Procedencia: Nueva York

Normalizado por: Laboratorio de Metrología Continental Tire Andina.

Fig. 2. 1 Balanza analítica. Fuente: Autor

➤ **Molde para probetas según PLCU – S – LA – P – 00 – WI – 0019 – 14¹.**



Material: Acero inoxidable

Numero de cavidades: 16

Procedencia: Cuenca - Ecuador

Normalizado por: Laboratorio de Metrología Continental Tire Andina.

Fig. 2. 2 Molde para elaboración de probetas. Fuente: Autor

➤ **Prensa hidráulica para caucho**



Marca: PSI

Capacidad: 8 a 50 t.

Procedencia: Ciudad de Industrias California U.S.A.

Normalizado por: Laboratorio de Metrología Continental Tire Andina

Fig. 2. 3 Prensa hidráulica para caucho. Fuente: Autor

Procedimiento:

➤ **Mezcla de materiales:** Para la preparación del material a ser vulcanizado, se procede a mezclar diferentes porcentajes del compuesto reciclado y azufre, estos porcentajes están configurados con respecto a la masa de cada material.

➤ **Calculo de la masa.**

Mediante experimentación se determinó la densidad del material de partida y con el volumen que tiene el molde, se procede a calcular la masa.

Volumen

$$V = A \cdot e \text{ [1a]} \quad ; \quad V = \pi \cdot r^2 \cdot e \text{ [1b]}$$

Donde, V es el volumen en cm^3 ; A es el área en cm^2 ; e es el espesor en mm; r es el radio en mm.

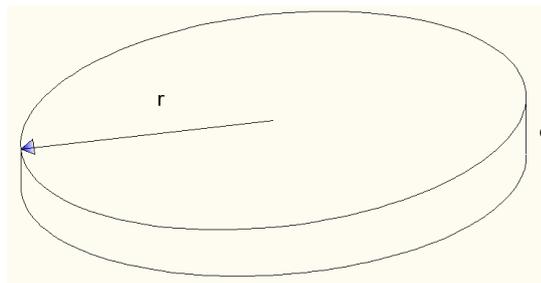


Fig. 2. 4 Dimensiones de la probeta de ensayo. $r=34\text{mm}$; $e=6.3\text{mm}$.

$$V = \pi \cdot 34^2 \cdot 6,3$$

$$V = 22879,6 \text{ mm}^3 \approx 22,88 \text{ cm}^3$$

Densidad

$$\delta = 1,05 \text{ Kg/l}$$

$$1 \text{ Kg/l} \approx 1 \text{ g/cm}^3$$

$$\delta = 1,05 \text{ g/cm}^3$$

Masa

$$m = V \cdot \delta \text{ [2].}$$

$$m = 22,88\text{cm}^3 \cdot 1,05 \text{ g/cm}^3$$

$$m = 24,024 \text{ g}$$

Con este valor de la masa se procedió a realizar pruebas de prensado, dando como resultado probetas con superficies irregulares. La condición mejoró al aumentar la masa a 30g, este valor sirvió de base para el cálculo de los diferentes porcentajes.

➤ **Mezcla de compuestos según la masa.**

Para las probetas prensadas se utilizaron diferentes porcentajes del material reciclado y azufre, con pruebas piloto se concluyó que con porcentajes de azufre mayores al 6.5% su dureza impide realizar los análisis de propiedades, de esta manera en la tabla 2.1 se detalla los valores porcentuales con los que se realizó las pruebas. Para comparar datos se realizaron 6 probetas de cada porcentaje.

Tabla 2. 1 Valores de porcentajes de los compuestos. Fuente: Autor

CONFIDENCIAL

Estos materiales son pesados en la balanza analítica de precisión

➤ **Prensado de probetas.**

Luego de haber pesado y mezclado los compuestos, se colocaron manualmente en un molde de anillos figura 2.2 que tiene tres planos de partición, se procuró colocar la misma altura y homogéneamente, en toda su área. El compuesto mezclado se colocó en los cuatro anillos centrales, para que tenga mayor compactación. Como siguiente paso se colocó la mezcla en la prensa hidráulica, como se muestra en la fig. 2.3 con las siguientes condiciones:

Temperatura: 392°F – 200°C, Presión: 820 psi y Tiempo: 15 min

Después de haber prensado las probetas se dejaron reposar 12 horas en agua, y 4 horas a temperatura ambiente. Así el análisis de las propiedades físicas tendrá valores confiables. Las probetas se observan en la siguiente figura 2.5

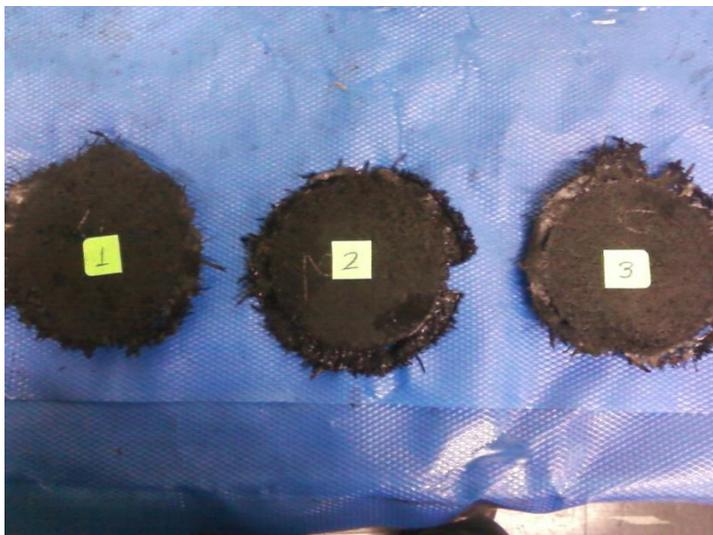


Fig. 2. 5 Probetas obtenidas después de ser prensadas.

2.2.2 Ensayo para determinar la densidad de las F-NFU.

Laboratorio: Centro de ensayos físicos Continental Tire Andina S.A.

NORMA: DIN EN ISO 1183 – 1.

Introducción al ensayo:

Determina la densidad de muestras vulcanizadas, sin presencia de burbujas por el método de inmersión. Este método determinará materiales vulcanizados de cualquier forma.

Materiales.

- Balanza analítica con precisión de 0.5mg y display digital. Fig. 2.6.



Marca: Mettler Toledo

Capacidad: Max. 110g – Min. 10mg

Procedencia: Nueva York

Normalizado por: Laboratorio de Metrología
Continental Tire Andina

Fig. 2. 6 Balanza analítica. Fuente: Autor.

- Plato superior para pesar la muestra en el aire.
- Cesta inferior para pesar la muestra en el agua.
- Vaso de precipitación.
- Termómetro con una exactitud de 0.5°C.
- Pinzas.
- Materiales vulcanizados

Procedimiento

Los materiales vulcanizados deben estar en su totalidad libres de burbujas. En el vaso de precipitación se debe colocar una solución al 0.1% de jabón en agua destilada (para a la eliminación de burbujas de aire), y acoplar el termómetro. (El agua debe ser cambiada por lo menos una vez a la semana).

Acoplar el plato superior y la canasta inferior (ésta debe estar completamente sumergida en el agua y no debe tocar las paredes del vaso de precipitación). La muestra de ensayo debe estar completamente limpia y seca.

En la Fig. 2.7 se observa el proceso para obtener la densidad de las probetas de caucho.



Fig. 2. 7 Conjunto para medir la densidad en probetas de caucho. Fuente: Autor

Se debe tomar los datos del peso en el aire y de la misma manera cuando se encuentre sumergido en el agua, luego se aplica la siguiente formula:

$$\rho = APxFc [3]$$

Donde, ρ es la densidad; A el peso de la muestra en el aire. [g] ; P es el peso de la muestra en el agua. [g]; Fc es el Factor de corrección de densidad del agua destilada a la temperatura del ensayo. [Kg/l]

El software Labsystem® está programado para recoger los datos y realizar automáticamente el cálculo, reportando directamente los resultados.

2.2.3 Ensayo para determinar la dureza de las F-NFU.

Laboratorio: Centro de ensayos físicos Continental Tire Andina S.A.

NORMA: DIN ISO 53505

ASTM D2240

Introducción al ensayo

Según fuente [35], el caucho sólido tiene una dureza que va desde 20 Shore A que representa el punto de suavidad extrema y 98 Shore A que constituye el valor de mayor dureza.

Materiales.

- Durómetro y sus accesorios. Figura 2.8

Marca: Zwick

Unidad: Shore A

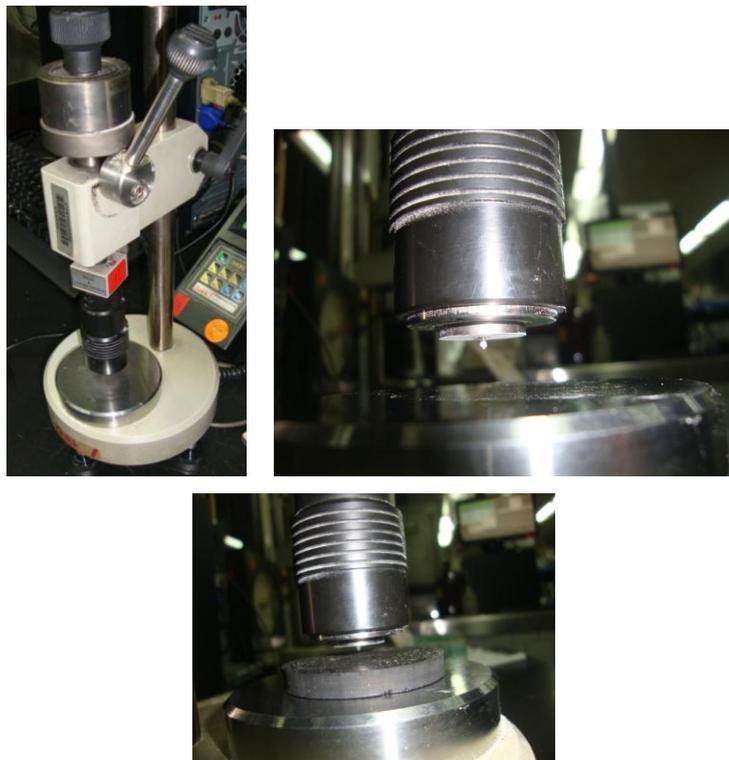


Fig. 2. 8 Durómetro y accesorios. Fuente: Autor.

- Piezas de ensayo

Procedimiento

Control del equipo.

Para el control del dispositivo de prueba y zona de apoyo del equipo se deben mantener limpios. El durómetro es calibrado cada seis meses.

Piezas de ensayo.

Los discos deben tener dos caras planas y paralelas, con un diámetro de 44.6mm y un espesor de 6.3 ± 3 mm.

Estas muestras no deben ser expuestas a tensión mecánica antes de la prueba.

Para obtener la medida necesaria para los ensayos, la probeta es troquelada quedando así dos anillos para el uso de los ensayos.

En la figura 2.9 se observa el troquel del cual se obtiene las probetas con las dimensiones establecidas para realizar el ensayo de dureza.

Troquel de marca Zwick.

Procedencia: Alemania

Cuenta con 3 punzones estandarizados.

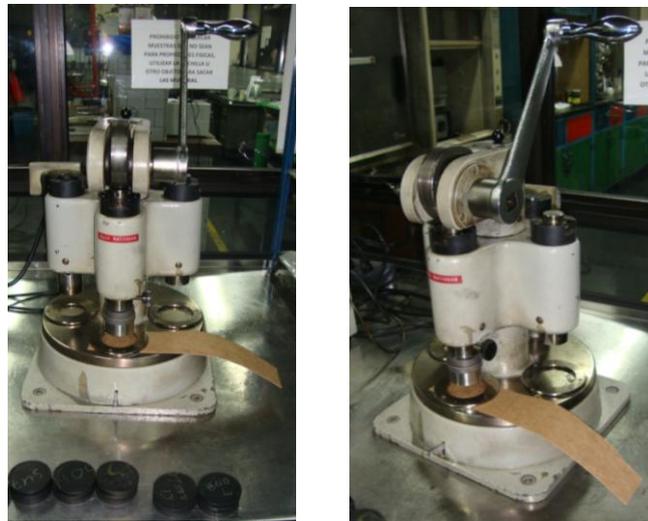


Fig. 2. 9 Troqueladora para discos de caucho. Fuente: Autor

Preparación de la muestra y condiciones de prueba.

La prueba debe llevarse a cabo a una temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Las muestras tienen que ser cortadas al menos 12 horas antes de la prueba y como mínimo 16 horas después de ser vulcanizadas.

Las muestras deben ser acondicionadas a la temperatura de prueba al menos 30 minutos antes de realizar el ensayo.

Reporte de resultados.

Los reportes serán reportados automáticamente en Labsystem®.

2.2.4 Resistencia a la tracción (Tensión).

Laboratorios: Centro de ensayos físicos Continental Tire Andina S.A.

NORMA: DIN 53504 – R1

DIN EN ISO 1183 – 2

DIN ISO 5725

Densidad: PLCU – S – LA – P – 00 – WI – 0013 – 14

Introducción al ensayo:

Con este ensayo se obtuvieron valores de resistencia a la tensión, de elongación y módulo de elasticidad a 50MPa y 100MPa. Para garantizar este ensayo se obtuvieron probetas homogéneas en toda su área.

Materiales:

➤ Equipo.

Tensómetro Zwick con poleas para montaje de anillos. Fig. 2.10. El Tensómetro es calibrado una vez al año.

➤ **Piezas de ensayo.**

Anillos estándar R1: diámetro interno $d = 44.6\text{mm}$, diámetro externo $D = 52.6\text{mm}$ y espesor $6.3 \pm 3\text{mm}$.

Los anillos que tengan materia extraña ó defectos en el cortado no deben ser usados.
Los anillos no deben ser estirados antes de la prueba.

Principio de ensayo.

El anillo R1 es colocado en las poleas del Tensómetro y estirado hasta la ruptura, mientras que la curva fuerza – elongación es registrada.

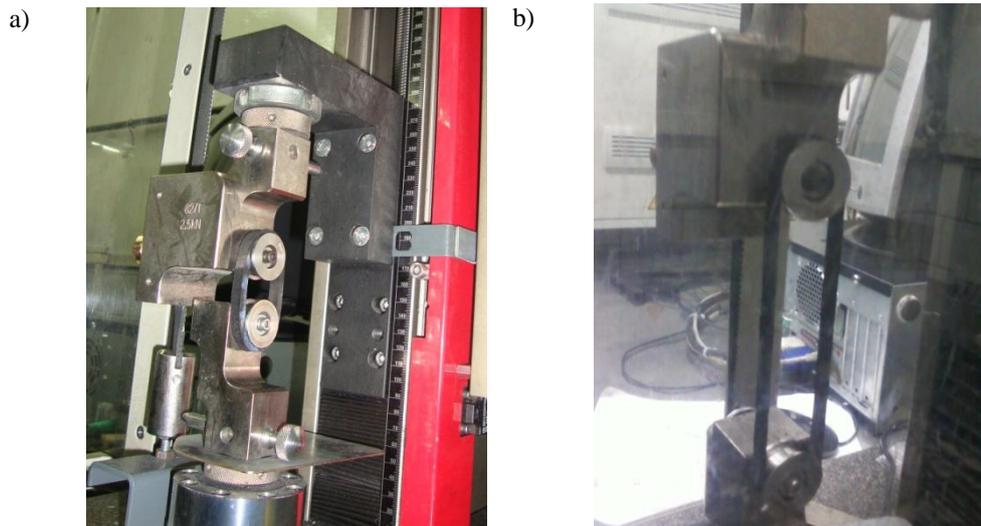


Fig. 2. 10 Tensómetro Zwick, a) montaje del anillo; b) detalle del anillo en su estiramiento. Fuente: Autor.

Condiciones de prueba.

La prueba debe ser llevada a cabo a $23 \pm 2^\circ\text{C}$, no antes de 16 horas después de la vulcanización. La velocidad de desplazamiento es 500 mm/min .

Reporte de Resultados.

Los resultados serán reportados automáticamente en Labsystem®, con una precisión de 0.1%.

2.3 Resultados y gráficos.

Una vez realizados los ensayos se reportaron los siguientes resultados:

Ensayo 1. Se presentan tabulados los resultados de los ensayos realizados a las diferentes probetas con -----% de F-NFU.

Tabla 2. 2 Resultados de ensayos a probetas con -----% de F-NFU. Fuente: Autor.

PROPIEDAD	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROBETA 4	PROBETA 5
Densidad [Kg/l]	1.050	1.060	1.05	1.05	1.06
Dureza [SH-A]	45.2	45.7	46.2	47.6	43.3
Tensión [MPa]	1.4	1.3	1.4	1.3	1.4
Elongación [%]	158	145	146	139	164
MD 050 [MPa]	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
MD 100 [MPa]	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Rebound [%]	34.4	35.6	34.6	34.8	36.6

Ensayo 2. Se presentan tabulados los resultados de los ensayos realizados a las diferentes probetas con -----% de F-NFU y -----% de Azufre.

Tabla 2. 3 Resultados de ensayos a probetas con -----% de F-NFU y -----% de Azufre. Fuente: Autor.

PROPIEDAD	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROBETA 4	PROBETA 5
Densidad [Kg/l]	1.090	1.090	1.090	1.09	1.09
Dureza [SH-A]	50.1	50.3	49.1	49.5	51.5
Tensión [MPa]	2.2	2.1	1.9	2.2	2.5
Elongación [%]	186	165	162	182	199
MD 050 [MPa]	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
MD 100 [MPa]	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4
Rebound [%]	37.2	37.8	37	38	38

Ensayo 3. Se presentan tabulados los resultados de los ensayos realizados a las diferentes probetas con -----% de F-NFU y -----% de Azufre.

Tabla 2. 4 Resultados de ensayos a probetas con -----% de F-NFU y -----% de Azufre. Fuente: Autor.

PROPIEDAD	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROBETA 4	PROBETA 5
Densidad [Kg/l]	1.130	1.130	1.130	1.120	1.130
Dureza [SH-A]	57.5	55.2	56.2	55.1	60.4
Tensión [MPa]	4.4	4.6	4	4.4	4.5
Elongación [%]	200	210	216	218	186
MD 050 [MPa]	1	1	1	1	1
MD 100 [MPa]	1.9	2	1.9	1.9	2
Rebound [%]	35	34.8	34.8	35.6	34.2

Ensayo 4. Se presentan tabulados los resultados de los ensayos realizados a las diferentes probetas con -----% de F-NFU y -----% de Azufre.

