

**DETERMINACIÓN DE LA DUREZA Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE
MEZCLAS DE CAUCHO HEVEA BRASILIENSIS Y HULE BUTADIENO (BR)**

**RODRIGO ALBERTO BÁEZ OCHOA
MARLON BRANDO LÓPEZ CARRILLO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
FLORIDABLANCA
2014**

**DETERMINACIÓN DE LA DUREZA Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE
MEZCLAS DE CAUCHO HEVEA BRASILIENSIS Y HULE BUTADIENO (BR)**

**RODRIGO ALBERTO BÁEZ OCHOA
MARLON BRANDO LÓPEZ CARRILLO**

Aspirantes al título de ingeniero mecánico

Proyecto de grado

**Director,
Alfonso Santos Jaimes.**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
FLORIDABLANCA**

2014

Nota de aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, 20 de enero de 2014

DEDICATORIA

Principalmente a Dios por haberme permitido tener como padres a Rodrigo Báez Roa y a Esilda Isabel Ochoa Ortiz que me han dado muchas oportunidades en la vida y en la academia gracias por respaldar mis malas o buenas decisiones y a mi hermano Jorge Báez Ochoa por tantas ayudas y tantos momentos en la vida y esperare que todos cumplamos con las metas propuestas en este nuevo punto de nuestra vida que empezamos.

(Báez, Rodrigo)

DEDICATORIA

A mi familia, por respaldar mis decisiones, a mis padres Luis Gregorio Lopez Peralta (Q.E.P.D) y Lilianne Mercedes Carrillo Pinto por haberme dado la vida, la educación, orientación y motivación de mis esfuerzos, a mis amigos que siempre estuvieron en los momentos difíciles para salir adelante con mi carrera universitaria, siempre brindare porque cada uno obtenga lo que más importante en la vida, la felicidad.

(López, Marlon)

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirnos nacer, darnos la oportunidad de superarnos académicamente y por la fortaleza que nos ha otorgado para sobrellevar cada uno de los obstáculos que se nos presentaron a lo largo de estos años.

A nuestras familias, por el apoyo, cariño, la paciencia y la motivación que nos brindaron.

Al Ing. Alfonso Santos, por hacerse cargo de este proyecto y guiarnos con sabiduría, ya que sin su apoyo no habríamos encontrado el rumbo para la culminación de este proyecto.

A todos los profesores que nos encontramos a lo largo de nuestra carrera, por compartir con nosotros sus conocimientos, sabiduría y exigir al máximo nuestras capacidades.

A nuestros amigos y compañeros, porque sin ellos las clases no habrían tenido el mismo sentido.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.	17
1. OBJETIVOS.	19
1.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2. MARCO TEORICO.	21
2.1. CAUCHO NATURAL.	21
2.1.1. Hule natural, de hevea brasiliensis (NR)[21
2.1.2. Vulcanización.	23
2.2. CAUCHO SINTÉTICO	25
2.2.1. Hule butadieno (BR).	25
2.2.2. Vulcanización.	27
2.3. PROCESO DE FABRICACION DE PRODUCTOS DE CAUCHO	27
2.4. DESCRIPCION DE MAQUINAS.	28
2.4.1. Molino	28
2.4.2. Vulcanizadora hidráulica.	29
2.5. SISTEMA HIDRÁULICO	30
2.5.1. Transmisión de potencia.	30
2.5.2. Ventajas de la hidráulica.	30
2.5.2.1. Velocidad variable	30
2.5.2.2. Reversibilidad:	30
2.5.2.3. Tamaños pequeños	31
2.5.2.4. Pueden bloquearse	31
2.5.3. Depósitos	31
2.5.4. Filtros.	31

2.5.5. Manómetro	31
2.5.6. Actuadores hidráulicos.	31
2.5.6.1. Cilindros.	31
2.5.7. Válvulas antirretorno.	32
2.5.8. Válvulas reguladoras de caudal.	32
2.5.9. Válvula de control direccional.	32
2.5.10. Válvula de control de presión.	32
2.5.11. Bombas hidráulicas	33
2.5.11.1. Bombas de engranajes	33
2.5.12. Circuitos hidráulicos.	33
2.6. ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y DUREZA.	34
2.7. MEDIDORES.	34
2.7.1. Instrumento medidor de dureza hartip1500	34
2.8. SOFTWARE UTILIZADO PARA EL DISEÑO	35
2.8.1. Solidworks	35
2.8.2. Ansys	36
3. METODOLOGIA.	37
3.1. PROBETAS	37
3.2. NUMERO DE PROBETAS.	38
3.3. CANTIDAD DE MATERIAL UTILIZADO.	39
3.4. ENSAYO DE DUREZA SHORE.	41
3.4.1. Proceso para el ensayo de dureza shore.	41
3.5. ENSAYO A LA COMPRESIÓN.	42
3.5.1. Proceso para la medición de la resistencia a la compresión.	43
4. ANALISIS SISTEMA HIDRÁULICO.	44
4.1. ESQUEMA Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO.	44
4.2. ANÁLISIS DEL SISTEMA HIDRÁULICO.	46

5. DISEÑO VULCANIZADORA.	47
5.1. DISEÑO SOFTWARE SOLIDWORK.	48
5.1.1. Rieles para los moldes.	48
5.1.2. Ángulos de soporte.	49
5.1.3. Estructura de soporte.	50
5.1.4. Molde.	51
5.1.5. Estructuras en C.	52
5.1.6. Soporte del cilindro	53
5.1.7. Soporte del molde en la parte inferior.	54
5.1.8. Soporte del molde en la parte superior	55
5.2. DISEÑO SOFTWARE ANSYS.	57
5.2.1. Descripción de la situación.	57
5.2.2. Descripción funcional.	58
5.2.3. Mallado.	58
5.2.4. Condiciones de frontera.	59
5.2.5. Deformación total.	60
5.2.6. Esfuerzo equivalente.	61
6. CARACTERIZACION DEL CAUCHO.	64
6.1. PRUEBAS DE DUREZA.	64
6.1.1. Tablas de pruebas.	64
6.1.2. Curvas de correlación.	68
6.2. PRUEBAS DE COMPRESIÓN.	69
6.2.1. Tablas de pruebas.	69
7. CONCLUSIONES.	77
8. RECOMENDACIONES.	79
BIBLIOGRAFIA	80

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Porcentaje de componentes básicos para la vulcanización de caucho natural.	24
Tabla 2. Temperaturas de transición	26
Tabla 3. Porcentajes de mezclas.	38
Tabla 4. Cantidades de productos para el proceso de mezclado.	41
Tabla 5. Prueba de dureza, 50% caucho sintético.	64
Tabla 6. Prueba de dureza, 60% caucho sintético.	65
Tabla 7. Prueba de dureza, 70% sintético.	65
Tabla 8. Prueba de dureza, 80% sintético.	65
Tabla 9. Prueba de dureza; 90% sintético.	66
Tabla 10. Prueba de dureza, 40% sintético.	66
Tabla 11. Prueba de dureza, 30% sintético.	66
Tabla 12. Prueba de dureza, 20% sintético.	67
Tabla 13. Prueba de dureza, 10% sintético.	67
Tabla 14. Prueba de dureza, 100% sintético.	67
Tabla 15. Prueba de compresión, 50% sintético.	70
Tabla 16. Prueba de compresión, 60% sintético.	70
Tabla 17. Prueba de compresión, 70% sintético.	71
Tabla 18. Prueba de compresión, 80% sintético.	71
Tabla 19. Prueba de compresión, 90% sintético.	72
Tabla 20. Prueba de compresión, 40% sintético.	72
Tabla 21. Prueba de compresión, 30% sintético.	73
Tabla 22. Prueba de compresión, 20% sintético.	73
Tabla 23. Prueba de compresión, 10% sintético.	74
Tabla 24. Prueba de compresión, 100% Sintético.	74