Tabla 2. 5 Resultados de ensayos a probetas con -----% de F-NFU y -----% de Azufre. Fuente: Autor.

PROPIEDAD	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROBETA 4	PROBETA 5
Densidad [Kg/l]	1.150	1.140	1.160	1.150	1.150
Dureza [SH-A]	62.8	65.4	64.7	64.2	60.8
Tensión [MPa]	4.2	3.4	4	4.2	4.6
Elongación [%]	131	123	131	139	149
MD 050 [MPa]	1.6	1.4	1.5	1.5	1.5
MD 100 [MPa]	3.4	3.1	3.2	3.1	3.2
Rebound [%]	25.8	28	27.6	28	27.2

Ensayo 5. Se presentan tabulados los resultados de los ensayos realizados a las diferentes probetas con -----% de F-NFU y -----% de Azufre.

Tabla 2. 6 Resultados de ensayos a probetas con -----% de F-NFU y -----% de Azufre. Fuente: Autor.

PROPIEDAD	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROBETA 4	PROBETA 5
Densidad [Kg/l]	1.150	1.150	1.160	1.150	1.150
Dureza [SH-A]	67.5	70.2	67.5	67.5	67.7
Tensión [MPa]	4.3	4.2	4.2	4.1	3.9
Elongación [%]	123	109	115	106	104
MD 050 [MPa]	1.9	2.1	2	2.1	2.1
MD 100 [MPa]	--	--	--	--	--
Rebound [%]	23	22.6	24	24.8	21.2

Ensayo 6. Se presentan tabulados los resultados de los ensayos realizados a las diferentes probetas con -----% de F-NFU y -----% de Azufre.

Tabla 2. 7 Resultados de ensayos a probetas con -----% de F-NFU y -----% de Azufre. Fuente: Autor.

PROPIEDAD	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROBETA 4	PROBETA 5
Densidad [Kg/l]	1.160	1.160	1.160	1.160	1.160
Dureza [SH-A]	75.8	79.5	75.2	80.9	71.2
Tensión [MPa]	4.6	4	4.7	4.6	4.6
Elongación [%]	65	63	64	78	85
MD 050 [MPa]	3.7	3.3	3.2	3.3	3.5
MD 100 [MPa]	--	--	--	--	--
Rebound [%]	15.6	13.6	14.8	15.2	13.2

2.4 Resultados.

A continuación se reportan los resultados tabulados de cada ensayo realizado a las probetas, con estos valores se obtienen las gráficas que posteriormente serán evaluadas. El efecto de cada variable experimental en las propiedades físicas y mecánicas del material fue analizado. Se ha establecido como aceptable, un 10% de variación [CV] en los datos, con lo que se consideran los errores del procedimiento que pudieron afectar la precisión de los resultados.

2.4.1 Evaluación de la Densidad.

DENSIDAD						
	ENSAYO 1 -----% S	ENSAYO 2 -----% S	ENSAYO 3 -----% S	ENSAYO 4 -----% S	ENSAYO 5 -----% S	ENSAYO 6 -----% S
	1,05	1,09	1,13	1,15	1,15	1,16
	1,06	1,09	1,13	1,14	1,15	1,16
	1,05	1,09	1,13	1,16	1,16	1,16
	1,05	1,09	1,12	1,15	1,15	1,16
	1,06	1,09	1,13	1,15	1,15	1,16
VALOR MEDIO	1,054	1,09	1,128	1,15	1,15	1,16
DESVIACION ESTANDAR	0,01	0	0,004	0,01	0,004	0
DESVIACION PORCENTUAL	0,52	0	0,40	0,61	0,39	0

Tabla 2. 8 Valores del efecto en la densidad según el contenido de azufre.

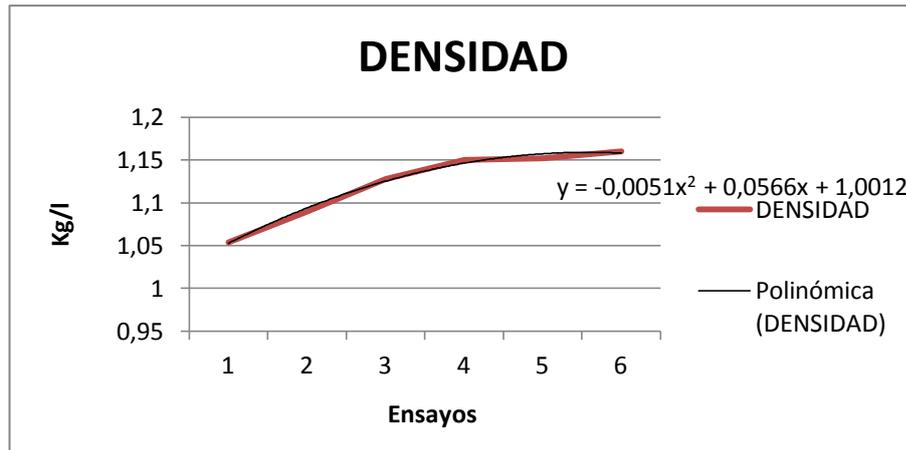


Fig. 2. 11 Efecto en la densidad según el contenido de azufre.

➤ **OBSERVACIÓN.**

Con los valores obtenidos de los ensayos y al observar la gráfica, se deduce que la densidad tiende a aumentar hasta el ENSAYO 5, después de este punto se presenta estabilidad en la densidad. Así el azufre llega a ser un aditivo importante para las F-NFU, pues su variación en porcentaje permite trabajar con un producto que tenga el mismo volumen, pero con la posibilidad de variar su masa. Otra ventaja que se puede obtener con la variación del azufre es aumentar o disminuir su grado de compactación, obteniendo un producto de característica hiperelástica o a su vez más rígido.

2.4.2 Evaluación de la Dureza.

Tabla 2. 9 Valores del efecto en la dureza según el contenido de azufre.

DUREZA						
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5	ENSAYO 6
	---% S					
	45,2	50,1	57,5	64,2	67,5	75,8
	45,7	50,3	55,2	65,4	70,2	79,5
	46,2	49,1	56,2	64,7	67,5	75,2
	47,6	49,5	55,1	64,2	67,5	80,9
	43,3	51,5	60,4	60,8	67,7	71,2
VALOR MEDIO	45,6	50,1	56,88	63,86	68,08	76,52
DESVIACION ESTANDAR	1,57	0,92	2,19	1,78	1,19	3,83
DESVIACION PORCENTUAL	3,44	1,83	3,85	2,79	1,75	5,00

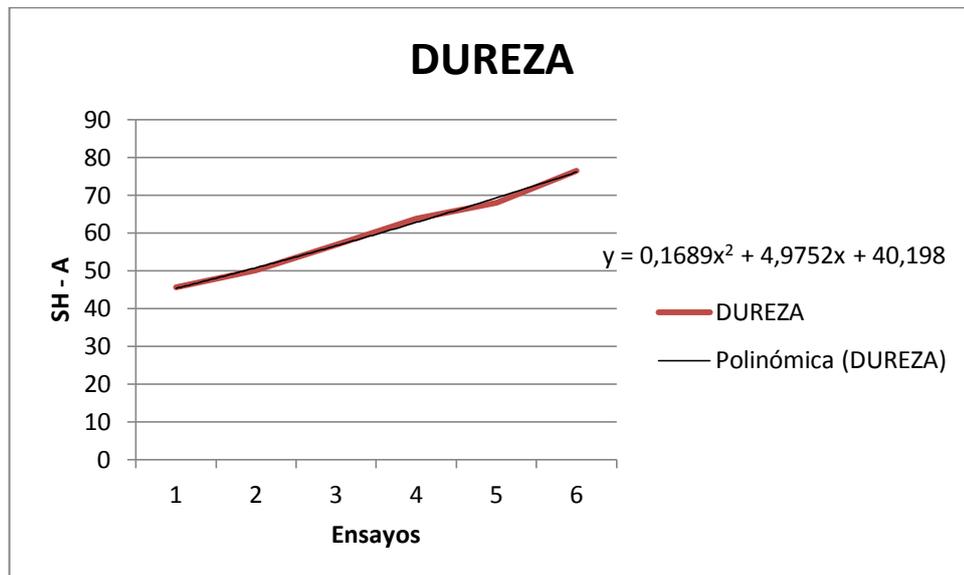


Fig. 2. 12 Efecto en la dureza según el contenido de azufre.

➤ **OBSERVACIÓN.**

El azufre en el caucho actúa como un vulcanizante, haciendo que se reticulen las moléculas y formen cadenas ramificadas. Lo mismo ocurre cuando se utiliza como un aditivo vulcanizador para las F-NFU, haciendo que se pueda revulcanizar el material reciclado. Pues al momento de añadir azufre continúa las ligaduras de las cadenas, formando más puentes químicos, según se menciona en el capítulo 1.4.3 (Vulcanización de los elastómeros).

Según el gráfico, el nivel de entrelazamiento es mayor cuando el nivel de azufre aumenta, esto hace que la dureza incremente. Deduciendo que se puede dar a las F-NFU una alta dureza, con una gran compactación, aumentado las posibilidades de cubrir varias necesidades.

2.4.3 Evaluación de la Tensión.

Tabla 2. 10 Valores del efecto en la tensión según el contenido de azufre.

Tensión						
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5	ENSAYO 6
	---% S					
	1,4	2,2	4,4	4,2	4,3	4,6
	1,3	2,1	4,6	3,4	4,2	4
	1,4	1,9	4	4	4,2	4,7
	1,3	2,2	4,2	4,2	4,1	4,6
	1,4	2,5	4,5	4,6	3,9	4,6
VALOR MEDIO	1,36	2,18	4,34	4,08	4,14	4,5
DESVIACION ESTANDAR	0,05	0,22	0,24	0,44	0,15	0,28
DESVIACION PORCENTUAL	4,03	9,94	5,55	10,74	3,66	6,29

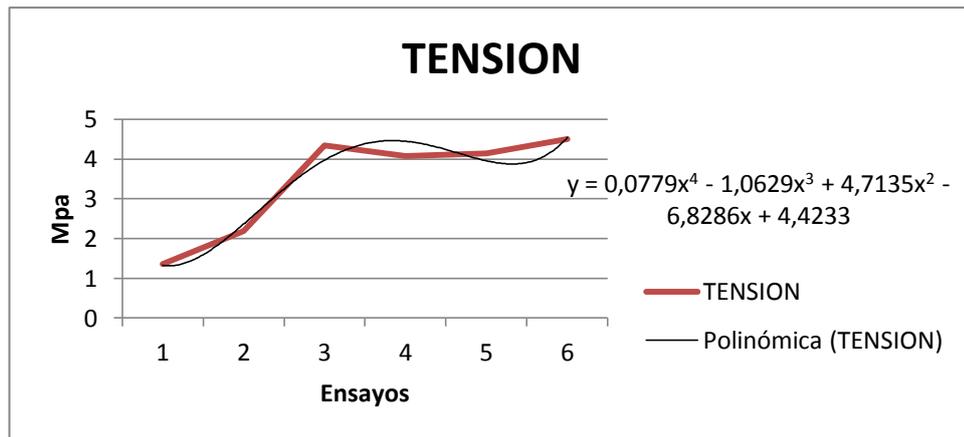


Fig. 2. 13 Efecto en la tensión según el contenido de azufre.

➤ **OBSEVACION.**

La finalidad de este ensayo es conocer la resistencia que tiene las probetas ante una carga de estiramiento. Los resultados obtenidos generan una curva que va en aumento, de acuerdo al porcentaje de azufre añadido a las F-NFU, pero al momento de llegar a los ensayos 3 y 5 la resistencia al esfuerzo de estiramiento comienza a disminuir hasta tener un mínimo, sin presentar grandes variaciones con los resultados, luego en el ensayo 6 la resistencia aumenta. Esto indica que al mezclar las F-NFU con porcentajes de azufre, desde el 3 y 5 ensayo no se observa un efecto considerable en la resistencia a la tracción.

2.4.4 Evaluación de la Elongación.

Tabla 2. 11 Valores del efecto en la elongación según el contenido de azufre.

ELONGACION						
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5	ENSAYO 6
	---% S					
	158	186	200	131	123	65
	145	165	210	123	109	63
	146	162	216	131	115	64
	139	182	218	139	106	78
	164	199	186	149	104	85
VALOR MEDIO	150,4	178,8	206	134,6	111,4	71
DESVIACION ESTANDAR	10,26	15,35	13,19	9,84	7,70	9,92
DESVIACION PORCENTUAL	6,82	8,59	6,40	7,31	6,91	13,98

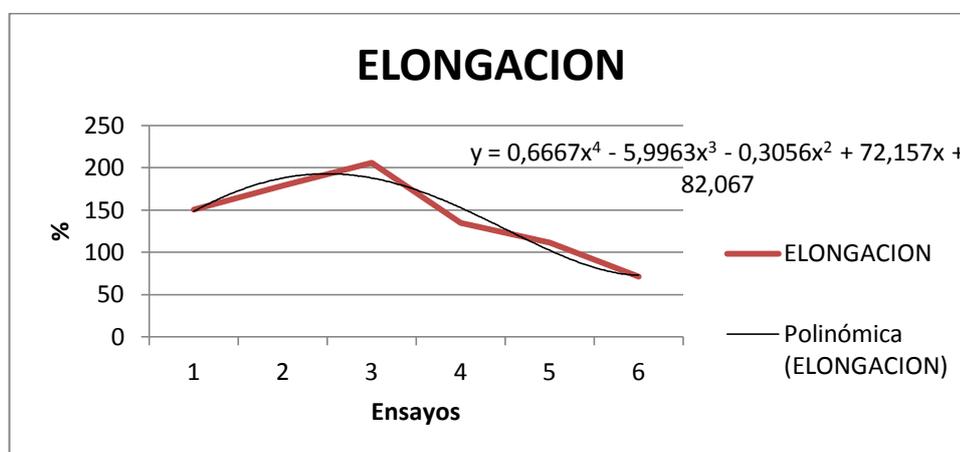


Fig. 2. 14 Efecto en la elongación según el contenido de azufre.

➤ OBSERVACIÓN.

Con el ensayo de la elongación podemos saber el cambio que va teniendo la forma de las probetas, al momento que está bajo una tensión dada. Los valores obtenidos en los diferentes ensayos generan una gráfica con una curva que alcanza un máximo en

el 3 ensayo, pero al continuar con las siguientes mezclas el valor de la elongación empieza a decrecer, pues está relacionado con la dureza del material ya que no tendrá una alta deformación al momento del estiramiento.

2.4.5 Evaluación del Módulo de Elasticidad.

Tabla 2. 12 Valores del efecto en el módulo de elasticidad según el contenido de azufre.

MODULO DE ELASTICIDAD (MD 050)						
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5	ENSAYO 6
	---% S					
	0,7	0,8	1	1,6	1,9	3,7
	0,7	0,8	1	1,4	2,1	3,3
	0,7	0,8	1	1,5	2	3,2
	0,7	0,8	1	1,5	2,1	3,3
	0,7	0,8	1	1,5	2,1	3,5
VALOR MEDIO	0,7	0,8	1	1,5	2,04	3,4
DESVIACION ESTANDAR	0	0	0	0,07	0,09	0,20
DESVIACION PORCENTUAL	0	0	0	4,71	4,38	5,88

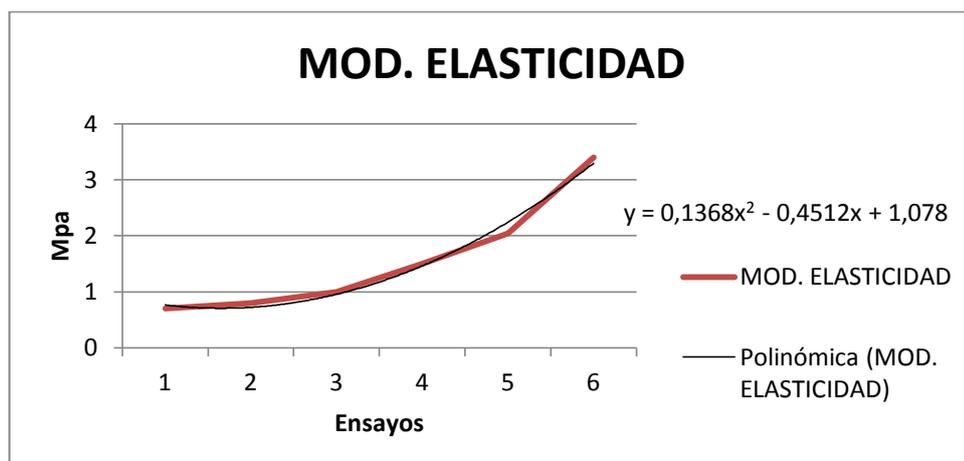


Fig. 2. 15 Efecto en el modulo de elasticidad según el contenido de azufre.

➤ **OBSERVACION.**

El módulo de elasticidad de un material va relacionado con el grado de rigidez que tiene el mismo, así demuestra el gráfico de los ensayos realizados, el módulo de elasticidad incrementa con el porcentaje de azufre, obteniendo una propiedad más del material que se puede modificar para obtener diferentes aplicaciones.

2.4.6 Evaluación del Rebound.

Tabla 2. 13 Valores del efecto en el Rebound según el contenido de azufre.

REBOUND						
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5	ENSAYO 6
	---% S					
	34,4	37,2	35	25,8	23	15,6
	35,6	37,8	34,8	28	22,6	13,6
	34,6	37	34,8	27,6	24	14,8
	34,8	38	35,6	28	24,8	15,2
	36,6	38	34,2	27,2	21,2	13,2
VALOR MEDIO	35,2	37,6	34,88	27,32	23,12	14,48
DESVIACION ESTANDAR	0,91	0,47	0,50	0,91	1,38	1,04
DESVIACION PORCENTUAL	2,57	1,25	1,44	3,34	5,95	7,15

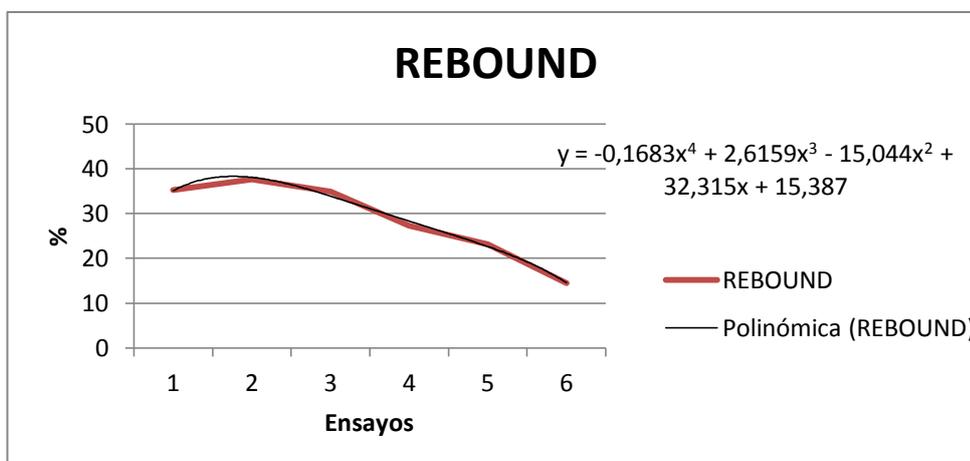


Fig. 2. 16 Efecto en el Rebound según el contenido de azufre.

➤ **OBSERVACION.**

El ensayo del Rebound indica el porcentaje de rebote del caucho obtenido a partir de F-NFU. Se presenta como resultado, una gráfica que evidencia la reducción del porcentaje de rebote con el porcentaje de azufre. Esto ocurre por el aumento de enlaces entre las fibras, eliminando la movilidad de las cadenas.

2.4.7 Gráfico de los resultados.

En la figura 2.17 se detalla en un solo plano, las graficas obtenidas de los ensayos ya estudiados. En la coordenada “Y”, figura los valores en escala, de acuerdo al tipo de ensayo. La coordenada “X” presenta el número de pruebas.

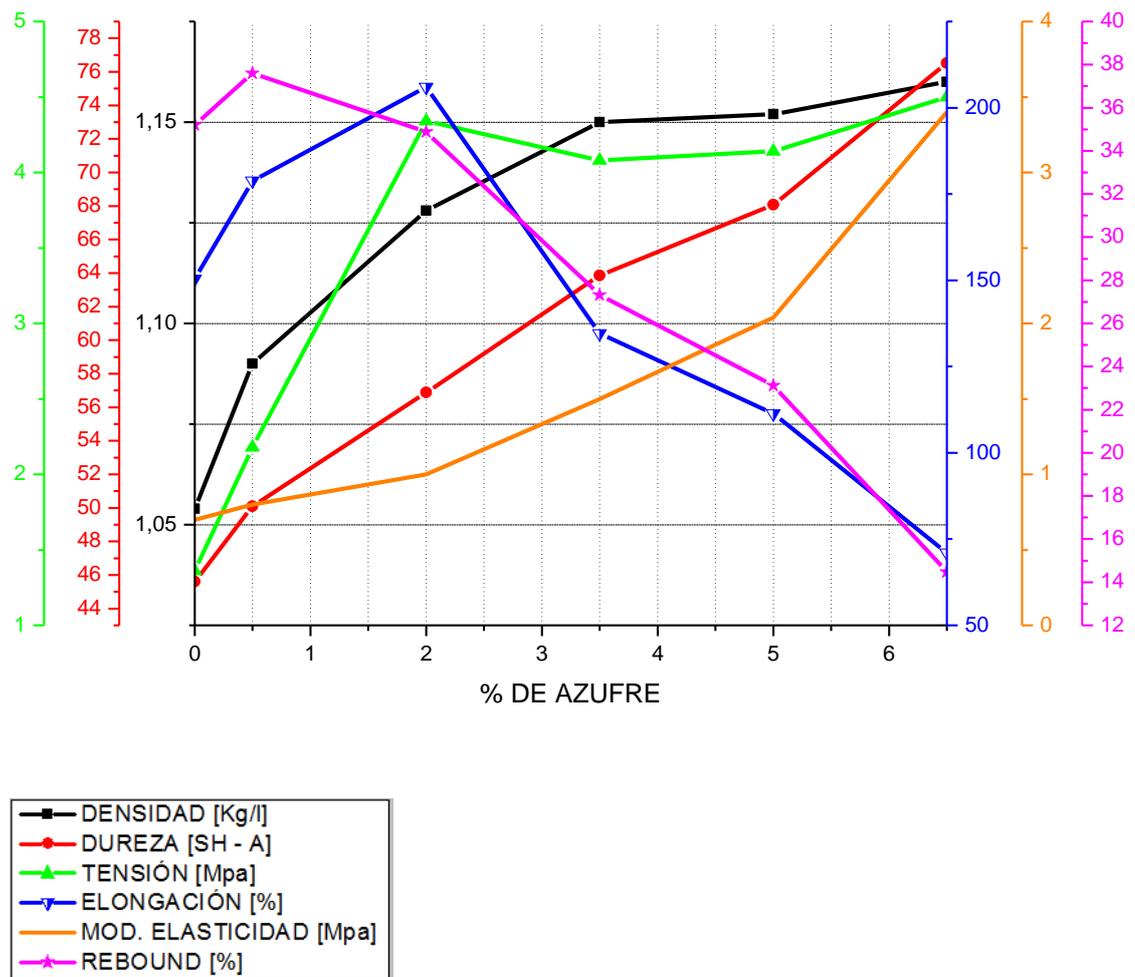


Fig. 2. 17 Grafico de curvas de los diferentes ensayos realizados a las probetas de F-NFU.

➤ **OBSERVACIÓN.**

Se ha comprobado que la presencia de azufre en las F-NFU cumple un papel muy importante al momento de ser prensado. Pues su estructura va tomando diferentes características en sus propiedades de acuerdo al porcentaje de azufre con el que se haya mezclado.

En la figura 2.23 se observa el comportamiento de las propiedades con el aumento del azufre. Al analizar las curvas de la densidad, dureza y módulo de elasticidad se aprecia que estas tienden a incrementar de forma constante. De manera diferente ocurre con las siguientes propiedades: elongación que en el ensayo 2 presenta un valor máximo de 215%, y el rebound en el ensayo 1 alcanza un valor máximo de 38%. La curva de la tensión muestra un incremento desde el ensayo 1 al 2 alcanzando un valor de 4,3 MPa, luego reduce ligeramente su resistencia hasta el ensayo 5 con un valor de 4,1 MPa pero manteniéndose en el rango de variación del 10%, sobre este porcentaje la tensión retoma su incremento.

Se observa que en el ensayo 2 se reúnen en promedio las mejores propiedades del material.

➤ **Recomendaciones.**

- Para productos que requiera alta resistencia a la penetración, rayado, abrasión, cortadura, deformaciones permanentes, entre otras, su nivel de porcentaje de azufre debe ser mayores al ensayo 5, y de menor valor para obtener productos blandos.
- Para materiales con mayor durabilidad y con mejor calidad, su densidad debe ser alta, con porcentajes de azufre mayores al ensayo 3 se garantiza altos valores.
- Productos que serán expuestos a esfuerzos de estiramiento, se recomienda valores mayores al ensayo 2, permitiendo su deformación sin romperse.

- Los que requieran poca deformación al momento de aplicar una fuerza externa se recomienda porcentajes menores al ensayo 6, que ofrece valores altos de elongación.
- Con valores menores al ensayo 3 se tiene una propiedad alta de rebound, que garantiza productos con alta capacidad de absorber energía al momento de aplicar una fuerza externa.

2.4.8 Pruebas de TGA en probetas.

Mediante el análisis térmico se evaluó la propiedad física o mecánica del material, al momento que es sometido a un programa de temperaturas controlado.

En la tabla 2.14 se detalla las técnicas de análisis térmico más común y su propiedad medida durante el ensayo.

Tabla 2. 14 Análisis térmicos Fuente: [34]

<u>TECNICA</u>	<u>PROPIEDAD MEDIDA</u>
Termogravimetría	Masa
Análisis Térmico Diferencial	Temperatura
Calorimetría diferencial de barrido	Entalpía
Análisis Termomecánico	Módulo
Análisis Termomecánico Dinámico	Módulo
Relajación Dieléctrica	Constante dieléctrica
Termooptometría	Propiedad óptica
Análisis Electrotérmico	Conductividad Eléctrica
Termomagnetometría	Propiedad Magnética

En el presente estudio, se realizaron caracterizaciones térmicas mediante termogravimetría (TGA). A continuación se presenta una breve información acerca de este análisis. Fuente: [34]

En la figura 2.18 se presenta las gráficas de un termograma típico de un TGA y DTGA.

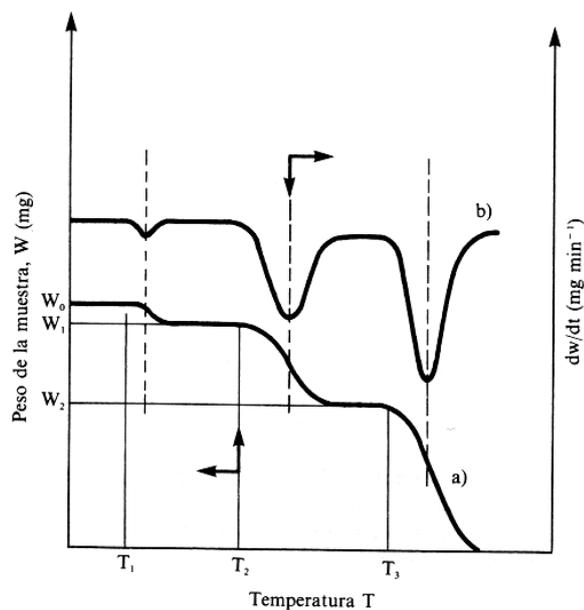


Fig. 2. 18 Termograma típico: a) Curva primaria (TGA); b) Curva derivada (DTGA). Fuente: [34]

a) Posibles causas que disminuyen la masa.

- Reacción de descomposición.
- Reacción de oxidación.
- Vaporización.
- Sublimación.
- Desorción.

b) Aplicaciones del análisis termogravimétrico (TGA).

- Control de calidad. Efecto de aditivos.
- Estabilidad térmica en atmósfera inerte.
- Oxidación en aire o atmósfera rica en oxígeno.
- Degradación térmica de polímeros.
- Estudios de cinética de degradación y análisis de los productos.
- Identificación de los materiales.

2.4.8.1 Descripción de la prueba TGA en el caucho.

En este análisis la masa se registró durante toda la etapa, esto se desarrolló con diferentes temperaturas, obteniendo variaciones de masa durante el proceso.

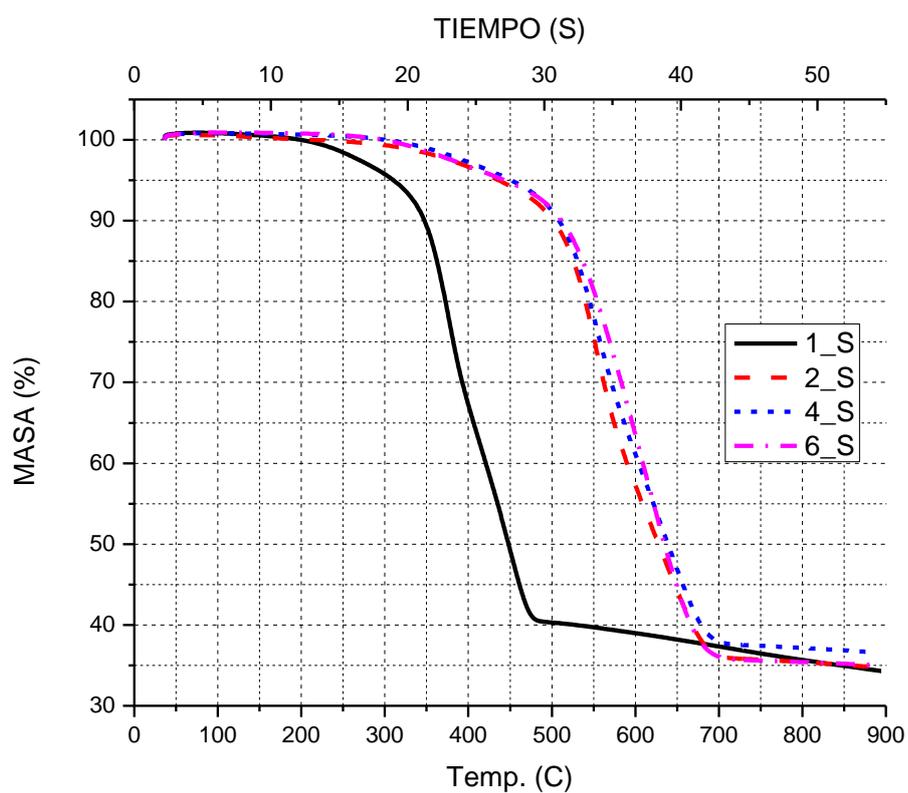


Fig. 2. 19 Curvas obtenidas del ensayo TGA a probetas de F-NFU de los ensayos 1, 2, 4, y 6.

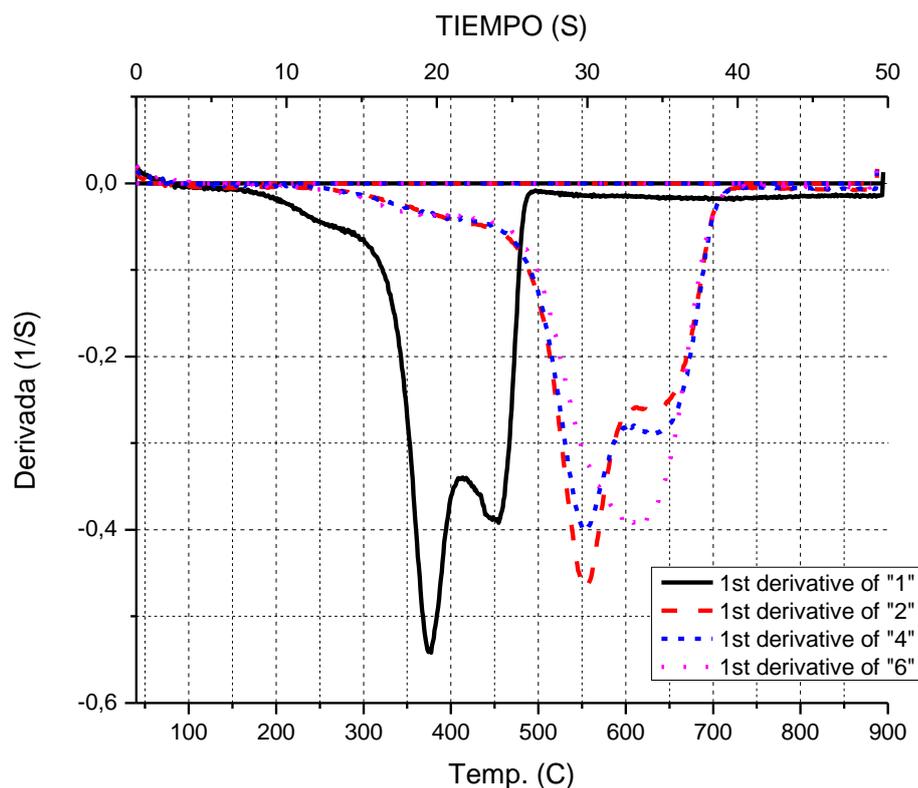


Fig. 2. 20 Curvas de la DTGA aplicado a los resultados de la TGA.

OBSERVACION.

La fig. 2.19 indica el comportamiento de las probetas de F-NFU, frente al ensayo de TGA, dando como resultado diferentes curvas según el porcentaje de azufre. La curva del ensayo 1 tiene una reacción a la descomposición de su masa en menos tiempo que los ensayos 2, 4, 6 que debido a su carga retarda la descomposición de su masa, todas con rangos de tiempo muy próximos.

En la fig. 2.20, la DTGA muestra los picos de degradación que tienen cada una de las curvas al momento de realizar la termogravimetría, es así que la curva del ensayo 1 comienza a la temperatura de 375°C a los 19s, finalizando su degradación a los 450°C en un tiempo de 32s, en los ensayos 2 y 4 retarda su degradación, pues su primer pico tiene a los 29.3s alcanzando una temperatura de 550°C, teniendo una degradación final a los 35s con una temperatura de 640°C, en el ensayo 6, tiene un solo pico de degradación que ocurre a los 34s con una temperatura de 615°C.

CAPITULO 3.

Prototipos de productos a partir del caucho reciclado.

3.1 Introducción.

Existen varios productos que se pueden elaborar con F-NFU, como hemos estudiado en el primer capítulo, muchos países han dado importancia al reciclaje de los NFU, obteniendo productos que cumplen las normas para su uso, llegando hasta mejorar la calidad de algunos productos.

Con los resultados que se obtuvieron en los diferentes ensayos, se tiene claro las aplicaciones para el material analizado, cumpliendo con las características y normas requeridas al momento de su elaboración.

3.2 Aplicaciones potenciales de las F-NFU.

A continuación se detalla brevemente algunas aplicaciones.

3.2.1 Rellenos en césped artificial para canchas sintéticas.

El mayor consumo de F-NFU en nuestro medio, va hacia el césped artificial que utilizan las canchas sintéticas, pues se aplica sin ningún tratamiento, ni aditivo extra. Como beneficio es garantizar mayor confort y seguridad al momento de jugar. Y reduce considerablemente el consumo de agua para el mantenimiento del césped artificial.

A continuación en la tabla 3.1 se muestra las dimensiones de los gránulos para su utilización en la construcción del césped artificial.

Tabla 3. 1 Dimensión de gránulos para su utilización en la construcción del césped artificial. Fuente: [32]

APLICACION	DIMENSIÓN	CANTIDAD UTILIZADA
Relleno de fibra sintética junto a áridos	0.5 – 2.5 mm	10 – 18 Kg/m ²
Capa de absorción de impacto	2 – 4 mm	



Fig.3. 1 Canchas sintéticas. Fuente: Autor

3.2.2 Suelos de seguridad y parques infantiles.

Para la aplicación en parques infantiles como suelos de seguridad, se requiere cumplir con la norma UNE EN 1117, procurando evitar lesiones de los niños y brindar seguridad a los padres.

Para la instalación de este piso se utiliza F-NFU con granulometría de 2 – 4 mm ó 4 – 8 mm para capas inferiores, mezclado con aglomerantes para su compactación y pinturas especiales que realce su color. Fuente: [32]



Fig.3. 2 Parque inclusivo de la ciudad de Cuenca – Ecuador. Fuente: Autor

3.2.3 Mezclas bituminosas

Al aplicar en carretera se utiliza polvo de NFU, estos actúan directamente con mezclas bituminosas o se encuentran incorporados en la formulación de los betunes. Como ventaja en esta aplicación se presenta en la reducción de agrietamientos en las carreteras, alarga su vida útil, ahorra al sustituir materias primas y brinda seguridad al transeúnte al mejorar adherencia de los neumáticos con el piso. Sus granulometrías de los polvos de NFU son inferiores a 0,8 mm. Fuente: [32]



Fig.3. 3 Aplicación de NFU en carreteras. Fuente: [36]

3.2.4 Tejas de caucho reciclado.

Con el material reciclado se puede aplicar en la elaboración de tejas para techos, la novedad de este producto apunta al sistema de aislamiento y absorción acústica de la lluvia, este producto es de bajo costo, larga durabilidad, producto térmico y brinda facilidad en su instalación.