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Molino de caucho.	28
Figura 2. Vulcanizadora.	29
Figura 3. Probetas vulcanizadas.	37
Figura 4. Acelerantés.	39
Figura 5. Azufre.	40
Figura 6. Negro humo.	40
Figura 7. Proporciones de cada uno de los productos.	40
Figura 8: Medidor hartip 1500.	41
Figura 9. Maquina universal.	42
Figura 10. Esquema sistema hidráulico.	44
Figura 11. Vulcanizadora.	47
Figura 12. Rieles para molde.	49
Figura 13. Ángulos de soporte.	50
Figura 14. Estructura de soporte.	51
Figura 15. Molde.	52
Figura 16. Estructura en c.	53
Figura 17. Soporte del cilindro.	54
Figura 18 Soporte del molde en la parte inferior.	55
Figura 19. Soporte del molde en la parte superior.	56
Figura 20. Tornillo del acople para el molde.	57
Figura 21. Tuerca.	57
Figura 22. Mallado vulcanizadora.	59
Figura 23. Condiciones de frontera.	60
Figura 24. Condiciones de frontera.	60
Figura 25. Deformación total.	61
Figura 26. Esfuerzo equivalente.	62
Figura 27. Factor de seguridad.	63

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Curvas de correlación, dureza vs porcentajes.	68
Gráfica 2. Curvas de correlación, esfuerzo a diez centímetros de deformación vs porcentajes.	75

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Esquema eléctrico de la vulcanizadora	82
Anexo B. Graficas de correlación Esfuerzo Vs Deformación.	83

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DETERMINACIÓN DE LA DUREZA Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE CAUCHO HEVEA BRASILIENSIS Y HULE BUTADIENO (BR).

AUTOR(ES): RODRIGO ALBERTO BAEZ OCHOA
MARLON BRANDO LOPEZ CARRILLO

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): ALFONSO SANTOS JAIMES

RESUMEN

En este proyecto de grado se tiene como objetivo principal caracterizar mecánicamente la mezcla de caucho hevea brasiliensis y hule butadieno, a través de ensayos de Dureza y Resistencia a la compresión, para determinar la correlación de estas propiedades con el porcentaje de cada uno de los cauchos presentes en la mezcla. Durante el desarrollo del presente proyecto se realizó el diseño de una máquina vulcanizadora de caucho funcional teniendo como base los datos de presión (88,0856 KPa) y temperatura (165 °C) obtenidos a través de la experiencia de la industria. Luego se fabricaron 10 probetas con diferentes porcentajes de mezcla de caucho natural y hule Butadieno (BR), se realizaron aproximadamente 250 ensayos de dureza Shore y 10 pruebas de resistencia a la compresión a la totalidad de probetas, para luego organizar los resultados en tablas y gráficos que permitieran realizar el correcto análisis de los resultados obtenidos. Para los datos obtenidos en la práctica se manejó un coeficiente de correlación igual o superior a 0.90 ($R^2 = 0.90$), mediante el uso Excel se obtuvo como resultado un valor de dureza shore máximo promedio de 72.56, este valor fue obtenido en la probeta fabricada con 90% de hule butadieno y 10% de caucho natural; y un valor de dureza mínimo promedio de 66.82, que se obtuvo en la probeta compuesta 10% de hule butadieno y 90% de caucho natural. El mayor valor de resistencia a la compresión obtenido fue 509.29 KPa y se obtuvo en la probeta fabricada con 10% de hule butadieno y 90% de caucho natural, y el menor valor corresponde a 79.22 KPa encontrado en la probeta fabricada 90% de hule butadieno y 10% de caucho natural.

PALABRAS CLAVES:

Shore, Compresion, Butadieno, Mezcla, Natural.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DETERMINATION OF THE STRENGTH AND RESISTANCE TO COMPRESSION RUBBER MIXING HEVEA BRASILIENSIS AND RUBBER BUTADIENE (BR).

AUTHOR(S): RODRIGO ALBERTO BAEZ OCHOA
MARLON BRANDO LOPEZ CARRILLO

FACULTY: Facultad de Ingenierí a Mecónica

DIRECTOR: ALFONSO SANTOS JAIMES

ABSTRACT

The main objective of this graduate project is to mechanically characterize the blend of Hevea brasiliensis rubber and butadiene rubber, through Hardness and compressive strength testing to establish the correlation between these properties and the percentage of each of the rubbers present in the mixture. In the development of this project, the analysis and design of a functional rubber vulcanizer machine based on pressure (88.0856 kPa) and temperature (165 ° C) data obtained through experience in the industry was performed. 10 specimens with different mixing ratios of natural rubber and butadiene rubber (BR) were produced, approximately 250 test and 10 Shore hardness testing compressive strength were conducted and then the data was organized in tables, and graphs done to allow proper analysis of the results. For the data obtained in practice, a determination coefficient equal to or greater than 0.90 ($R^2 = 0.90$) was used. Through Excel the maximum Shore hardness was obtained resulting in an average value of 72.56, this value was obtained on the specimen made with 90% butadiene rubber and 10% natural rubber, and an average value of minimum hardness of 66.82, which was obtained in the test tube comprised 10% butadiene rubber and 90% natural rubber. The highest value of compressive strength obtained was 509.29 kPa and was obtained in the specimen made with 10% butadiene rubber and 90% natural rubber, and the smallest value corresponds to 79.22 KPa manufactured specimen found 90% of butadiene rubber and 10% natural rubber.

KEYWORDS:

Shore, Compression, Butadiene, Mixing, Natural.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCION.

La industria para ser competitiva debe realizar sus procesos de manera eficiente y con calidad, es por esto que actualmente se ha vuelto común el deseo de optimizar los recursos a través de la reducción de los costos y la disminución del tiempo en los procesos de fabricación de los productos para obtener el aumento continuo de las ganancias, situación que ha contribuido a que los cauchos tengan gran acogida en el mercado, pues éstos cumplen a cabalidad con los requerimientos comerciales y de la industria, además han sido materia prima para muchos objetos que han cambiado el mundo, como por ejemplo los neumáticos.

En la industria continuamente se han desarrollado diferentes mezclas y con base a éstas se realizan pruebas con cauchos naturales y sintéticos que buscan cambios en las propiedades químicas del producto para mejorar las características mecánicas y con el objetivo de obtener productos de altísima calidad, mayor resistencia y durabilidad.

Con este proyecto se pretende caracterizar completamente y de manera puntual dos propiedades mecánicas del material como son la dureza y la resistencia a la compresión de la mezcla del caucho natural *hevea brasiliensis* y del caucho sintético hule butadieno.