Fig.3. 4 Tejas de caucho reciclado. Fuente: [37].

3.2.5 Suelas de calzados

El material reciclado es ocupado en la fabricación de suelas de calzado, su color es limitado a obscuro por el uso del negro de carbono en la formulación del caucho.



Fig.3. 5 Suelas de calzado con material reciclado. Fuente: [32]

3.2.6 Pisos para Gimnasio.

Pisos de NFU para gimnasios, garantiza resistencia al deslizamiento en superficie mojada o seca, protege pisos y equipos. En la tabla 3.2 se muestra las especificaciones para esta aplicación.

Tabla 3. 2 Especificaciones para pisos de gimnasios. Fuente: [33]

PROPIEDAD	NORMAS	RANGOS
Densidad	ASTM D3676	60pcf
Dureza	ASTM D2240	(Shore A) 60
Resistencia al desgarro	ASTM D624	80pli
Elongación	ASTM D412	145 – 300%
Resistencia a la tracción	ASTM D412	220PSI
Flexibilidad	ASTM F137	¼” cilíndrica



Fig.3. 6 Pisos de caucho de NFU para gimnasios. Fuente [33]

3.2.7 Fabricación de piezas de caucho.

El polvo de los NFU se puede utilizar como carga de refuerzo en mezclas de caucho, o se puede aplicar F-NFU para fabricar diferentes piezas de caucho.

3.2.8 Pantallas acústicas.

En paneles de caucho reduce porcentaje de ruidos, dándole aplicación en barreras acústicas o pantallas acústicas.

3.3 Aplicación de F-NFU en la construcción de prototipos.

Con el estudio realizado a las F-NFU con los porcentajes de azufre, se tomo en cuenta dos aplicaciones para el desarrollo de prototipos, cada uno de ellos debe cumplir con las especificaciones que fue detallado en su investigación, estos se construirán bajo el nombre de RECICAUCHO. A continuación se detalla cada uno de ellos.

3.3.1 Tejas recicaucho.

Una de las aplicaciones que será estudiado para su elaboración es la teja para techo, teniendo como objetivo buscar mejorías en comparación a la teja de cerámica, en la tabla 3.3 se indica las propiedades de cada material.

Tabla 3. 3 Comparación de propiedades de los diferentes materiales.

PROPIEDAD	TEJA DE CERAMICA
Impermeabilidad	Bueno
Durabilidad	Bueno
Resistencia a la rotura	Malo
Aislamiento al ruido lluvia	Bueno
Estética y armonía al paisaje	Bueno
Ecológica	Bueno
Aislamiento térmico	Bueno

➤ **Esquema del prototipo.**

En la figura 3.7 se modela el prototipo de una teja para techo, que será elaborado con las F-NFU.

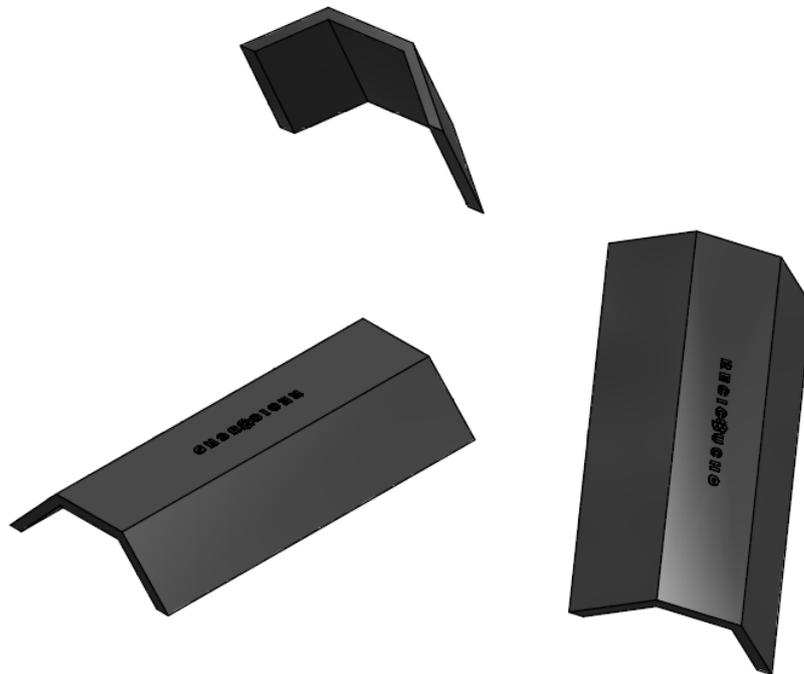
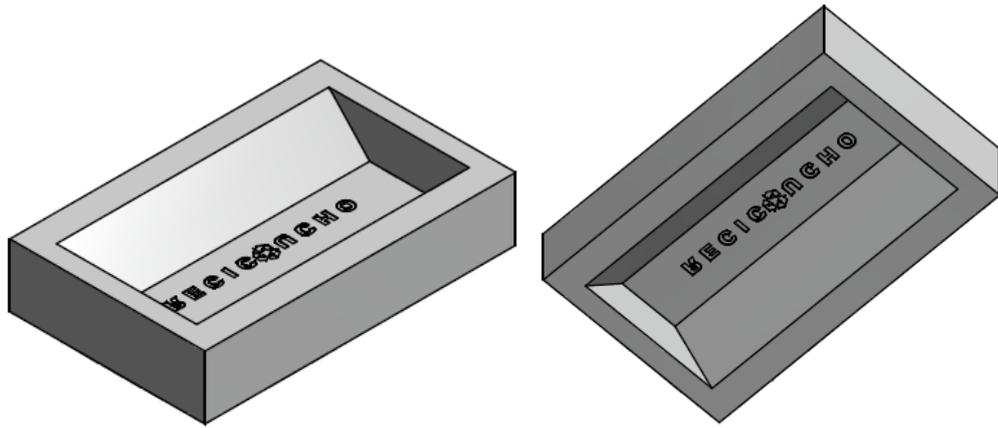


Fig.3. 7 Prototipo de una teja para techo.

➤ **Diseño del molde.**

Para el molde de la teja se tiene un diseño tentativo, que se observa en la fig. 3.8.

a) Hembra: Base para el moldeo del exterior de la teja.



b) Macho: Para moldear el interior de la teja.

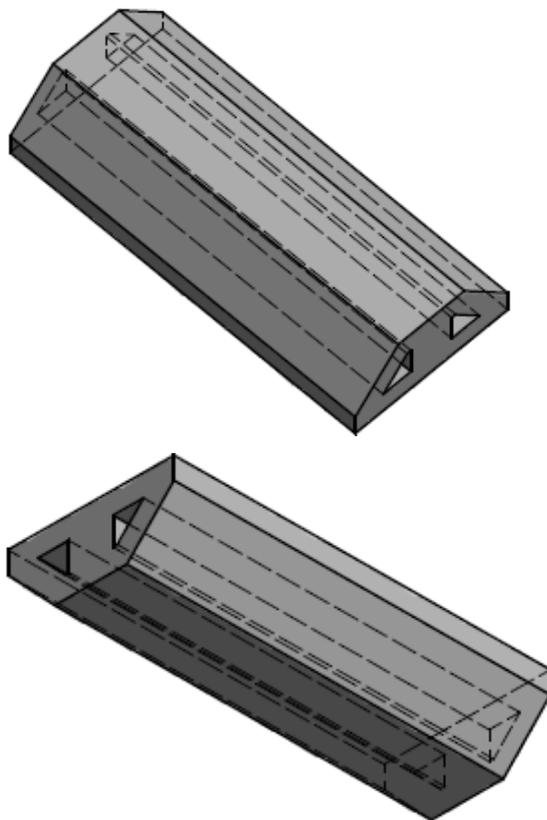


Fig.3. 8 Partes del molde para la elaboración del prototipo de una teja, a) Parte hembra del molde, b) Parte macho del molde.

3.3.2 PISO RECICAUCHO.

Como segunda aplicación tenemos previsto la elaboración de pisos de caucho para gimnasios, buscando las características necesarias para su durabilidad en este campo. En la tabla 3.4 se da a conocer las propiedades que lleva este producto para su comercialización.

Tabla 3. 4 Propiedades del piso de caucho para gimnasios. Fuente: [33]

PROPIEDADES	RANGOS
Densidad	60pcf – 0.96g/cm ³
Dureza	(Shore A) 60
Resistencia al desgarro	80pli
Elongación	145 – 300%
Resistencia a la tensión	220PSI
Flexibilidad	¼” cilíndrica

➤ Esquema del prototipo.

El diseño que será elaborado para ser aplicado como piso de gimnasio se muestra en la figura 3.9.

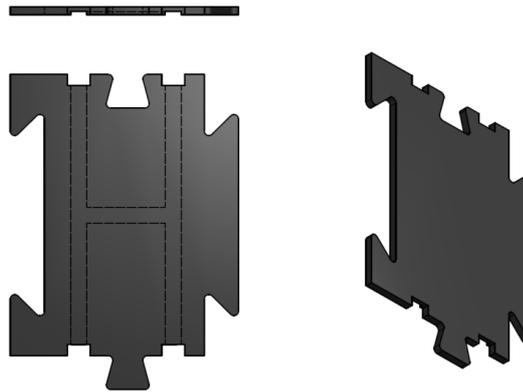


Fig.3. 9 Prototipo de un piso de caucho.

➤ **Diseño del molde.**

La construcción del molde para el piso, se realizara bajo el diseño que se está propuesto en la figura 3.10.

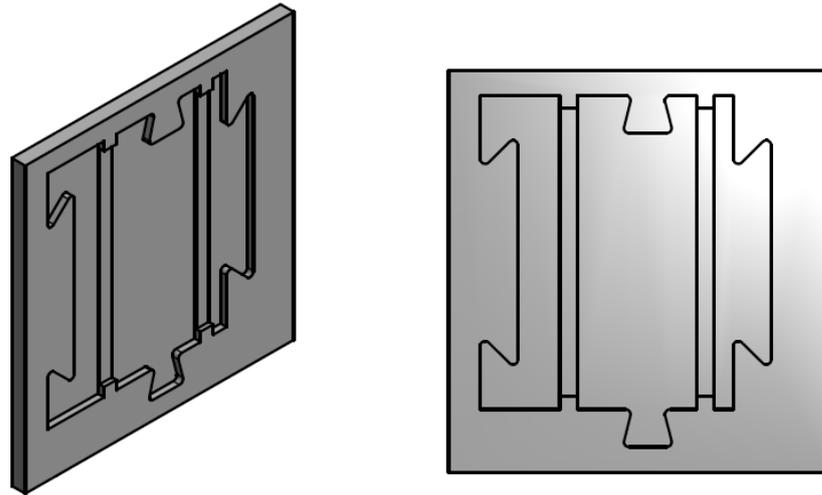


Fig.3. 10 Molde para elaborar pisos de caucho reciclado.

3.4 Proceso para la elaboración de los prototipos.

En la figura 3.11 se detalla el proceso a seguir para la elaboración de prototipos con F-NFU mezclado con porcentaje de azufre.

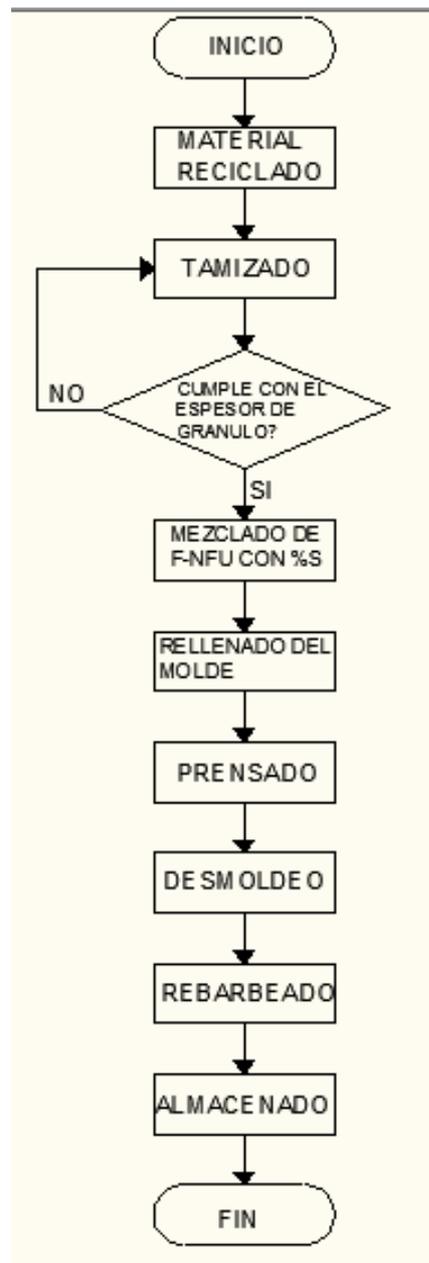


Fig.3. 11 Flujograma de un proceso para la elaboración de probetas.

3.5 Construcción de moldes.

- **Elaboración del molde para piso de caucho:** La figura 3.12 demuestra la construcción del molde.



Fig.3. 12 Construcción del molde para piso de caucho.

- **Elaboración del molde para teja:** En la figura 3.13 se observa la construcción del molde para la teja.



Fig.3. 13 Construcción del molde para teja de caucho.

3.6 Pruebas y resultados.

En la figura 3.14 se observa las pruebas que se realizaron para la elaboración de las probetas. La figura 3.15 muestra los resultados de las pruebas realizadas.



Fig.3. 14 Pruebas de prensado. Fuente: Autor

a)



b)



Fig.3. 15 Prototipos realizados en las pruebas, a) probetas de piso de F-NFU b) tejas de F-NFU.

3.7 Conclusión.

Podemos concluir que todos los estudios realizados en el capítulo 2 pueden llegar a ser aplicables, pues al momento de haber realizado los prototipos, se obtuvieron con características que cumplen las especificaciones recomendadas para la aplicación de las mismas. Con el diseño y construcción de estos dos prototipos se puede tomar en cuenta la reutilización de las F-NFU, participando con el reciclaje de materiales que no son biodegradables, disminuyendo la contaminación con aportes a la necesidad.

CAPITULO 4.

Aplicaciones de productos y resultados.

4.1 Introducción.

El desarrollo de este proyecto ha tenido como objetivo el reciclaje de los neumáticos fuera de uso. Mediante ensayos, análisis y construcción de prototipos, se ha logrado obtener grandes resultados, haciendo posible la revulcanización de las F-NFU con diferentes valores en sus propiedades mecánicas y físicas, cumpliendo con los requerimientos que se necesite para su aplicación.

Este capítulo abarcará las aplicaciones de los prototipos realizados, demostrando su montaje, terminado y los resultados.

4.2 Aplicaciones de productos.

Después de haber realizado los prototipos, estos serán puestos a pruebas para comprobar su aplicación.

4.2.1 Tejas Recicaucho.

- **Montaje:** La colocación de la teja se puede realizar mediante alambre o con pernos autoperforantes. Se puede utilizar las tejas para techos lisos o techos con onda, como se observa en la figura 4.1.



Fig. 4. 1 Montaje de tejas de caucho en techos lisos o de onda. Fuente: Autor

- **Terminado:** En la figura 4.2 se observa el terminado de las tejas en un techo liso para casa de perros.



Fig. 4. 2 Terminado de un techo con tejas recicaucho. Fuente: Autor

- **Resultados:** En la tabla 4.1 se detalla las propiedades del terminado de las tejas recicaucho.

Tabla 4. 1 Propiedades de un techo con tejas recicaucho

PROPIEDAD	TEJA DE CAUCHO
Impermeabilidad	Excelente
Durabilidad	Excelente
Resistencia a la rotura	Excelente
Aislamiento al ruido lluvia	Excelente
Estética y armonía al paisaje	Bueno
Ecológica	Bueno
Aislamiento térmico	Malo

4.2.2 Piso Recicaucho.

- **Montaje:** Una de las ventajas en su montaje es el fácil acople en pisos irregulares, en sus uniones se coloca silicón garantizando su unión y permeabilidad. En la figura 4.3 se detalla el montaje de los pisos recicaucho, en pisos que no está nivelado.



Fig. 4. 3 Montaje de los pisos RECICAUCHO. Fuente: Autor

- **Terminado:** En la figura 4.4 detalla las aplicaciones que se puede dar a los pisos de caucho, teniendo buenos resultados.



Fig. 4. 4 Aplicaciones para pisos de caucho. a) Base para cilindros de gas, b) Piso para gimnasios, c) Pisos para animales. Fuente: Autor

- **Resultado:** La tabla 4.2 muestra las propiedades que tiene el piso recicaucho.

Tabla 4. 2 Propiedades del piso recicaucho.

PROPIEDADES	RANGOS
Densidad	70.5pcf
Dureza	(Shore A) 68
Elongación	145 – 300%
Resistencia a la tensión	638.2 PSI
Modulo de elasticidad	145I

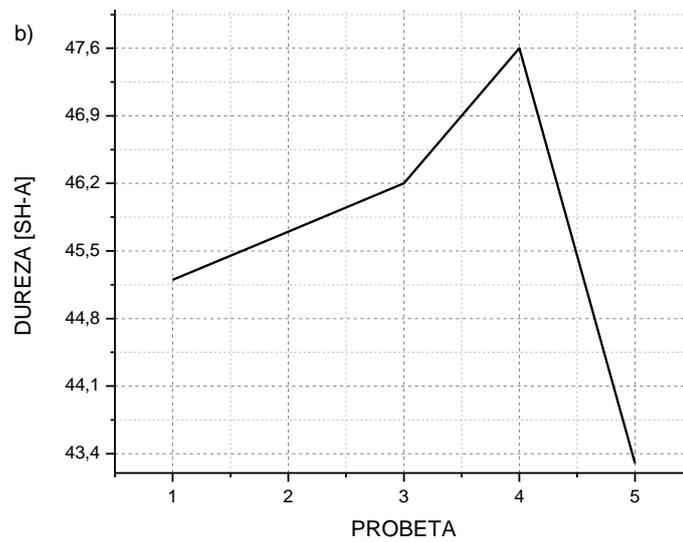
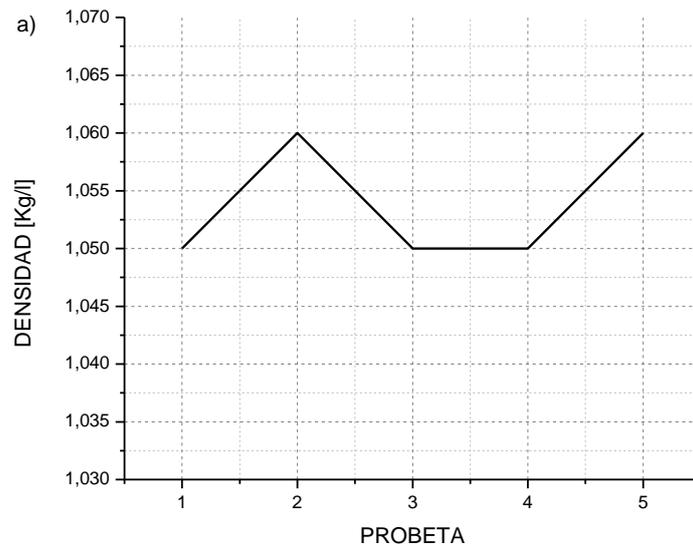
4.3 Conclusiones.