Con el fin de cumplir el objetivo principal de este proyecto, inicialmente se construyó un molino para mezclar los materiales y obtener una mezcla homogénea con la que se desarrolla el producto final –las probetas-, luego se pasó a la vulcanizadora donde la mezcla fue sometida a altas temperaturas y presiones con el fin de dar la forma cilíndrica a las probetas y finalmente se realizaron las pruebas de dureza y resistencia a la compresión para la caracterización propuesta.

Este documento consta de seis capítulos, en el primero se muestran los conceptos teóricos relacionados con las propiedades del caucho natural *hevea brasiliensis* y del caucho sintético hule butadieno, los procesos de fabricación de productos a base de caucho y la descripción de las máquinas y sistemas hidráulicos usados en los mismos. En el segundo se describe la metodología y el proceso experimental desarrollado durante el proyecto para la fabricación de las probetas. En el tercer capítulo se analizan las condiciones técnicas necesarias en el sistema hidráulico de la vulcanizadora a utilizar en el proceso. El cuarto capítulo describe el proceso de diseño de la vulcanizadora de acuerdo a las condiciones descritas en el tercer capítulo. El quinto capítulo corresponde a los resultados de las pruebas de dureza y resistencia a la compresión de las probetas fabricadas durante la realización del proyecto y el análisis de los resultados del proceso de caracterización. Finalmente, en el sexto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones.

1. OBJETIVOS.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar mecánicamente la mezcla de caucho hevea brasiliensis y hule butadieno, a través de ensayos de Dureza y Resistencia a la compresión, para determinar la correlación de estas propiedades con el porcentaje de cada uno de los cauchos presentes en la mezcla.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el diseño básico y detallado de una vulcanizadora, a través del software Solid Works y Ansys **Resultado:** Planos detallados y memorias de cálculo de la vulcanizadora. **Indicador:** se entregaran los resultados de presiones y temperaturas que actúan sobre la vulcanizadora por medio del software Ansys y los planos se entregaran según la norma ANSI.
- Construir el molde para la fabricación de probetas requeridas en los ensayos de resistencia a la compresión y dureza shore **Resultado:** Molde Fabricado. **Indicador:** El molde debe permitir la fabricación de probetas que puedan ser ensayadas en los equipos disponibles en la universidad (Máquina Universal y probador de dureza HARTIP 1500).
- Fabricar probetas con diferentes porcentajes de mezclas de caucho hevea brasiliensis y hule butadieno. **Resultado:** Probetas de ensayo. **Indicador:** por medio de una balanza digital se garantizaran las 10 probetas con diferentes porcentajes de la mezcla.

- Realizar los ensayos de dureza y resistencia a la compresión de la mezcla de cauchos propuesta, para diferentes porcentajes de composición. **Resultado:** Datos de dureza Shore y Resistencia a la compresión **Indicador:** las pruebas se realizaran hasta los 100 KN que permite la máquina.
- Obtener la curva de correlación entre la resistencia a la compresión y el porcentaje de mezcla de cauchos; y entre la dureza y el porcentaje de mezcla de cauchos. **Resultado:** Curvas de correlación **Indicador:** Se utilizará un coeficiente de determinación igual o superior a 0.90 ($R^2 = 0.90$) y se entregaran las curvas de correlación en el software Excel.

2. MARCO TEORICO.

El marco teórico se abordara a través de tres temas diferentes: cauchos, procesos de fabricación de productos de caucho, descripción de las maquinas utilizadas para la obtención del caucho, sistemas hidráulicos y ensayos de compresión y dureza.

2.1. CAUCHO NATURAL.

El caucho natural, extraído del sangrado de la corteza de varias moráceas y euforbiáceas intertropicales, entre las que se destaca la *Hevea Brasiliensis*. En Colombia se produce caucho natural de diversas presentaciones entre las que se destaca el látex, el caucho en lámina, el caucho ripio y el caucho granulado. La cadena productiva comprende desde el cultivo del caucho, controlando plagas y enfermedades, la recolección de látex contenido en la red de vasos laticíferos, y la disolución, filtrado, acidificación, coagulación, laminación secado y empaque de látex, hasta obtener el caucho natural.

2.1.1. Hule natural, de hevea brasiliensis (NR)[1]. El caucho natural (NR) se extrae a partir del látex, una mezcla lechosa de algunas plantas. La planta más usada es el hevea brasiliensis. La producción se realiza por medio de una incisión en la corteza del árbol, esta emana un látex en el cual el caucho se encuentra en forma de pequeños glóbulos de diámetros entre 0,1 a 1mm. El material es recolectado y se lo deja secar o se lo coagula con ácido fórmico. A partir de 60 litros de látex, luego de un proceso de secado y extrusión se obtienen aproximadamente 12 Kg de caucho. El tiempo de maduración de un ejemplar de hevea brasiliensis para que comience a producir caucho es de 7 años, para tener

25 años de productividad. Este tipo de caucho natural crece en ambientes húmedos con altas temperaturas, por eso se cultiva en países que se encuentran ubicados entre los Trópicos.

Los principales productores de caucho natural son Tailandia, Indonesia, Malasia, India, Vietnam, Asia y Oceanía producen el 93% de la producción mundial de NR, que fue de poco más de 10 millones de toneladas. Algunos países productores de Latinoamérica son Ecuador, Colombia, Bolivia, Brasil, Guatemala y México.

Asia y Oceanía, que son los principales productores, también son los mayores consumidores debido al gran desarrollo industrial de países como India y China, siendo éste último el mayor consumidor de la producción de NR.

Unas de sus principales características del NR son su bajo costo de producción, si es vulcanizado tiene muy buena respuesta elástica, resistencia mecánica y a la abrasión, mayor que la de los cauchos sintéticos. Por ejemplo los neumáticos utilizados en camiones, tractores o aviones son capaces de resistir fuerzas de corte extremadamente altas y cambios bruscos de temperatura, propiedades que hacen del NR un material insustituible, convirtiéndolo en un recurso estratégico. Otra ventaja que ofrece es que se obtiene a partir de un recurso renovable, diferente al caso de los cauchos sintéticos que se obtienen a partir de derivados del petróleo [2].

El hule natural es soluble en hidrocarburos alifáticos y en algunos otros solventes que contengan un parámetro de solubilidad similar al del NR.

El NR tiene una temperatura de transición vítrea “T_g” de -73 °C.

Debido a su estructura regular, el hule natural es capaz de cristalizarse. Así, la temperatura de fusión cristalina “T_m” es de 25 °C, y la velocidad de cristalización

alcanza su máximo a -25 °C. Además, la cristalización en el NR puede ser inducida por deformación (extensión). Esto permite que el hule natural exhiba gran resistencia en pruebas de tensión-elongación; lo anterior no sucede con otros hules como en el SBR, que no cristalizan y tienen que ser formulados con negro humo para alcanzar alta resistencia [3].

El hule natural reaccionara con las sustancias químicas que son reactivas hacia las dobles enlace carbono-carbono. Además, la presencia del grupo metilo en el poli-isopreno aumenta la reactividad del doble enlace (al compararla con el butadieno); esta razón permite que el hule natural generalmente sea más reactivo que el estireno- butadieno (SBR) y que el butadieno hacia una gran variedad de sustancias químicas, incluyendo las que forman los sistemas de vulcanización.

Se debe notar que también pueden ocurrir importantes reacciones químicas en los átomos de carbono adyacentes a los dobles enlaces. En este punto los átomos de hidrogeno son más fáciles de abstraer que aquellos en las dobles ligaduras.

2.1.2. Vulcanización. Un sistema típico de vulcanización para el hule natural incluye cuatro componentes básicos: azufre, acelerador, activador y ácido graso; estos se utilizan en concentraciones, como se indica a continuación en la tabla 1:

Tabla 1. Porcentaje de componentes básicos para la vulcanización de caucho natural.

Sistema de vulcanización		
	CONVENCIONAL	EFICIENTE
Hule natural	100 phr	100 phr
Azufre	2.0-3.5	0.4-0.8
Acelerador	1.5-0.5	5.0-2.0
Activador (ZnO)	3-5	3-5
Ácido graso (esteárico)	1-2	1-2

Los aceleradores varían enormemente en sus efectos, pero en un caso típico se requiere aproximadamente de 20 minutos a 140 °C para la vulcanización de un compuesto de hule. Es común, además, que por cada 10 °C de incremento en la temperatura, se requiere de la mitad del tiempo para su vulcanización: por ejemplo, si a 140°C se requiere de 20 minutos a 150 °C se requerirá de 10 minutos, y a 160 °C se requerirá de 5 minutos, etcétera.

Un sistema de vulcanización “eficiente” tiende a producir una mayor concentración de enlaces mono y disulfuro, en comparación con el sistema “convencional”, que tiende a producir mayor concentración de enlaces poli sulfuro.

Dependiendo del sistema de vulcanización que se utilice, se ha hecho un estimado del número de átomos de azufre que se requieren para producir cada entrecruzamiento; en un sistema “hule-azufre”, sin acelerador, este número esta alrededor de 45; en un sistema convencional “hule-azufre-acelerador”, el numero oscila alrededor de 15; en el sistema eficiente “hule-azufre-acelerador”, este número esta alrededor de 5.

2.2. CAUCHO SINTÉTICO [4].

El caucho sintético, es obtenido a partir de productos del petróleo por reacciones complejas de polimerización. La cadena productiva hasta obtener el caucho sintético comienza con la refinación petroquímica y la correspondiente generación de olefinas y aromáticos, que sirven como base para obtener el etil-benceno, el estireno y el acrilonitrilo. Éstos a su vez, son insumos para la producción de diversos cauchos sintéticos: el estireno butadieno (SBR), el polibutadieno (PBR), el butilo, el cloro butadieno, el aquilonitrilo butadieno, el isopreno y el etil-propileno-dieno (EPDM), entre otros. El caucho natural, el caucho sintético y las mezclas entre estos dos, así como con otros aditivos (por ejemplo, con el negro de humo o con la sílice), se utilizan como materia prima para la elaboración de semiproductos o formas básicas (caucho sin vulcanizar; hilos y cuerdas de caucho vulcanizado; placas, hojas, tiras, varillas y perfiles de caucho sin endurecer, y tubos de caucho vulcanizado sin endurecer) y otros productos y artículos de diversos usos.

2.2.1. Hule butadieno (BR). La polimerización del butadieno puede dar lugar a tres formas de polibutadieno: a) cis-1,4 polibutadieno; b) trans-1,4 polibutadieno; c) 1,2 polibutadieno.

En la tabla 2 se presenta la temperatura de transición vítrea “T_g” y la temperatura de fusión de la parte cristalina “T_m” de las tres formas de polibutadieno presentadas arriba.

“T_m” y “T_g” de polímeros dieno estereorregulares como se muestra en la siguiente tabla 2.

Tabla 2. Temperaturas de transición [5]

Polímeros	T _m [°C]	T _g [°C]
PB trans-1,4	145	-106
PB cis-1,4	3	-107
PB 1,2	130	-15
PI trans-1,4	65	-60
PI cis-1,4	25	-73

PB= polibutadieno; PI= poli-isopreno

En el caso de los hules, la resistencia a la abrasión ha sido relacionada con la habilidad para sufrir una rápida deformación. A su vez, esta habilidad es función de la flexibilidad de la cadena molecular, la cual aumenta al incrementarse la diferencia "T_{test}-T_g"; donde "T_{test}" representa la temperatura a la que se hace la prueba de resistencia a la abrasión (por lo común, igual a la temperatura ambiente). En virtud de que el hule butadieno tiene muy baja "T_g", la resistencia a la abrasión del BR vulcanizado es muy alta en comparación con otros hules.

El BR tiene alta resiliencia, esta se encuentra relacionada con la alta flexibilidad de la cadena molecular, que depende a su vez de la baja T_g. Sin embargo, la resiliencia del BR disminuye a grandes deformaciones: esto permite que en llantas y en otros usos que implican grandes deformaciones se utilicen mezclas de BR con NR o SBR.

Las aplicaciones comerciales del BR se derivan de las propiedades siguientes, en las cuales es superior al NR y SBR:

- Resistencia a la abrasión.
- Flexibilidad a bajas temperaturas.
- Resistencia al envejecimiento con calor.
- Alta resiliencia a bajas deformaciones.
- Alta resistencia al ozono.

- Habilidad de aceptar mayor concentración de cargas y aceites.
- Sus principales limitaciones son:
- Baja adhesividad para consigo mismo.
- Escaso “agarre” al pavimento, por ejemplo, en llantas con piso de BR; este es un rasgo relacionado con la alta resiliencia.
- Baja tensión y resistencia al desgarre.

El BR, no sufre degradación durante el proceso de trituración. Lo anterior se debe a que el BR está basado en el butadieno, que carece de la activación del doble enlace por parte del grupo metilo adyacente [6].

2.2.2. Vulcanización. La formulación con base en BR es muy similar a la utilizada con el hule natural; pero, es común utilizar una cantidad ligeramente mayor de acelerador y una cantidad poco menor de azufre[7].

2.3. PROCESO DE FABRICACION DE PRODUCTOS DE CAUCHO [8].

La producción manufacturera de caucho comprende cuatro grandes procesos:

- La mezcla, que consiste en producir un compuesto con todos los ingredientes para permitir un procesamiento fácil en las etapas subsiguientes.
- Proceso de laminación del caucho, que permite obtener perfiles específicos. El producto se conduce hasta rodillos enfriadores con el fin de darle estabilidad dimensional.
- El moldeo, consiste en dar forma a un artículo de caucho en un molde.
- La vulcanización, que es el cambio de estado plástico a estado elástico de un compuesto elastomérico, mediante la unión química de las cadenas del polímero por medio de puentes de agente vulcanizante. Este proceso confiere las características finales del producto. El proceso de vulcanización se divide

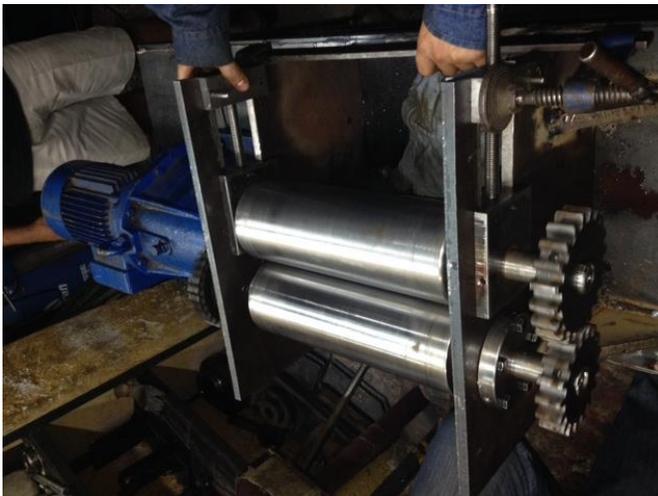
en dos partes. La primera es el moldeo o configuración, donde el material continúa en estado termoplástico. La segunda etapa es la conversión química del material formado a su estado elástico final.