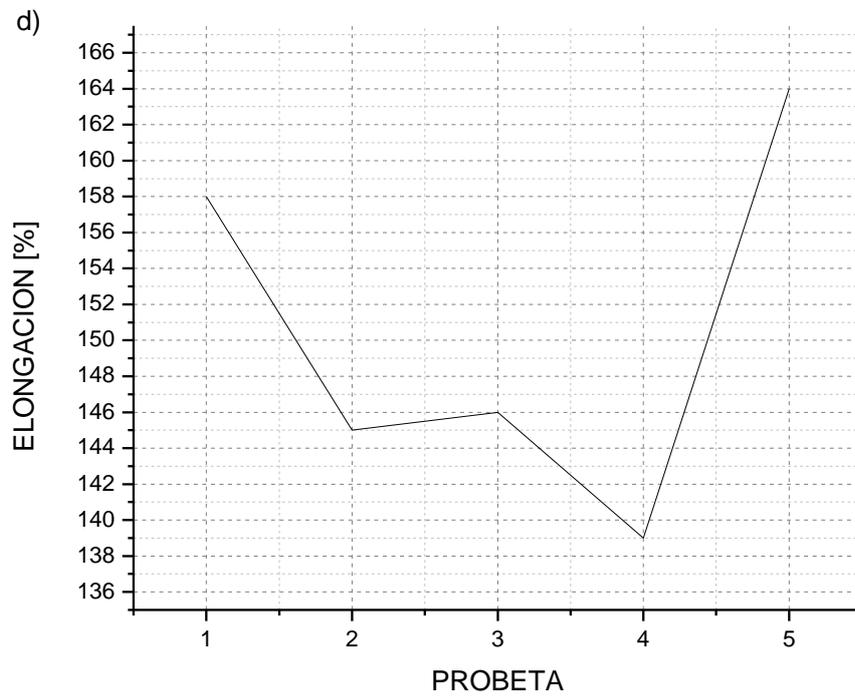
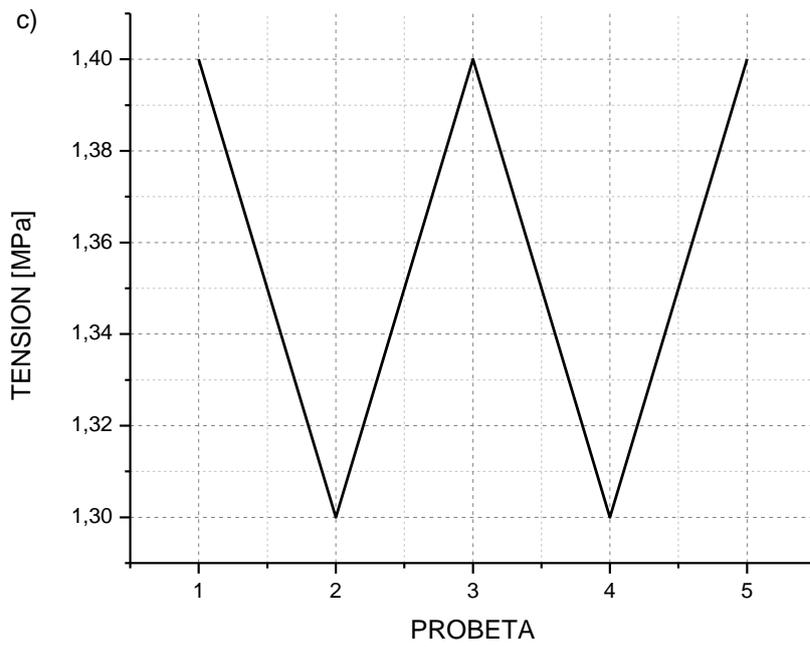
Se obtuvo buenos resultados con la aplicación de los pisos y tejas RECICAUCHO, sus características y propiedades llegaron a cumplir con las especificadas en cada producto. Con esto se puede garantizar el reciclaje de los NFU, transformando un desperdicio en algo útil para la humanidad.

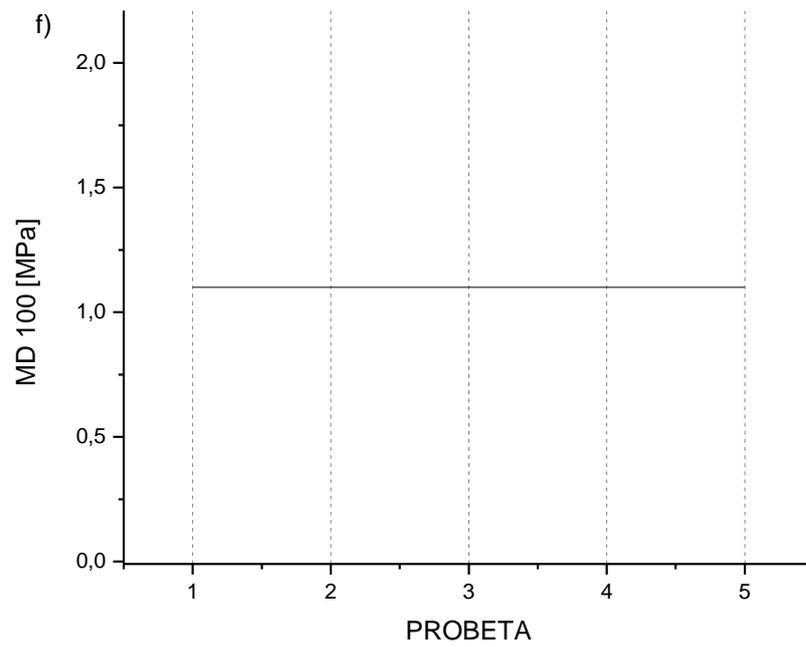
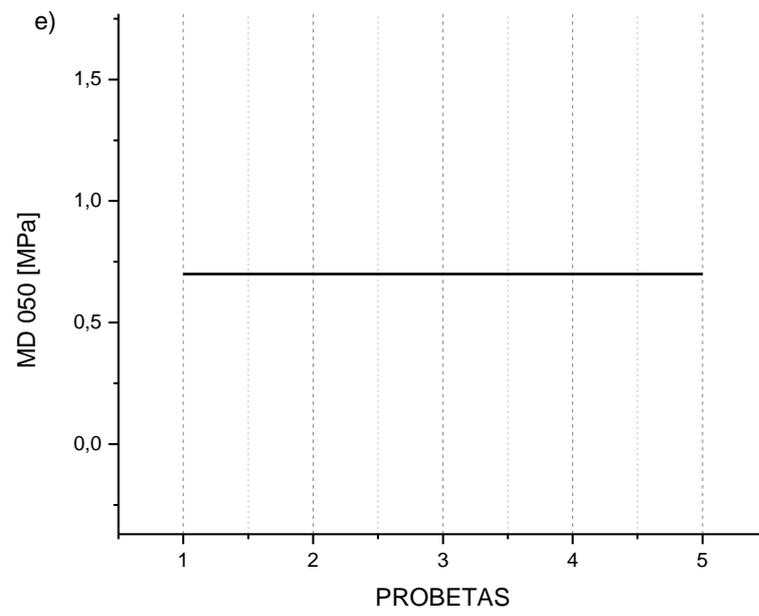
ANEXOS.

➤ Gráficos de los resultados de la prueba 1.

En la figura 2.11 se presentan los resultados, de los diferentes ensayos realizados a las probetas de F-NFU.







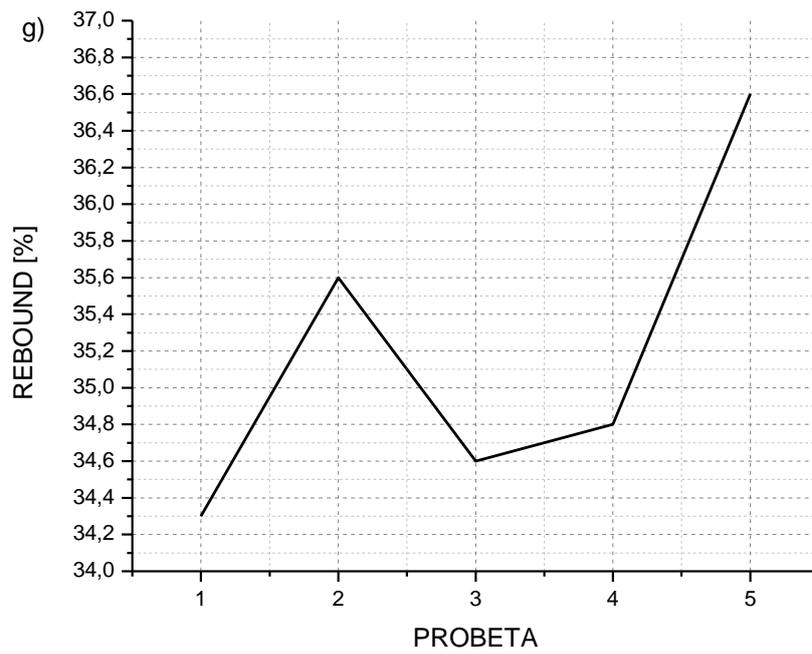
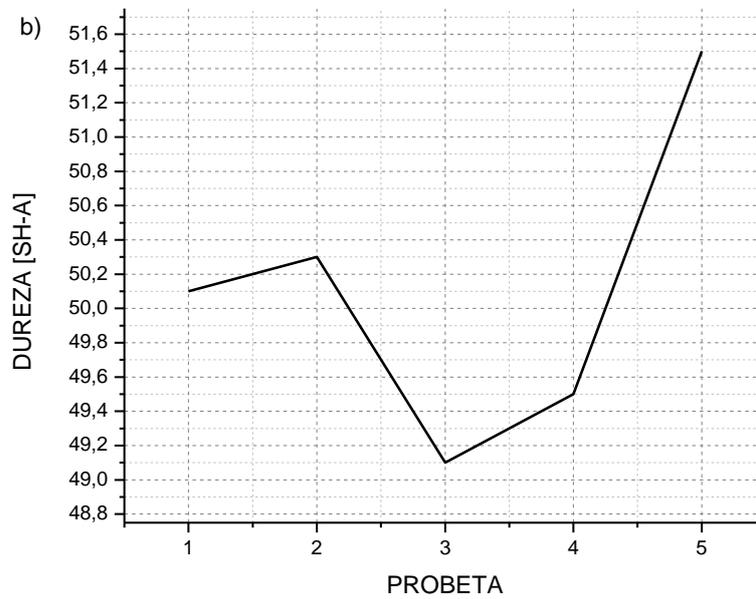
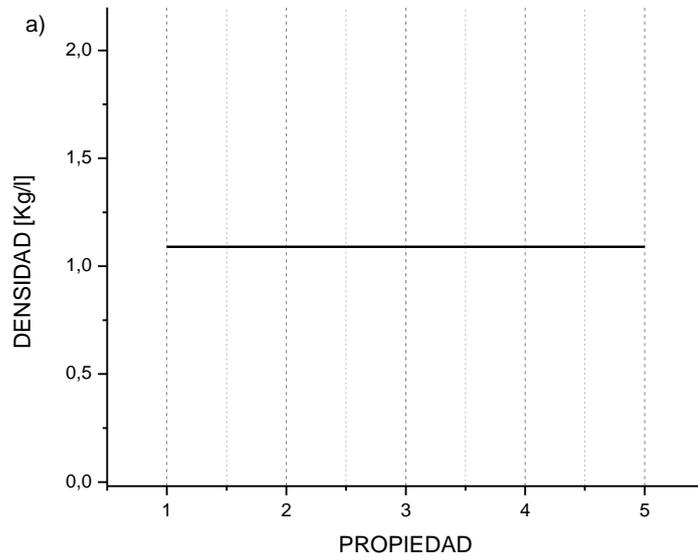
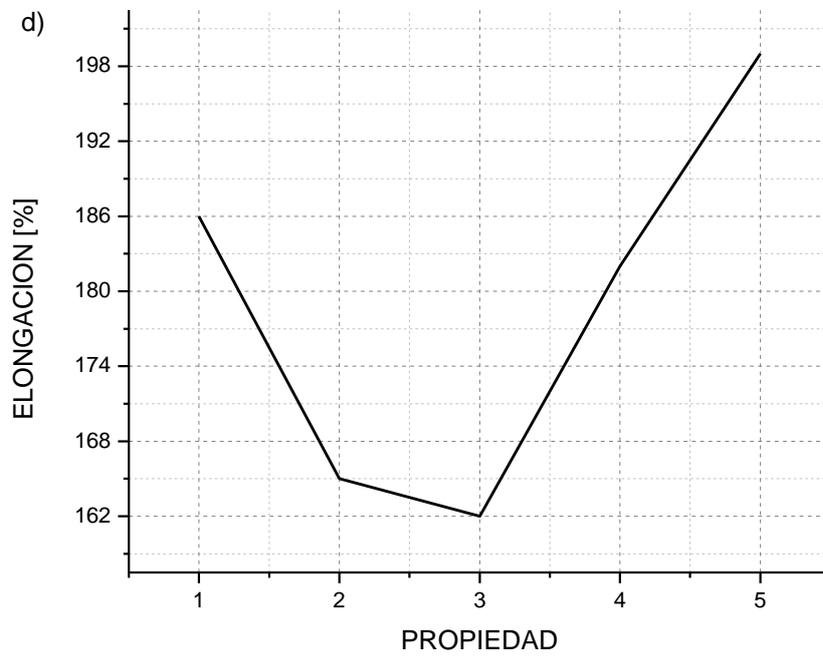
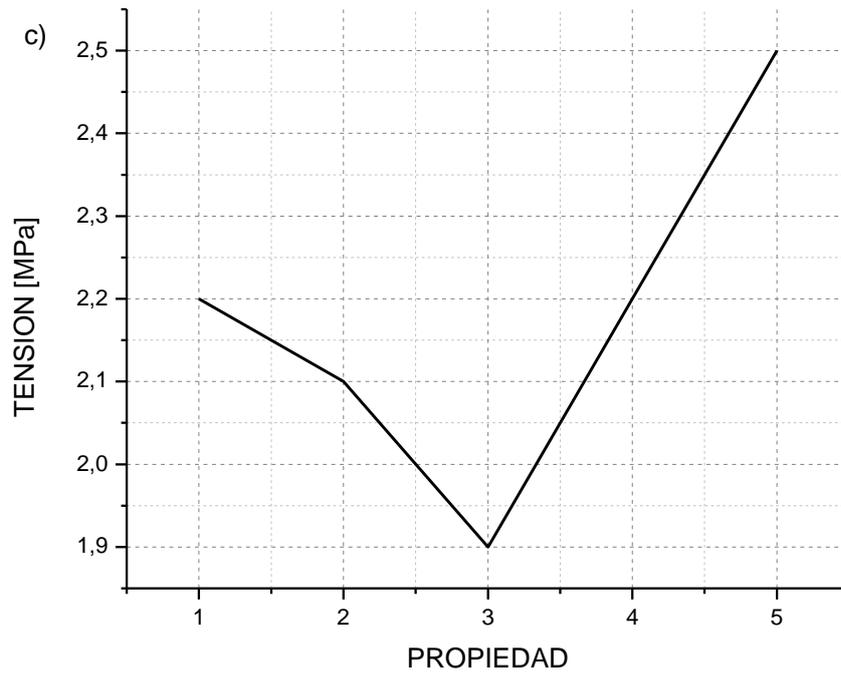


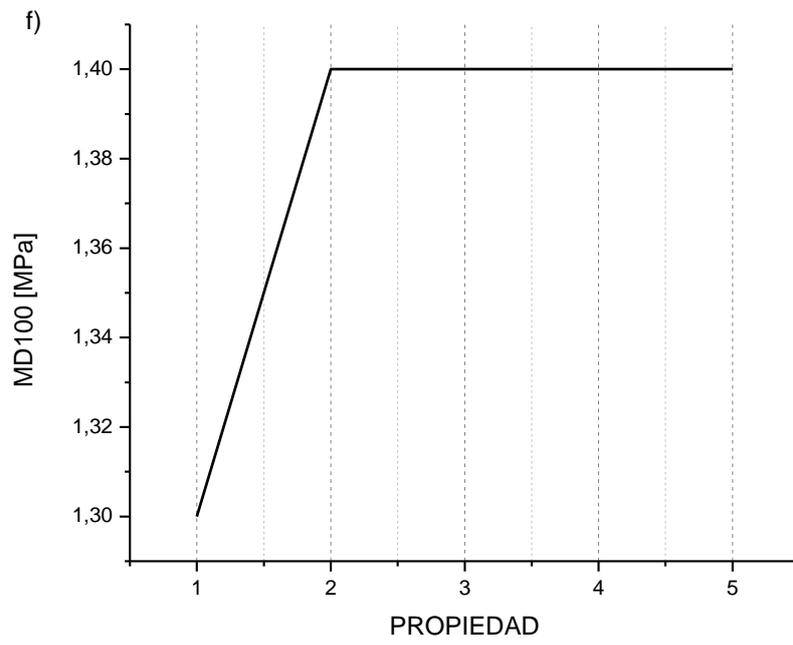
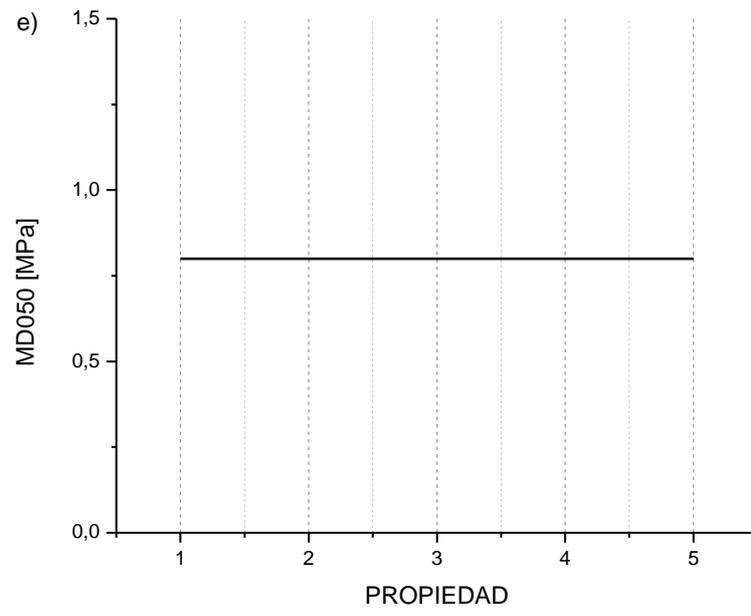
Fig. 2.11: Gráficos obtenidos de los ensayos realizados a las probetas con 100% de F-NFU, a) Densidad; b) Dureza; c) Tensión; d) Elongación; e) Módulo de elasticidad. Fuente: Autor

➤ **Gráficos de los resultados de la prueba 2.**

En la figura 2.12 se presentan los resultados, de los diferentes ensayos realizados a las probetas de F-NFU.