2.4. DESCRIPCION DE MAQUINAS.

Para el proceso de mezclado y vulcanizado del caucho se realizaron dos máquinas las cuales cuentan con los siguientes aspectos.

2.4.1. Molino. Consta de dos rodillos paralelos el cual uno gira con mayor velocidad que el otro, sujetos a un sistema de transmisión de potencia con un motor y reductor de velocidad. En esta máquina se hará el proceso de mezclado con el caucho natural, el sintético, acelerantés, negro humo para asi poder crear una mezcla homogénea, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Molino de caucho.



Fuente: Autores.

2.4.2. Vulcanizadora hidráulica. Como su nombre lo indica, consta de una unidad hidráulica, esta cuenta con un cilindro al que se le adapta una placa, y otra placa en una mesa de apoyo, esta contiene una serie de resistencias térmicas que son las que aumentan la temperatura.

Esta máquina se utiliza cuando ya se tiene una mezcla homogénea del caucho, se coloca entre las planchas las cuales llegan a una temperatura de 140 a 160 °C y el cilindro ejerce una presión de 450 a 500 KPa.

En la figura 2 se puede observar la vulcanizadora hidráulica.

Figura 2. Vulcanizadora.



Fuente: Autores.

2.5. HIDRÁULICA [10].

La hidráulica se basa en el estudio de los fluidos. Desde tiempos antiguos el hombre ha usado fluidos para agilizar sus tareas. La hidráulica se basa en un principio descubierto por el científico francés Pascal, se refiere al empleo de fluidos confinados para transmitir energía, multiplicando así la fuerza y modificando el movimiento.

2.5.1. Transmisión de potencia. La hidráulica se define como un medio de transmitir energía ejerciendo presión a un líquido confinado. El componente de entrada del sistema se llama bomba; el de salida se denomina actuador.

2.5.2. Ventajas de la hidráulica. En la hidráulica, la energía en forma de flujo líquido presurizado se transmite y regula por medio de un sistema de conductos hasta un actuador hidráulico, y luego pasa al punto de trabajo.

- **Velocidad variable:** Gran parte de los motores eléctricos funcionan a una velocidad constante. El actuador (lineal o rotativo) de un sistema hidráulico, sin embargo, puede moverse a velocidades infinitamente variables, el cual puede ir variando el suministro de la bomba o usando una válvula de control de caudal.
- **Reversibilidad:** Algunos accionadores primarios son reversibles. Los que son, generalmente tienen que desacelerarse hasta una parada completa antes de invertirlos. Un actuador hidráulico se invierte instantáneamente, en pleno movimiento, sin ningún problema.

- **Tamaños pequeños:** Los componentes hidráulicos, tienen una elevada velocidad y capacidad de presión, debido a esto, pueden proporcionar una potencia de salida elevada con pesos y tamaños pequeños.
- **Pueden bloquearse:** Al bloquear un motor eléctrico, esto causa daños o funde el fusible. También, las máquinas no pueden bloquearse bruscamente e invertirse su sentido sin necesidad de arrancar de nuevo. Sin embargo, un actuador hidráulico puede quedar bloqueado sin que se produzca algún daño, al estar sobrecargado, y arrancará inmediatamente en cuanto disminuya la carga.

2.5.3. Depósitos. El depósito puede diseñarse para que cumpla varias funciones sin problema de situación o dimensiones. Este en primer lugar, almacena el fluido que el sistema requiere. También debe tener espacio para que el aire pueda separarse del fluido permitiendo así que los contaminantes se sedimenten. Si el depósito está bien diseñado ayuda a disipar el calor que genera el sistema.

2.5.4. Filtros. Los fluidos hidráulicos, por lo general se mantienen limpios en el sistema debido a este tipo de elementos. Estos son elementos que tienen como función principal retener mediante un material poroso, los contaminantes insolubles de un fluido.

2.5.5. Manómetro. Un manómetro es un dispositivo que mide la intensidad de una fuerza aplicada (presión) a un líquido.

2.5.6. Actuadores hidráulicos. Los actuadores hidráulicos convierten la energía hidráulica disponible en energía mecánica disponible.

2.5.6.1. Cilindros. Los cilindros hidráulicos transforman la energía hidráulica disponible en energía mecánica lineal, esto quiere decir, que la energía que induce

el movimiento a lo largo de una línea recta, se aplica a un objeto movable que opone resistencia, para realizar trabajo. Un cilindro consiste básicamente de un cuerpo cilíndrico, cerrado por sus partes extremas, un embolo movable y un vástago unido al pistón o embolo. En el extremo del cilindro opuesto al vástago hay una entrada, por esta entra el fluido al cilindro. En el otro extremo se tiene un segundo orificio, que permite la entrada o salida de fluido.

2.5.7. Válvulas antirretorno. Una válvula antirretorno se compone de un cuerpo con un puerto de entrada, uno de salida y una parte móvil sobre la que actúa la fuerza de un resorte. La parte móvil puede ser un disco, un embolo, una bola o un tapón.

2.5.8. Válvulas reguladoras de caudal. Las válvulas reguladoras de caudal tienen como función reducir el caudal que la bomba hace fluir por la línea del circuito que contiene a esta válvula. Para realizar su función, la válvula opone una resistencia adicional al flujo; esta misma resistencia obliga a la bomba a ejercer una mayor presión sobre el líquido, esto produce a una parte del flujo a desviarse y tomar otra trayectoria, generalmente mediante una válvula de alivio, aunque puede ser que el flujo se desvíe hacia otra línea del circuito.

2.5.9. Válvula de control direccional. Una válvula de control direccional consiste de un cuerpo que en su interior contiene una parte móvil y una serie de pasajes internos. La parte móvil adopta diferentes posiciones, las cuales desconecta o comunica entre sí de diferentes maneras, a estos pasajes internos. En las válvulas direccionales, la parte móvil es una pieza torneada que puede deslizarse dentro de una cavidad cilíndrica que tiene el cuerpo de la válvula.

2.5.10. Válvula de control de presión. En un sistema hidráulico, la presión máxima de un sistema se puede controlar mediante una válvula de control de presión normalmente cerrada. El puerto primario de la válvula se conecta a la

presión del sistema, y los puertos secundarios se conectan a la descarga. Cuando la presión del sistema alcanza cierto valor, previamente determinado, el conmutador de la válvula se actúa y conecta los conductos primarios y secundarios; así, el caudal se dirige a la descarga.

2.5.11. Bombas hidráulicas. Las bombas hidráulicas convierten la energía mecánica transmitida por un motor primario (motor eléctrico) en energía hidráulica. En estos dispositivos se genera un volumen creciente en el lado de succión y un volumen decreciente en el lado de presión.

2.5.11.1. Bombas de engranajes. La acción de bombeo en las bombas de engranajes ocurre cuando encajan y desencajan los dientes de un par de engranajes. Estas bombas consisten de una carcasa con puertos de entrada y salida y un mecanismo de bombeo constituido por dos engranajes. El engranaje impulsor está acoplado a un eje que a su vez está conectado a un motor primario. El otro engranaje es el impulsado.