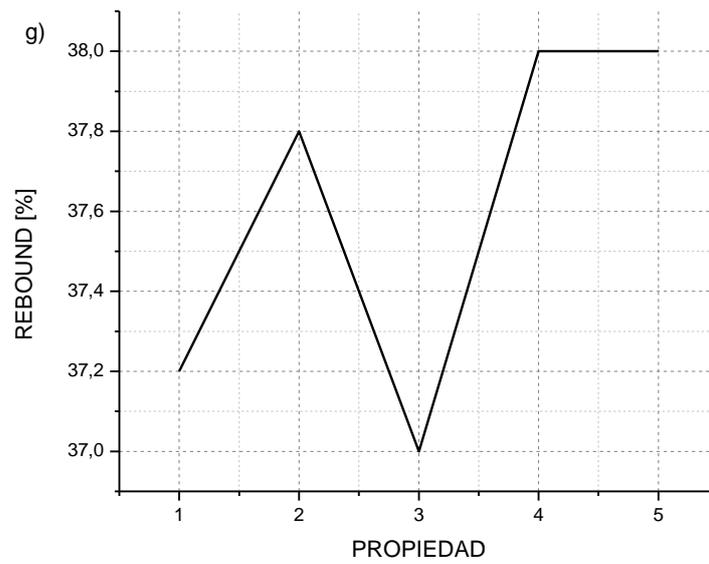
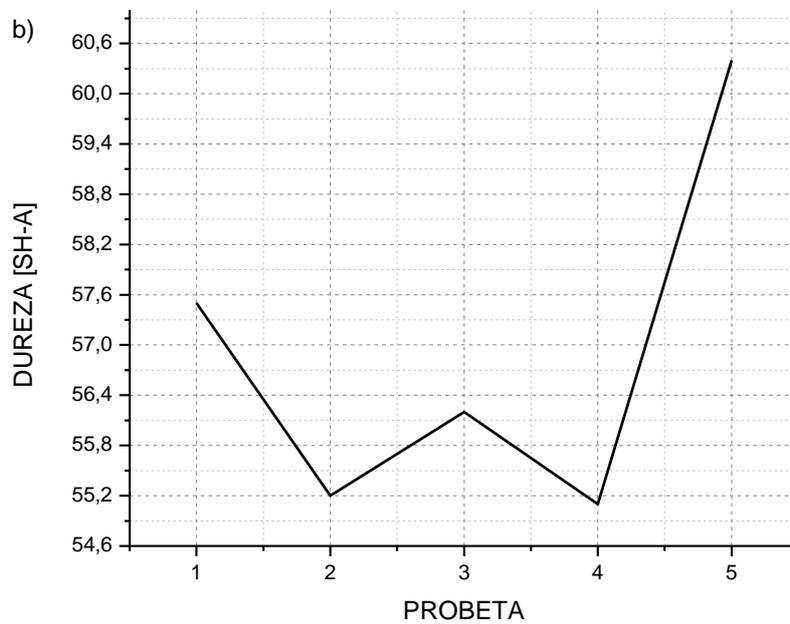
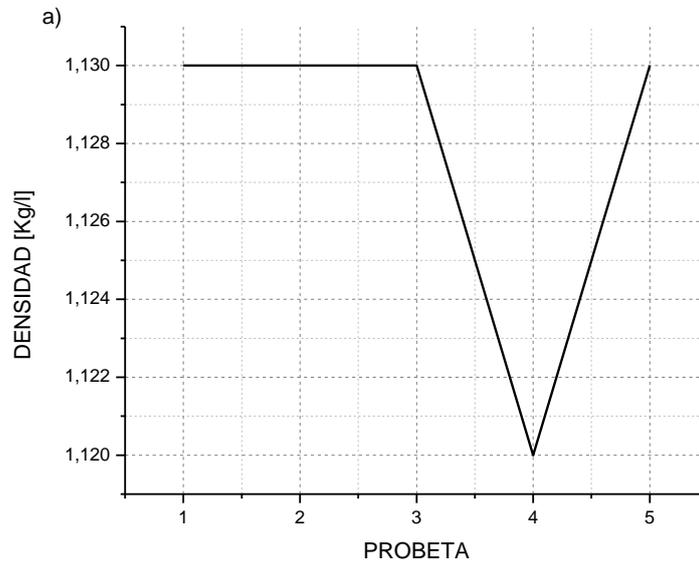
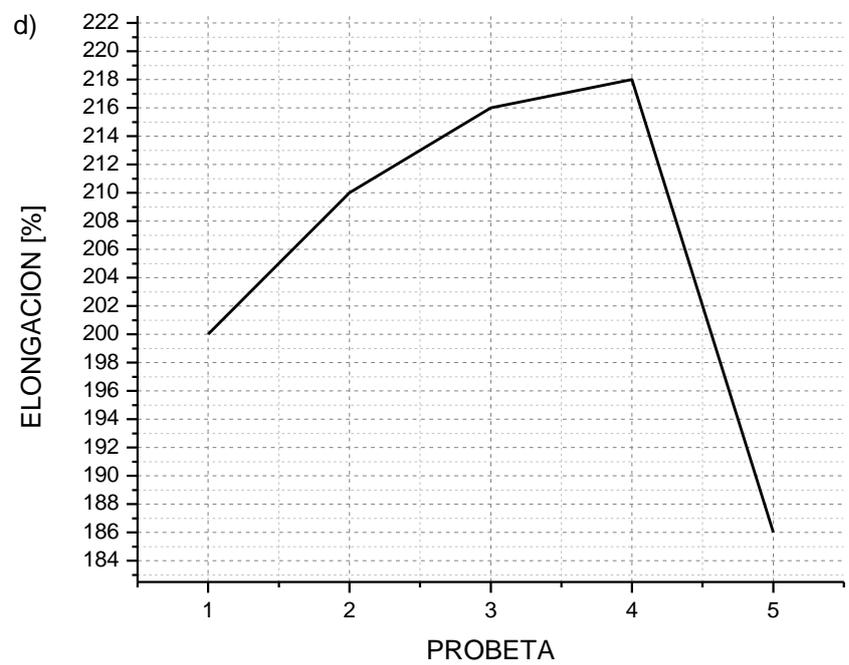
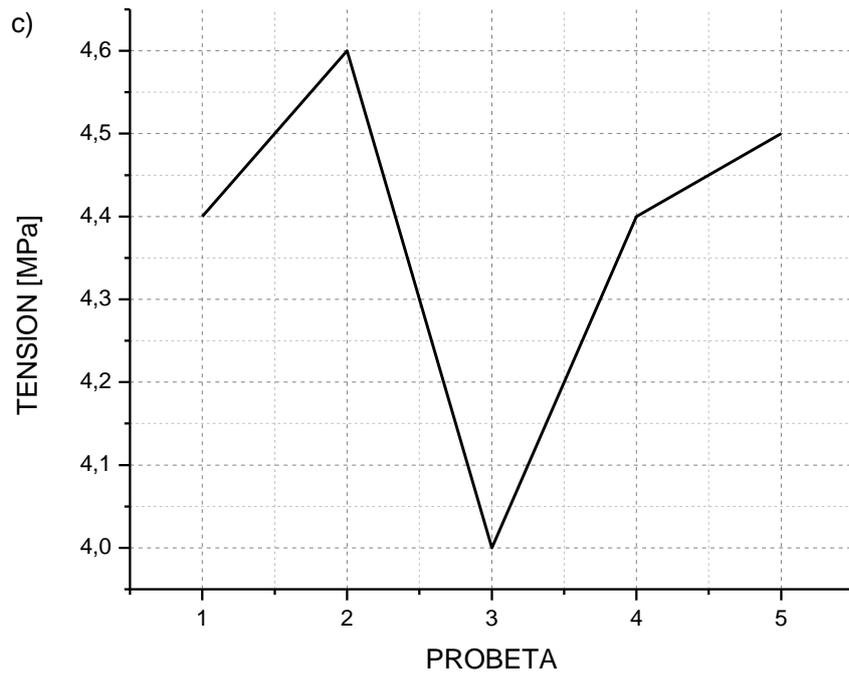


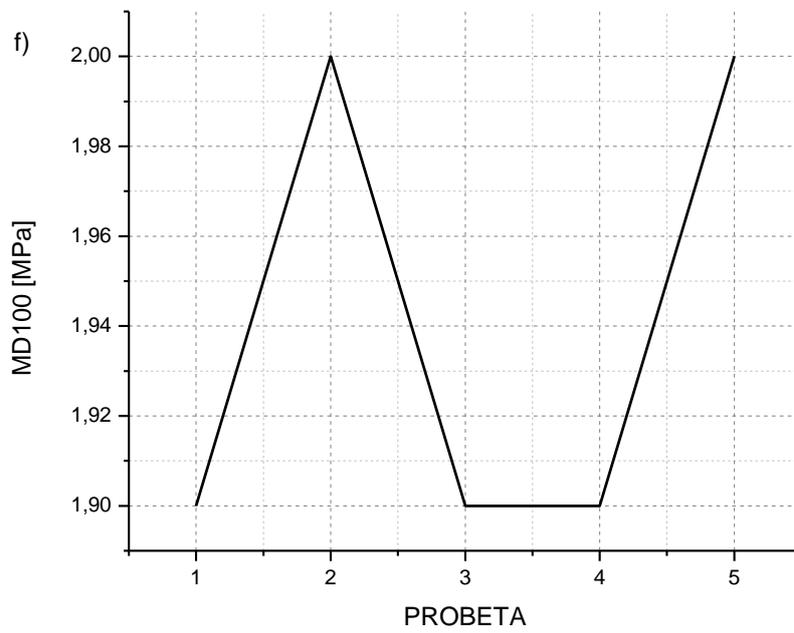
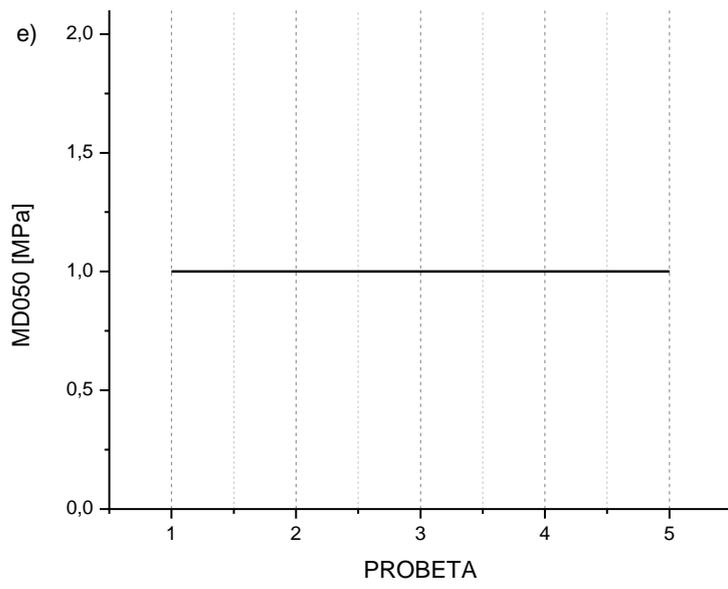
Fig. 2.12: Gráficos obtenidos de los ensayos realizados a las probetas con 99,5% de F-NFU y 0.5% de Azufre, a) Densidad; b) Dureza; c) Tensión; d) Elongación; e) Módulo de elasticidad. Fuente: Autor

➤ **Gráficos de los resultados de la prueba 3.**

En la figura 2.13 se presenta los resultados, de los diferentes ensayos realizados a las probetas de F-NFU.







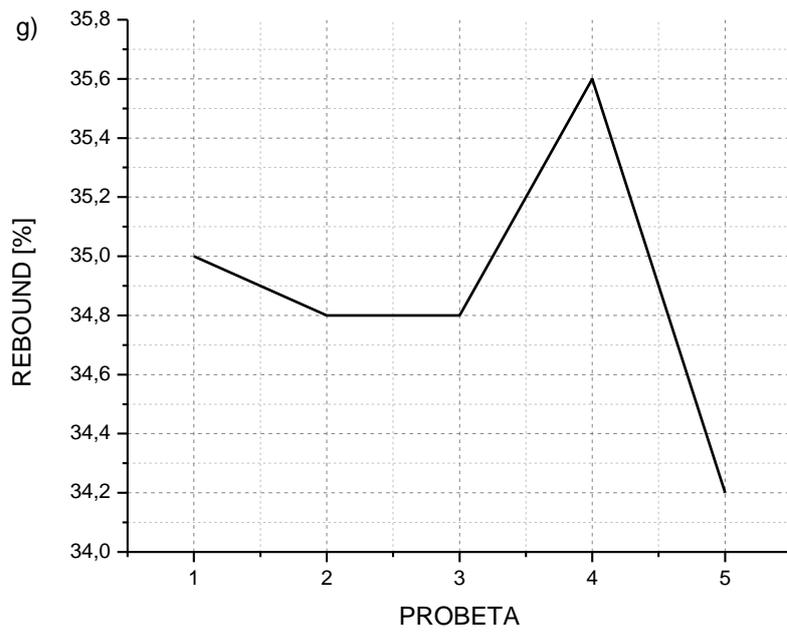
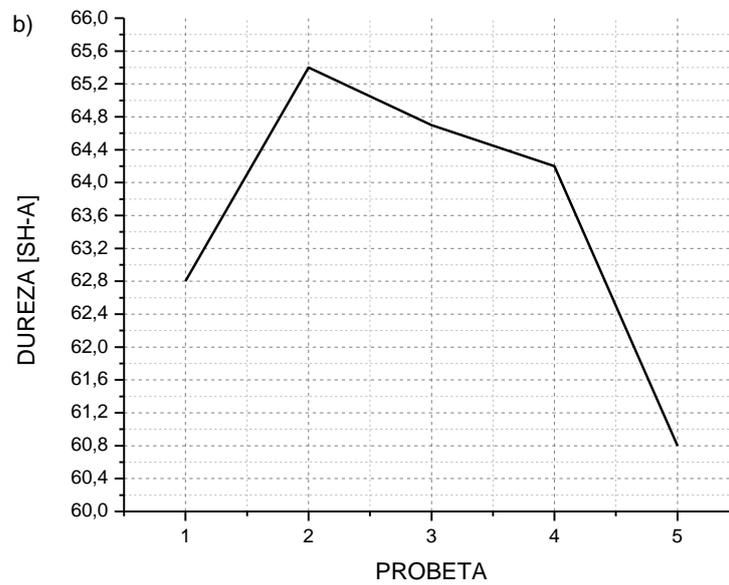
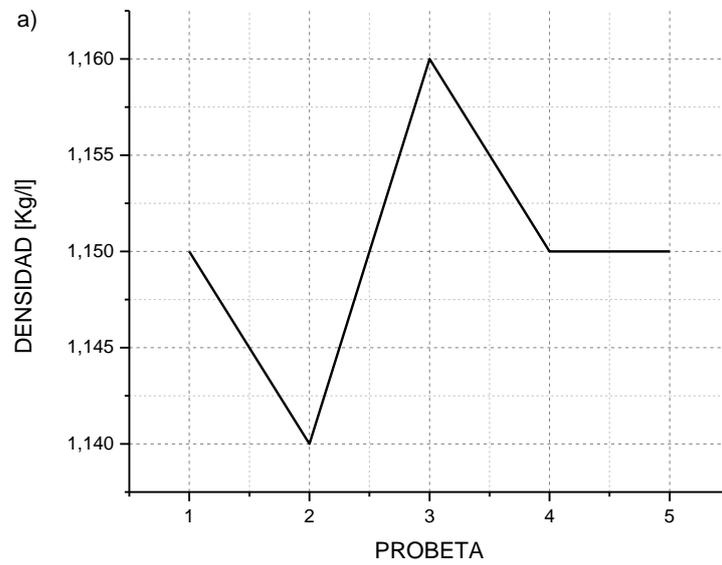
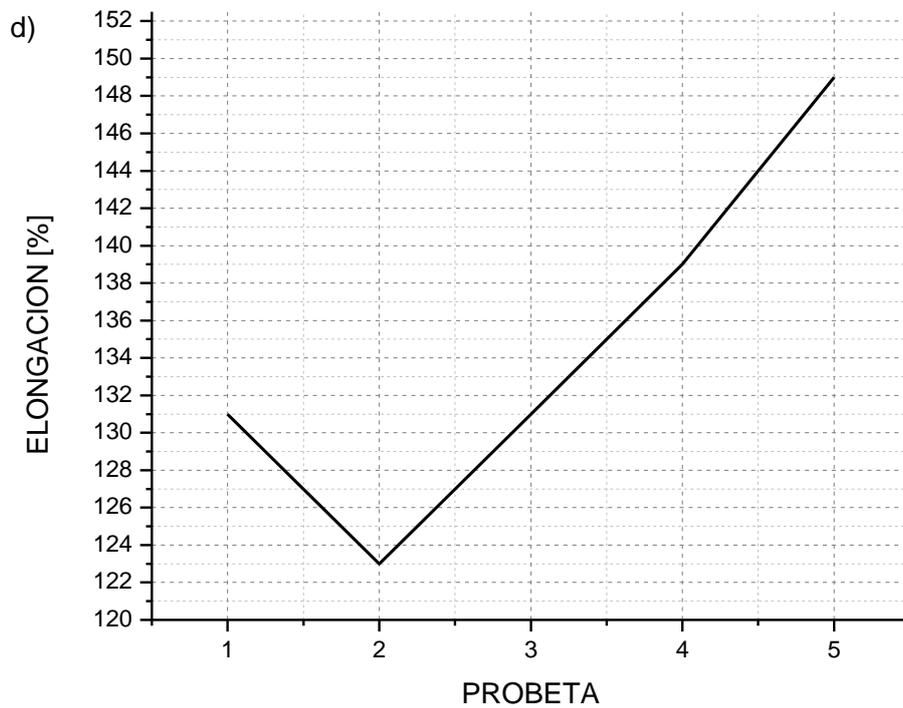
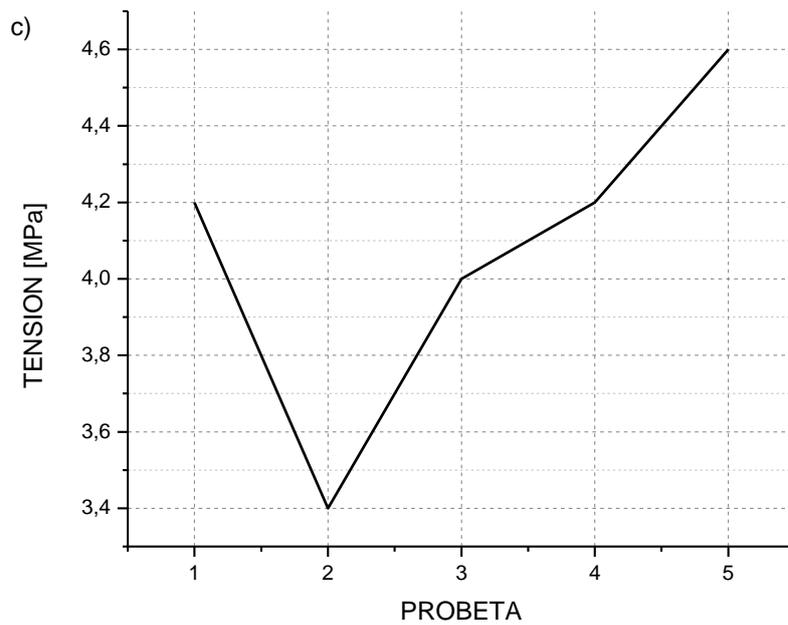