2.5.12. Circuitos hidráulicos. El esquema que sigue representa un circuito hidráulico de fuerza clásico, donde el elemento de trabajo es un cilindro de fuerza.

Los elementos constitutivos del circuito hidráulico son:

- Un recipiente con aceite (14L).
- Un filtro.
- Una bomba (3.3c.c/rev).
- Una válvula de control que incluye una válvula de seguridad o sobre presión.
- El cilindro (Vertical).
- Conductos de comunicación.
- Válvula direccional con solenoide (220V/60Hz).
- Motor eléctrico (220V, 2.2 Kw, 1750rpm, 60 Hz- 3HP).

2.6. ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DUREZA SHORE.

Después de realizados todos los procesos para obtener la probeta, la cual será de forma cilíndrica y cuyas medidas serán las adecuadas para que los instrumentos medición de dureza y de compresión efectúen su trabajo, los cuales arrojarán datos de carga y dureza shore, para proceder a hacer la caracterización de las propiedades mecánicas obtenidas.

2.7. MEDIDORES DE ENSAYOS.

Los instrumentos de medición se encuentran en la universidad pontificia bolivariana seccional Bucaramanga los cuales son el medidor de dureza y el medidor de compresión y se encuentran en los laboratorios de resistencia de materiales y procesos de fabricación.

2.7.1. Instrumento medidor de dureza hartip1500. Se basa en la reacción elástica del material cuando dejamos caer sobre él un material más duro.

Si el material es blando absorbe la energía del choque, si el material es duro produce un rebote cuya altura se mide. HARTIP 1500 es un probador de dureza de mano integrada que combina el dispositivo de impacto (sondeo) y procesador en una unidad. El tamaño es mucho más corto que el dispositivo de impacto normal, lo que permite HARTIP 1500 puede satisfacer las mediciones no sólo normales, pero puede tomar medidas en pequeños espacios. HARTIP 1500 realiza pruebas de dureza de casi todos los materiales ferrosos y no ferrosos.

2.7.2. Instrumento medidor de compresión universal. Esta maquina consta de un sistema hidraulico el cual permite ejercer una fuerza maxima de 500KN con un recorrido aproximado de 15cm, el cual arroja resultados de la carga aplicada a la probeta.

Esta maquina se encuentra ubicada en el laboratorio de resistencia de materiales de la facultad de Ingenieria Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

2.8. SOFTWARE UTILIZADOS PARA EL DISEÑO DE LA VULCANIZADORA HIDRAULICA

El diseño fue un diseño básico y detallado con la ayuda del software SOLIDWORKS y ANSYS.

2.8.1. Solidworks [11]. Solidworks es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una subsidiaria de Dassault Systèmes (Suresnes, Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows. Es un modelador de sólidos paramétrico. Fue introducido en el mercado en 1995 para competir con otros programas CAD como Pro/ENGINEER, NX, Solid Edge, CATIA y Autodesk Mechanical Desktop.

El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en plasmar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las

extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera automatizada.

2.8.2. Ansys [12]. Ansys y sus modelos de elementos finitos (FEM) estandariza y acelera el desarrollo de sus productos en todo el mundo, con el objetivo de reducir costes y aumentar su competitividad en un mercado con un alto nivel de exigencia. El software CAE es utilizado para aumentar la eficacia y mejorar la calidad de todos los productos, en la cual se incluyen trenes motrices, electrónica avanzada, sistemas térmicos, de enfriamiento y climatización. Este software tiene capacidades avanzadas de análisis dentro de sus procesos estructurales lineales, no lineales y dinámicos; por su capacidad para modelar mediante elementos; por su librería de modelos de materiales y de soluciones de ecuaciones, así como por su escalabilidad en el modelado eficiente de un gran abanico de problemas de ingeniería y de escenarios.

3. METODOLOGIA.

3.1. PROBETAS

En la figura 3 se muestra las probetas después de haberse realizado el proceso de mezclado y vulcanizado.

Figura 3. Probetas vulcanizadas.



Fuente: Autores.

El proceso de realización de las probetas es el siguiente:

- Se realizó el corte de diferentes cantidades de cauchos tanto natural (hevea brasiliensis) como sintético (hule butadieno).
- Se pesaron las cantidades de cauchos para así ir midiendo los diferentes porcentajes necesarios para las diez diferentes mezclas.
- Se introdujeron las diferentes cantidades de cauchos por los rodillos del molino hasta que la mezcla se fuese homogenizando.

- Se agregaron los diferentes aditivos y acelerantés como el negro humo, azufre, MBT, THIURAM.
- Se pasó la mezcla por los rodillos del molino de forma constante hasta que esté totalmente homogénea.
- Ya teniendo la mezcla lista se pasó a la vulcanizadora y se contabilizaron veinte minutos.
- Se sacó la probeta de la vulcanizadora y se obtuvo la probeta lista para realizar las pruebas necesarias.

3.2. NUMERO DE PROBETAS.

Se realizaron 10 probetas con el fin de cubrir los diferentes porcentajes de mezcla del 10 al 100%, de la proporción del caucho sintético (huele butadieno) para elaborar el ensayo de dureza shore y resistencia a la compresión específicos. En la tabla 1 se muestran los datos.

Tabla 3. Porcentajes de mezclas.

Pruebas	Caucho natural hevea brasiliensis [g]	Caucho sintético hule butadieno [g]	Porcentajes del caucho sintético [%]
1	400	400	50
2	320	480	60
3	240	560	70
4	160	640	80
5	80	720	90
6	480	320	40
7	560	240	30
8	640	160	20
9	720	80	10
10	0	800	100

Fuente: Autores.

3.3. CANTIDAD DE MATERIAL UTILIZADO.

Para el mezclado de los cauchos se tuvo en cuenta un peso total de 800 gr. La cantidad de aditivos se tomó en base a lo hecho ya en la industria del caucho, donde los aceleradores deben ser entre un 0,4 y 0,8% del peso total del caucho. En este caso se utilizó 6g de MBT (ver figura 4) y 2g de THIURAM (ver figura 4). Se usó menor cantidad de THIURAM que de MBT pues este es un acelerador secundario.

El azufre debe estar entre el 0,5 y 3% del peso total de la mezcla, con el fin de facilitar los procesos de medición en los ensayos de dureza y compresión, se decidió usar 8g de azufre (ver figura 5) en la mezcla. El negro humo (ver figura 6) debe estar entre el 20 y 40 % del peso total de los cauchos, donde se utilizó un peso de 160g para las mezclas.

Como se usaron las mismas cantidades de aditivos, azufre y negro humo en cada una de las probetas, el peso total de cada una de las mezclas es de 976 gr.

Figura 4. Acelerantes.



Fuente: Autor.

Figura 5. Azufre.



Fuente: Autores.

Figura 6. Negro humo.



Fuente: Autores.

En la figura 7 se muestran las cantidades utilizadas de los diferentes productos para el proceso de mezclado del caucho y la tabla 14 se muestran tanto sus cantidades como los diferentes porcentajes de los productos.

Figura 7. Proporciones de cada uno de los productos.



Fuente: Autores.

Tabla 4. Cantidades de productos para el proceso de mezclado.

M	CAUCHO NATURAL		CAUCHO SINTETICO		NEGRO HUMO		AZUFRE		MBT		THIURAM	
	%	g	%	g	% peso caucho	G	% peso caucho	g	% peso caucho	g	% peso caucho	g
1	0	0	100	100	20	160	1	8	0,75	6	0,5	2
2	10	80	90	720	20	160	1	8	0,75	6	0,5	2
3	20	160	80	640	20	160	1	8	0,75	6	0,5	2
4	30	240	70	560	20	160	1	8	0,75	6	0,5	2
5	40	320	60	480	20	160	1	8	0,75	6	0,5	2
6	50	400	50	400	20	160	1	8	0,75	6	0,5	2
7	60	480	40	320	20	160	1	8	0,75	6	0,5	2
8	70	560	30	240	20	160	1	8	0,75	6	0,5	2
9	80	640	20	160	20	160	1	8	0,75	6	0,5	2
10	90	720	10	80	20	160	1	8	0,75	6	0,5	2

Fuente: Autores.

3.4. ENSAYO DE DUREZA SHORE.

En la figura 8 se muestra el instrumento medidor de dureza Hartip1500.

Figura 8: Medidor hartip 1500.



Fuente: Autores.

3.4.1. Proceso para el ensayo de dureza shore.

- Prender el equipo con el botón on/off.

- Mantener presionado el botón M durante cuatro segundos, cuando aparezca DIRE (dirección) con el botón © vamos ajustando la dirección de la prueba.
- Presionar nuevamente el botón M un segundo, y escoger la opción MATE (material) y con el botón © buscar M1 que es la opción de caucho.
- Presionar nuevamente el botón M un segundo, escoger la opción CONV (tipo de prueba) y con el botón © buscar Hsd (sobre).
- Presionar M nuevamente un segundo, escoger la opción AVER (promedio) y con el botón © buscar de tres a cinco valores para promediar.
- Presionar nuevamente el botón M y queda preparado para realizar la prueba.

Nota: Al final de la prueba número cinco presionar M y obtiene el promedio.

3.5. ENSAYO A LA COMPRESIÓN.

En la figura 9 se muestra la maquina universal de compresión.

Figura 9. Maquina universal.



Fuente: Autores.

3.5.1. Proceso para la medición de la resistencia a la compresión.

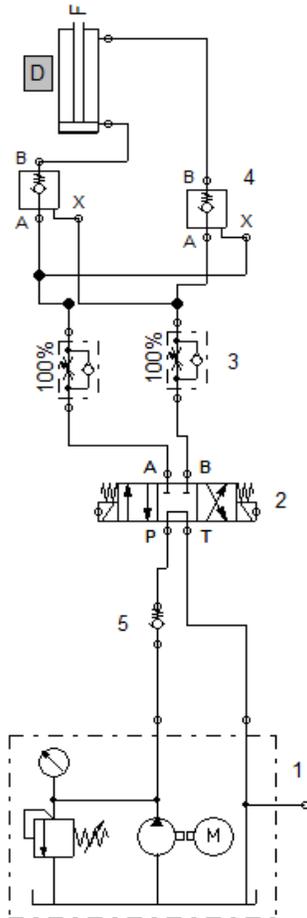
- Se enciende el equipo con el botón on/off
- Se acomoda el vástago que ejerce la fuerza, hasta que llegue a una altura superior a la de la probeta que son quince centímetros de longitud.
- Se coloca la probeta y encima de ella una placa metálica para que el equipo ejerza una fuerza uniforme sobre la probeta.
- El técnico de manejo del equipo gira la manecilla para que el vástago empiece a ejercer presión hacia la probeta.
- El tablero digital nos va mostrando la fuerza que va ejerciendo y la deformación que va sufriendo la probeta a medida que se va ejerciendo mayor fuerza.
- Llega a un punto donde el equipo no puede seguir avanzando y en este punto será la máxima deformación y la máxima fuerza aplicada.

4. SISTEMA HIDRÁULICO.

4.1. ESQUEMA Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO.

En la figura 10 se muestra el esquema del circuito hidráulico, el mismo que ha sido seleccionado para la secuencia de operación de la vulcanizadora, el circuito se compone de los siguientes elementos:

Figura 10. Esquema sistema hidráulico.



Fuente: Autores.

A Cilindro de compresión.

1. Equipo motriz (Bomba hidráulica, motor eléctrico, filtro, válvula, reguladora de presión, manómetro).
2. Electroválvula direccional 4x3.
3. Válvula reguladora de caudal con cheque.
4. Cheque pilotado.
5. Cheque.

El fluido hidráulico es almacenado en el depósito, y limpiado en el filtro cuando es succionado por la bomba. El caudal necesario para accionar el actuador (cilindro) lo suministra el grupo motor-bomba. La protección del grupo se tiene con la válvula de máxima presión, la misma que descarga al depósito el fluido cuando la presión sobrepasa el valor límite fijado de antemano, el mismo que puede leerse en el manómetro.

El accionamiento del vástago del cilindro, en uno u otro sentido lo controla la electroválvula direccional. Cuando la electroválvula se encuentra en su posición central permite el paso directo del fluido desde la bomba al depósito, de esta forma se evita el consumo inútil de energía y el calor generado en los tiempos muertos pues el fluido (bomba), al alcanzar la presión de taraje, se descarga a través de este hacia el depósito. Las válvulas reguladoras de caudal permite regular la velocidad al retorno y al avance del vástago del cilindro.

El cilindro acciona la prensa que comprime la mezcla en el molde.

La electroválvula es de cuatro vías y tres posiciones, esta se utiliza en el cilindro que acciona la prensa y el molde, su desplazamiento es vertical.

4.2. ANÁLISIS DEL SISTEMA HIDRÁULICO.

El sistema hidráulico se selecciono a partir de la necesidad de una presión de mil doscientos cincuenta psi para la vulcanización de las probetas estas cantidades fueron obtenidas en la experiencia de la industria (Multicauchos Industriales y Quelaris Colombia S.A, por lo tanto necesitamos una fuerza de 2206,18 lbf.

$$Presion = \frac{fuerza}{area}$$

$$fuerza = Presion * area$$

$$area = \frac{\pi}{2} * (1,06^2)$$

$$fuerza = 2206,18lbf$$

Se seleccionó un vástago de uno coma cero seis pulgadas y un recorrido de once coma ochenta y una pulgada , con una electroválvula direccional para un mejor funcionamiento en el sistema eléctrico (ver el anexo A) y una selección de cheques pilotados para el sostenimiento de la carga. Además se anexaron válvulas reguladoras de caudal para disminuir la velocidad de avance del actuador. También consta de un equipo motriz, que tiene su bomba de engranajes, un motor eléctrico, una válvula de seguridad, un filtro, un manómetro y un deposito.

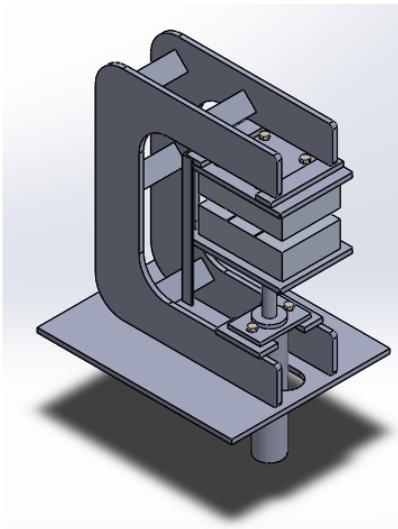
5. DISEÑO VULCANIZADORA.