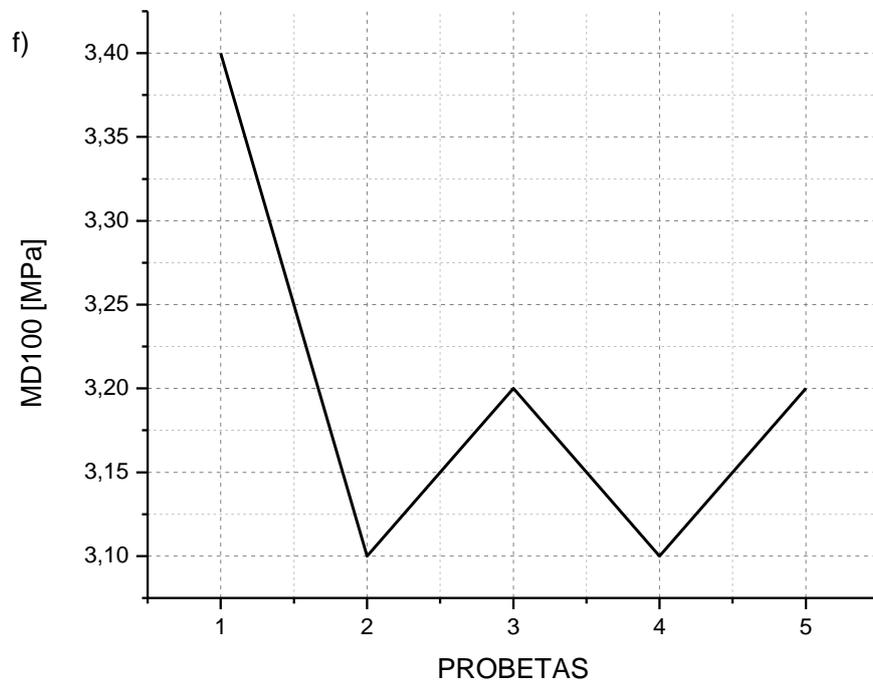
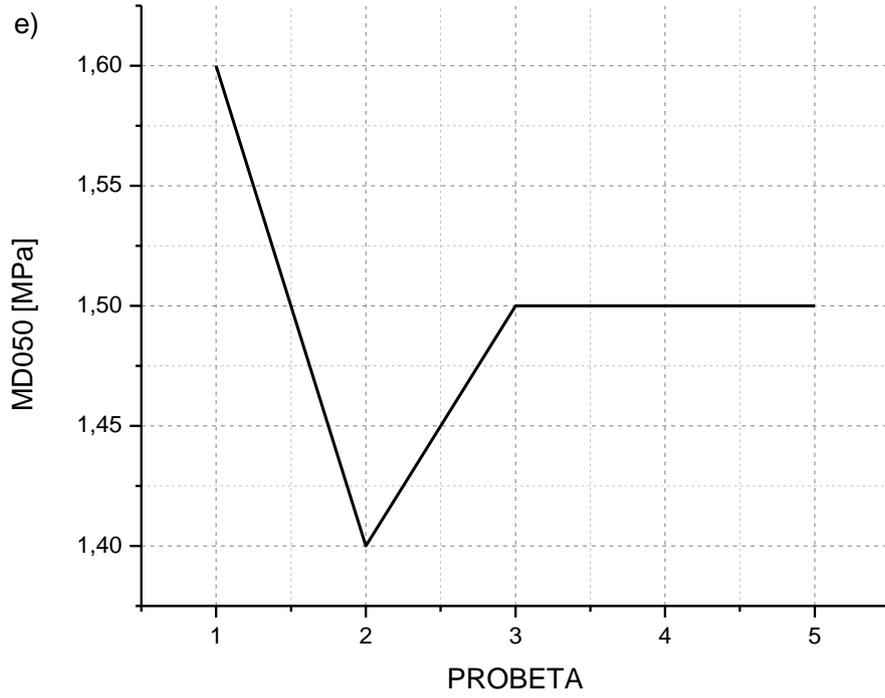
Fig. 2.13: Gráficos obtenidos de los ensayos realizados a las probetas con 98% de F-NFU y 2% de Azufre, a) Densidad; b) Dureza; c) Tensión; d) Elongación; e) Módulo de elasticidad. Fuente: Autor.

➤ **Gráficos de los resultados de la prueba 4.**

En la figura 2.14 se presenta los resultados, de los diferentes ensayos realizados a las probetas de F-NFU.







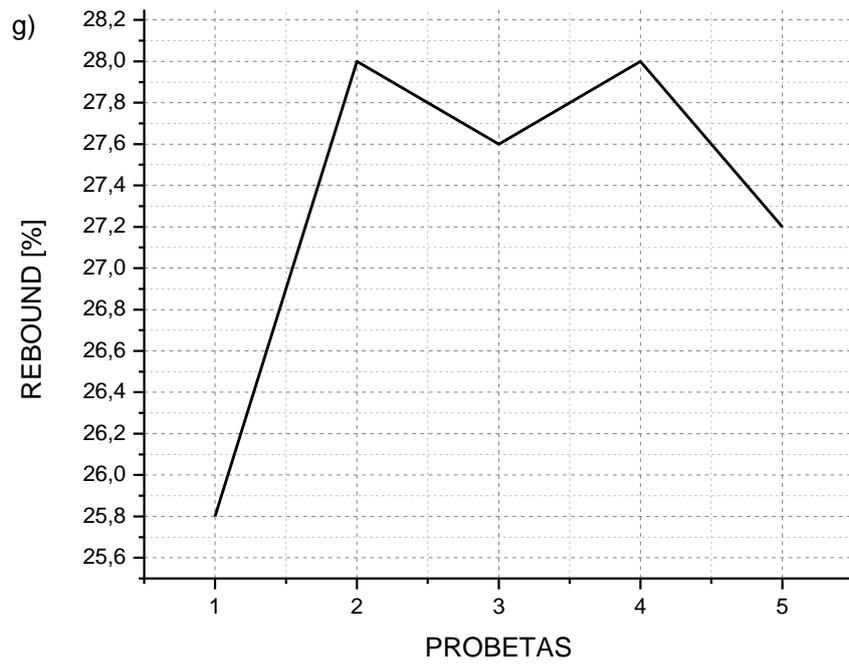
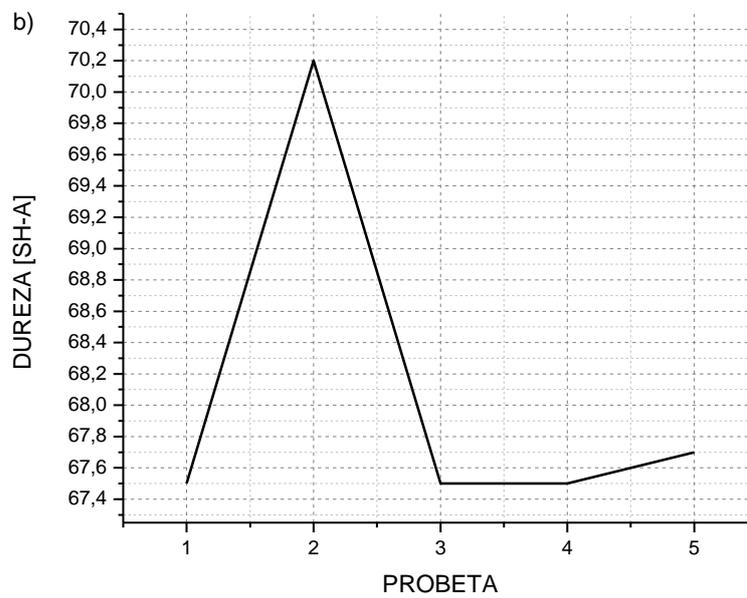
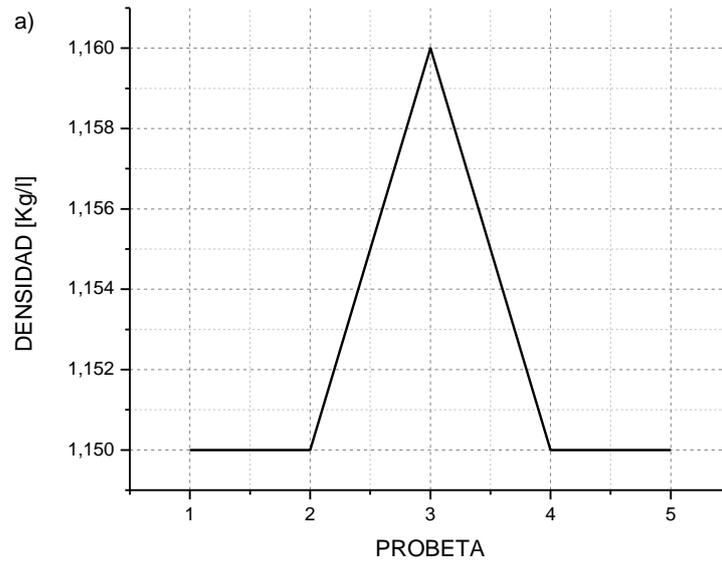
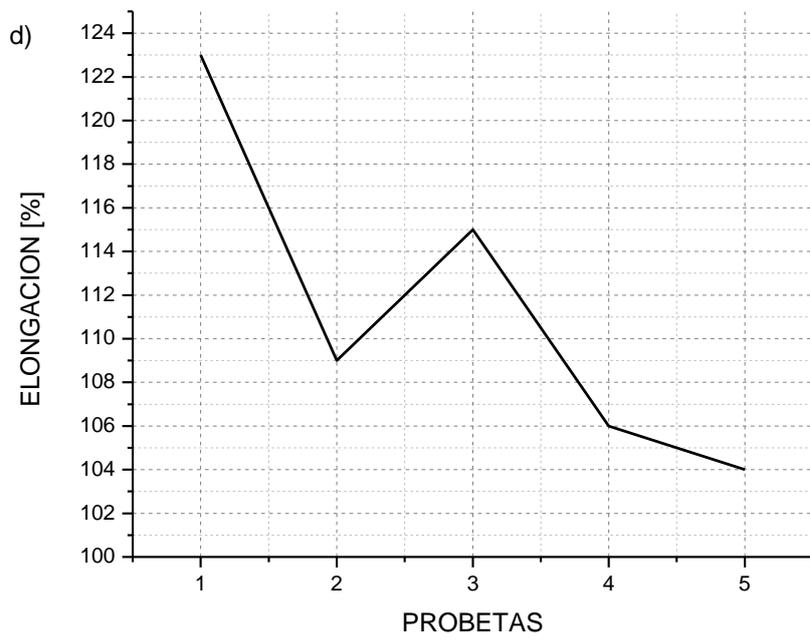
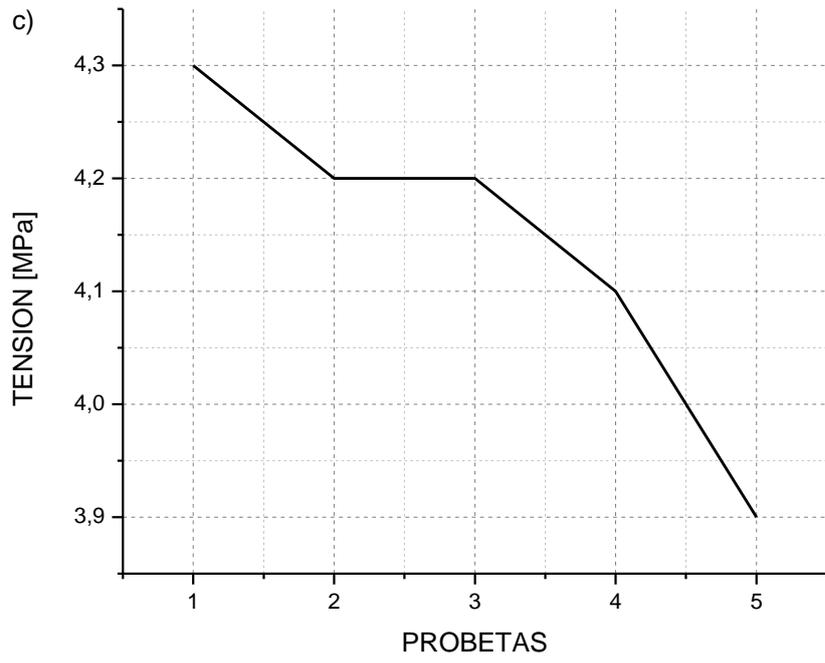


Fig. 2.14: Gráficos obtenidos de los ensayos realizados a las probetas con 96,5% de F-NFU y 3,5% de Azufre, a) Densidad; b) Dureza; c) Tensión; d) Elongación; e) Módulo de elasticidad. Fuente: Autor.

➤ **Gráficos de los resultados de la prueba 5.**

En la figura 2.15 se presenta los resultados, de los diferentes ensayos realizados a las probetas de F-NFU.





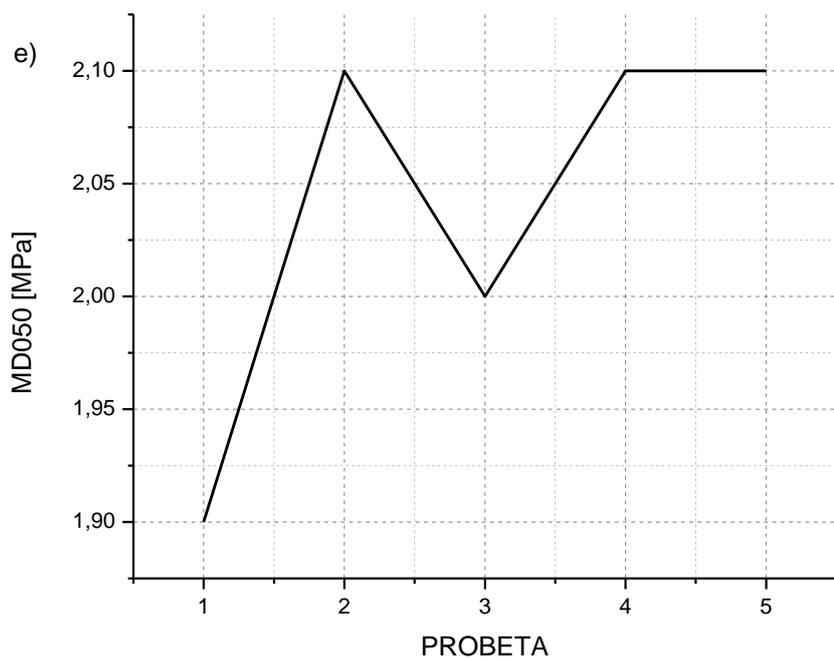
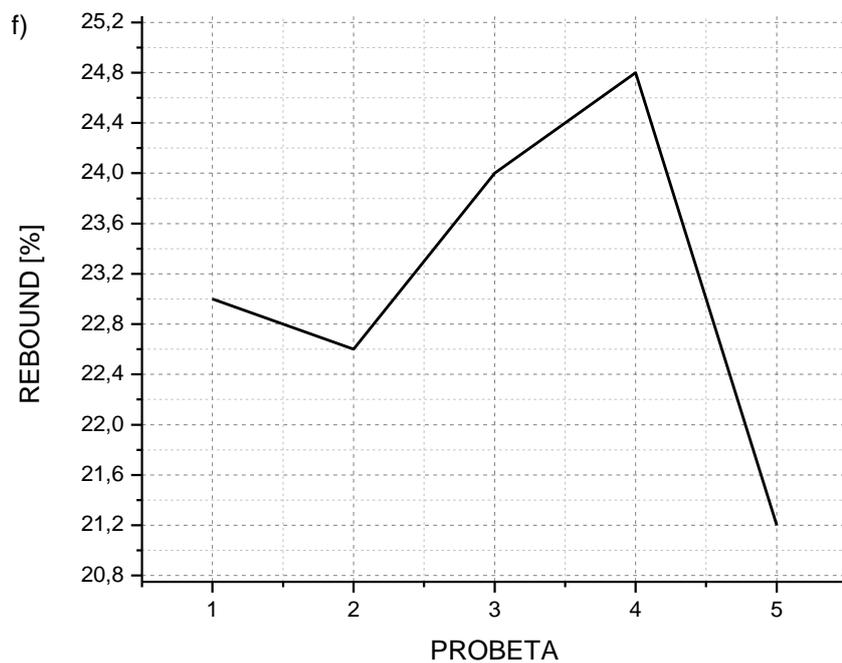
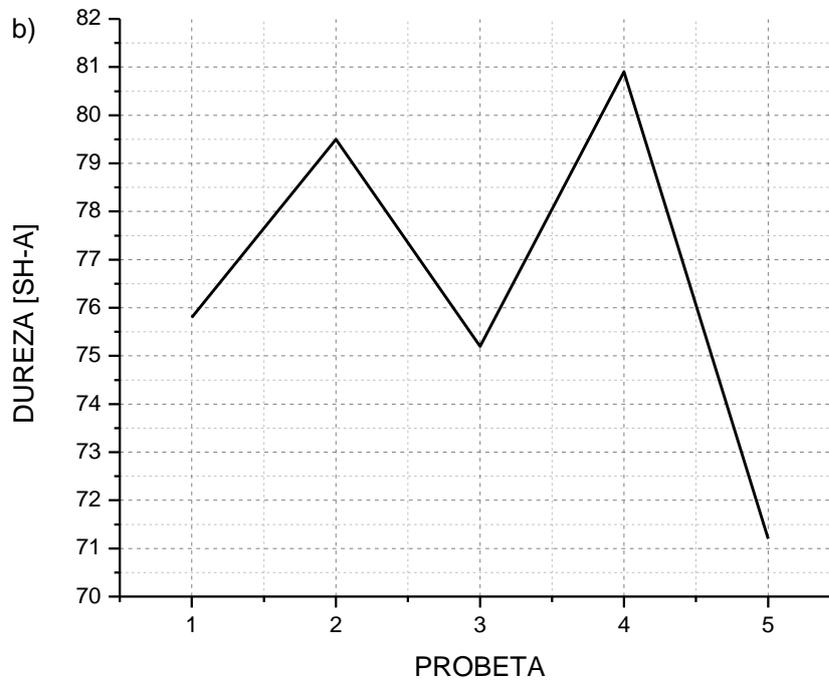
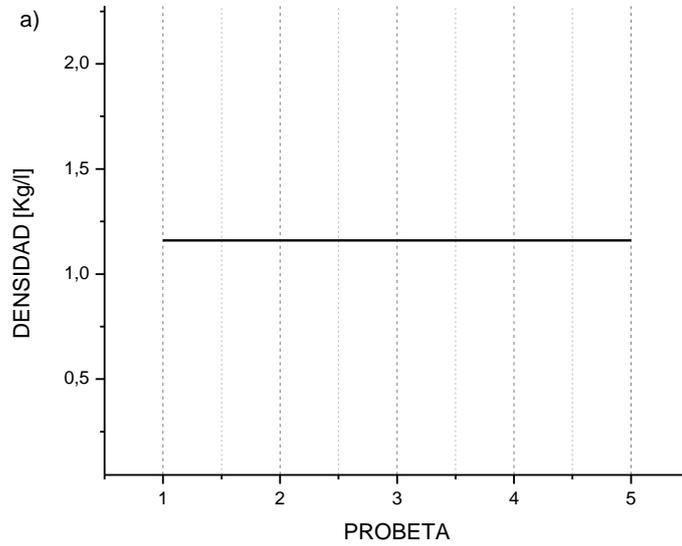
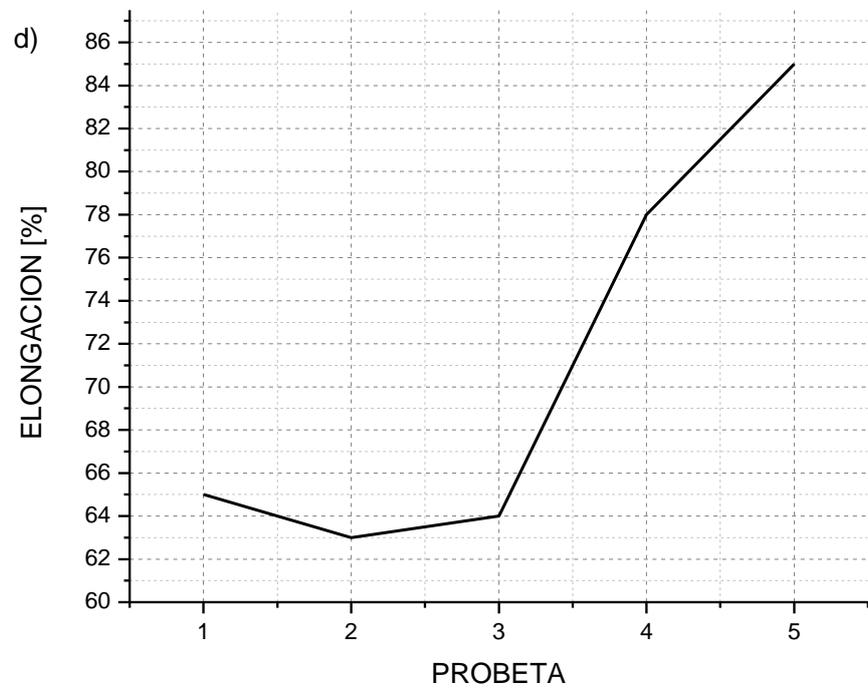
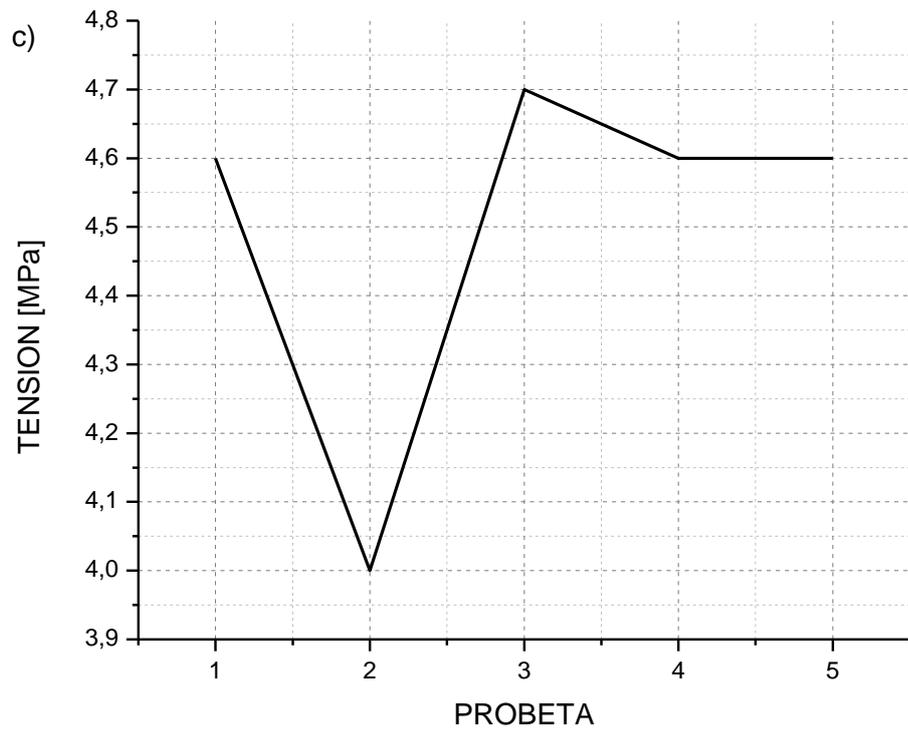


Fig. 2.15: Gráficos obtenidos de los ensayos realizados a las probetas con 95% de F-NFU y 5% de Azufre, a) Densidad; b) Dureza; c) Tensión; d) Elongación; e) Módulo de elasticidad. Fuente: Autor.

➤ **Gráficos de los resultados de la prueba 6.**

En la figura 2.16 se presenta los resultados, de los diferentes ensayos realizados a las probetas de F-NFU. Fuente: Autor.





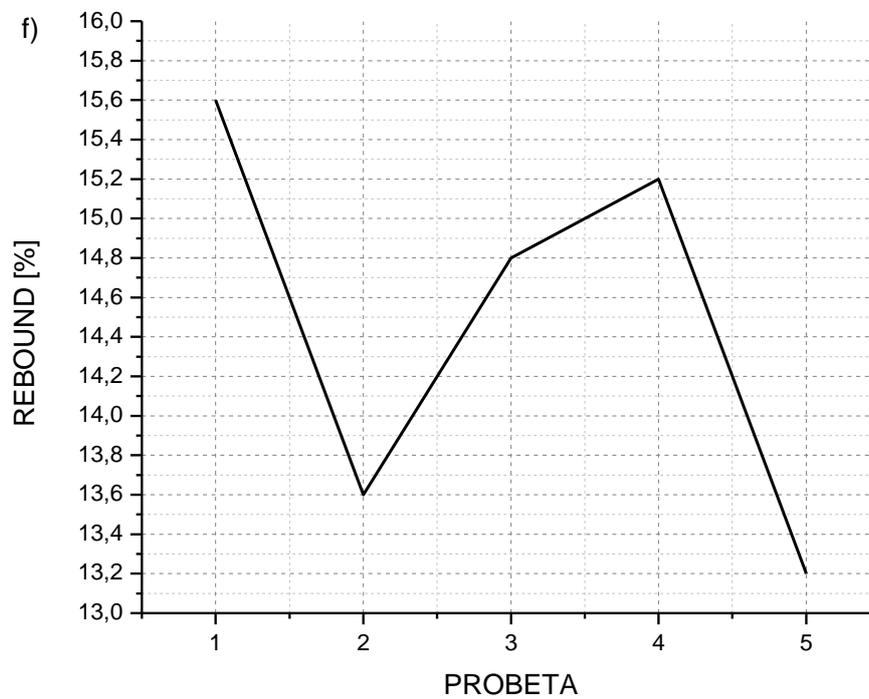
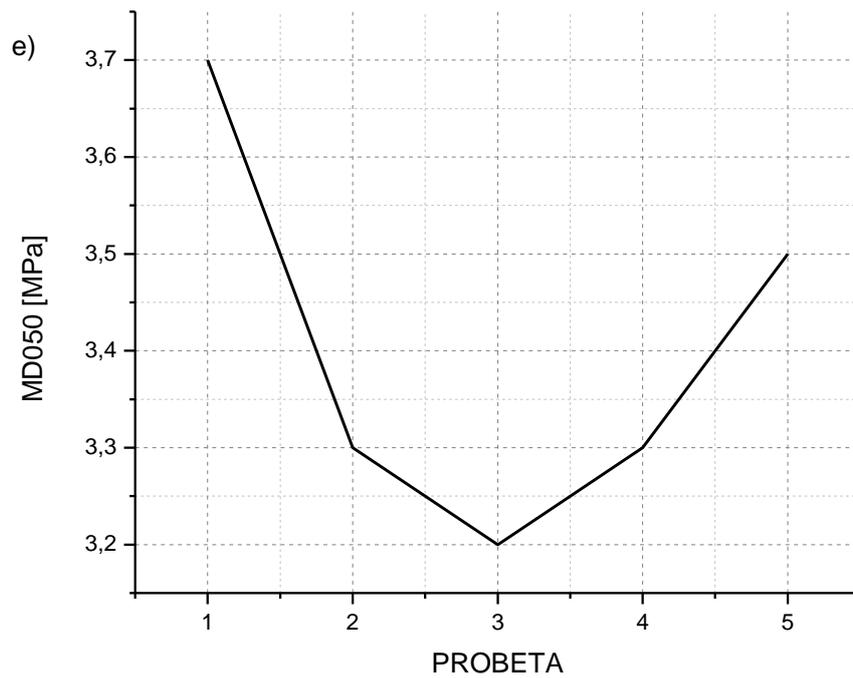


Fig. 2.16: Gráficos obtenidos de los ensayos realizados a las probetas con 93,5% de F-NFU y 6,5% de Azufre, a) Densidad; b) Dureza; c) Tensión; d) Elongación; e) Módulo de elasticidad. Fuente: Autor.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] Instituto Nacional de Estadística y Censos. (n.d.) Consultado el 20 de julio de 2013: <http://www.inec.gob.ec/estadisticas/>
- [2] Patio de Autos.com (2011). Ecuador tiene el cuarto lugar en el ranking de autos por número de habitantes. Consultado el 21 de agosto de 2013: http://www.patiodeautos.com/noticias/estadisticas/ecuador-tiene-el-cuarto-lugar-en-el-ranking-de-autos-por-numero-de-habitantes_1637.html
- [3] Rezulteo (2011). Consultado el 21 de agosto de 2013: <http://www.rezulteo-neumaticos.es/guia-neumaticos/mantenimiento-neumaticos/cada-cuanto-tiempo-se-deben-cambiar-los-neumaticos-684>
- [4] INPOL (n.d.). Consultado el 30 de agosto de 2013: <http://inpol.biz/es/caucho-natural>
- [5] Cano Serrano, E., Cerezo García, L., y Urbina Fraile, M. “Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso actualización.. Madrid.
- [6] Samprieto, G., & Rescia, L., (n.d.). Consultado el 5 de septiembre de 2013: <http://www.monografias.com/trabajos4/elcaucho/elcaucho.shtml>
- [7] Dioléfinas o alkadienos (caucho y caucho sintético). (2005). Consultado el 5 de septiembre de 2013: <http://www.textoscientificos.com/caucho/diolefinas>
- [8] Lic. Mansilla, M. A. “Influencia de la microestructura en las propiedades mecánicas y térmicas de mezclas de caucho natural y caucho estireno butadieno”
- [9] Bristilo, I., Isla, A., & Iglesias C., (2009). Consultado el 10 de septiembre de 2013: <http://www.monografias.com/trabajos72/materiales-caucho/materiales-caucho2.shtml>
- [10] Adhesivos PRENEX, (n.d.). Consultado el 3 de octubre de 2013: http://www.prenexltda.com/macros/TextContent_1.jsp?contentid=57&version=1
- [11] Ing. Castro, G. “Materiales y compuestos para la industria del neumático”
Departamento de ingeniería mecánica F.I.U.B.A. diciembre 2008
- [12] Ing. Ángela, M. “Influencia de la microestructura en las propiedades mecánicas y térmicas de mezclas de caucho natural y caucho estireno butadieno”, Mansilla, 2012.
- [13] El vulcanizado, (n.d.). Consultado el 12 de diciembre del 2013: <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/automovil/paginas/vulcanizado.htm>
- [14] Struktol “Manual del caucho”

- [15] "Tire recycling industry a global view"
- [16] Gobierno de Coahuila Zaragoza "PLAN ESTATAL DE MANEJO Y RECICLAJE -360- DE LLANTAS USADAS EN COAHUILA"
- [17] Verdejo, A., (2013). Consultado el 5 de enero del 2014:
<http://www.ambientum.com/revista/2013/enero/Neumaticos-fuera-de-uso-material-aprovechable.asp>
- [18] CEMPRE, (n.d.). Consultado el 5 de enero del 2014:
http://www.cempre.org.br/ft_pneus.php
- [19] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (n.d.). Consultado el 6 de enero del 2014:
<http://www.epa.gov/osw/conserva/materials/tires/tdf.htm>
- [20] "PROYECTO DE LEY DE PRESUPUESTOS MINIMOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS NEUMÁTICOS FUERA DE USO"
- [21] Comunicación de responsabilidad y sustentabilidad empresaria. (2010). Consultado el 5 de enero del 2014:
<http://comunicarseweb.com.ar/?El+reciclado+de+neum%E1ticos+lleg%F3+a+Argentina&page=ampliada&id=2969>
- [22] MOTOR, (n.d.). Consultado el 6 de enero del 2014:
http://www.motor.com.co/vehiculos-motor/ARTICULO-WEB-NEW_NOTA_INTERIOR-9343605.html
- [23] GRUPO RENOVA S.A.S. (2014). Consultado el 6 de enero del 2014:
http://www.gruporenova.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=156
- [24] Lazcano, P., (2013). Consultado el 7 de enero del 2014:
<http://diario.latercera.com/2013/05/06/01/contenido/tendencias/16-136130-9-reciclaje-de-neumaticos-en-chile-aumenta-nueve-veces-desde-2008.shtml>
- [25] El observador, (2014). Consultado el 7 de enero del 2014:
<http://www.elobservador.com.uy/noticia/84530/reciclaje-neumaticos-viejos-con-tecnologia-china/>
- [26]CEMPRE, Uruguay. (2014). Consultado el 8 de enero del 2014:
http://www.cempre.org.uy/index.php?option=com_content&view=article&id=83&Itemid=101
- [27] Grupo MAVESA, (2013). Consultado el 8 de enero del 2014:
http://www.grupomavesa.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=893&Itemid=523

- [28] Ministerio del ambiente. (2013). Consultado el 20 de enero del 2014:
<http://www.ambiente.gob.ec/tag/llantas/>
- [29] Continental. (2013). Consultado el 3 de febrero del 2014: http://www.continental-corporation.com/www/pressportal_an_es/themes/press_releases/4_rubber_group/truck_tires/pr_2013_04_09_renovallanta_es.html
- [30] Continental Tire Andina S.A. (2014). Consultado el 3 de febrero del 2014:
<http://www.familiaconti.com/webs/aportealasociedad.php>
- [31] Ministerio de industrias y productividad. (2014) Consultado el 6 de febrero del 2014:
<http://www.industrias.gob.ec/reusa-llanta/>
- [32] SIGNUS. (n.d.). Consultado el 4 de mayo del 2014: <https://www.signus.es/es/cadena-de-valor/reciclaje-y-valorizacion-material/info/aplicaciones-de-los-neumaticos-reciclados>
- [33] Basesport. (n.d.). Consultado el 4 de mayo del 2014:
<http://www.basesport.cl/productos/tatami/piso-para-salas-de-pesas/>
- [34] Fco. Gonzales Benito, J. Técnicas de Análisis Térmico, caracterización de materiales y defectos, Universidad Carlos III de Madrid, España – Madrid.
- [35] Jiorings. (n.d.). Consultado el 5 de mayo del 2014:
http://www.jiorings.com/downloads/CATALOGO_ELASTOMEROS_XS.pdf
- [36] ASEFMA. (n.d.). Consultado el 20 de mayo del 2014: <http://asefma.es/mezclas-bituminosas-con-polvo-de-neumatico-una-solucion-tecnica-y-ambiental/>
- [37] TOI S.L. (n.d.). Consultado el 20 de mayo del 2014:
<http://www.cmtoi.es/techos/tejaAcustica>