Para el diseño básico y detallado de la vulcanizadora se utilizó el software SOLIDWORKS para los planos, piezas y ensamble de la máquina y ANSYS para el análisis en condiciones de trabajo de presión y temperatura estructural respecto a la deformación y poder determinar posibles fallas estructurales.

El diseño de la vulcanizadora se realizó con ayuda de empresas, que han desarrollado dichas máquinas en la industria y personas ligadas a la fabricación de máquinas y herramientas, que colaboraron con información y opiniones, para poder determinar el adecuado diseño de la vulcanizadora y garantizar su buen funcionamiento.

En la figura 11 se muestra el ensamble en software solidwork y luego se explicará detalladamente el diseño realizado en el software, SOLIDWORKS Y ANSYS.

Figura 11. Vulcanizadora.



Fuente: Autores.

5.1. DISEÑO SOFTWARE SOLIDWORK PARA LA VULCANIZADORA HIDRAULICA.

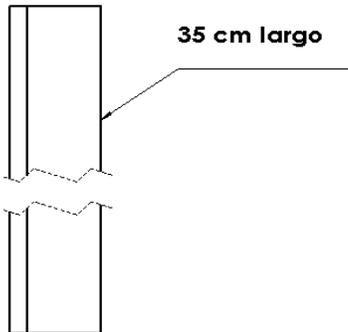
El software solidwork fue utilizado para realizar el diseño de las piezas y obtener los planos de cada una de ellas, luego se procedió al ensamblaje de la máquina para corroborar que dichas medidas quedaran correctas, para obtener el acople adecuado de todos los elementos.

En este capítulo se ilustran y describen los componentes estructurales de la vulcanizadora y se explicara las razones que se tomaron en cuenta respecto a medidas y materiales usados para el adecuado diseño.

5.1.1. Rieles para los moldes. Para el diseño de los rieles se decidió usar ángulos de acero AISI 1045 de 1" x 3/16" que van unidos en la parte interior de las estructuras en C por medio de soldadura eléctrica, utilizando electrodo 6013 de 1/8", debido a que es la más comercial, estos se utilizaron en el sistema como guía para el molde.

En la figura 12 se muestra la pieza descrita anteriormente.

Figura 12. Rieles para molde.

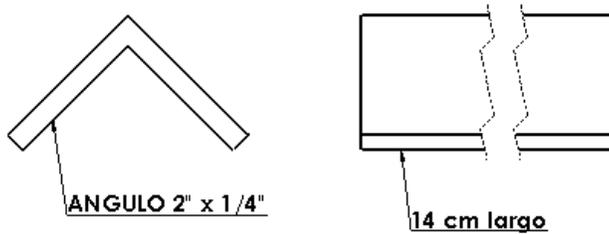


Fuente: Autores.

5.1.2. Ángulos de soporte. Para el diseño de los ángulos de soporte se decidió usar acero AISI 1045 de 2" x 1/4" como material, y se incluyeron en el sistema para la unión y soporte de las dos C por medio de soldadura eléctrica, utilizando electrodo 6013 de 1/8", debido a que es la más comercial.

En la figura 13 se muestra la pieza descritas anteriormente.

Figura 13. Ángulos de soporte.



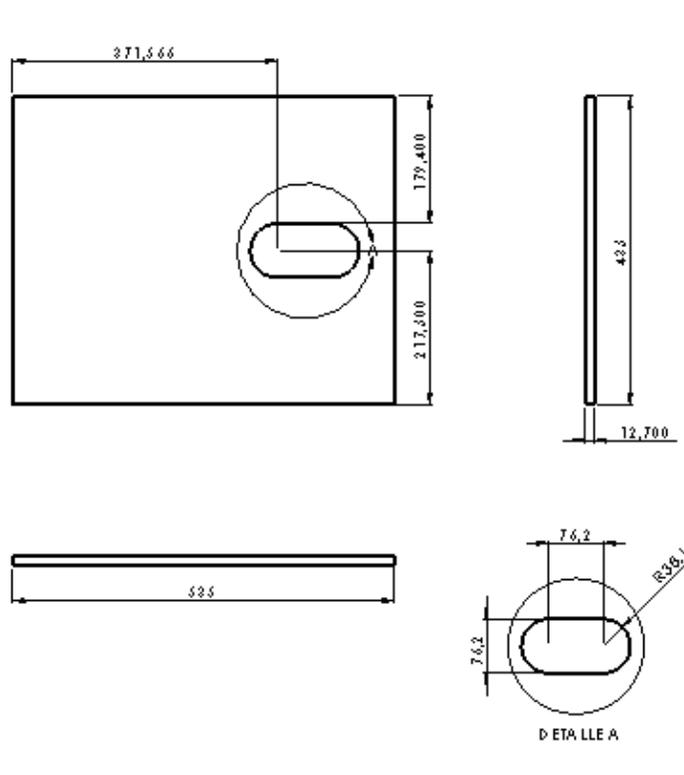
Fuente: Autores

5.1.3. Estructura de soporte. La estructura de soporte de la vulcanizadora, se diseñó en lámina de acero 1045 de $\frac{1}{2}$ ", que va unida a la parte inferior de las C por medio de soldadura eléctrica, utilizando electrodo 6013 de $\frac{1}{8}$ ", debido a que es la más comercial, donde este puede soportar el peso total de los demás componentes de la vulcanizadora.

La estructura de soporte cuenta con un agujero, para el paso del actuador hidráulico y el manómetro.

En la figura 14 se muestra la pieza descritas anteriormente, medidas en milímetros.

Figura 14. Estructura de soporte.



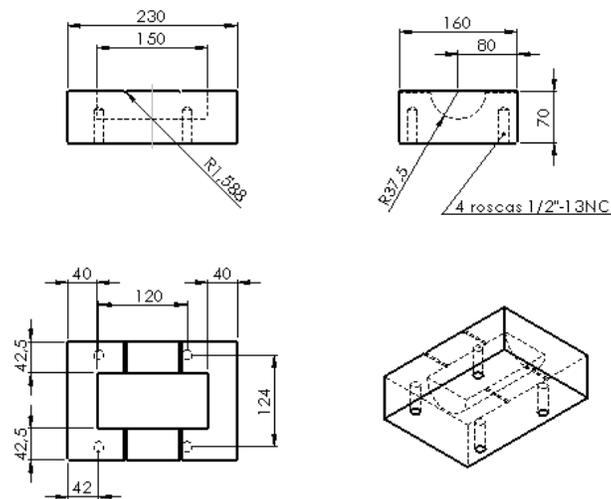
Fuente: Autores.

5.1.4. Molde. Para el proceso de vulcanizado en esta parte de la estructura se necesita alcanzar una temperatura máxima de 160°C, y debido a esto el material que se diseñara debe ser un excelente conductor térmico, por lo tanto, se decidió diseñar esta pieza en aluminio.

El molde se diseñó con las dimensiones mostradas en la figura 15, basándose en las pruebas a realizar en la maquina universal de compresión, esta requiere unas medidas mínimas para las probetas a comprimir de 15 cm de largo y 7.5cm de diámetro, debido a que si se realizaban más grandes se podría correr el riesgo sufrir una deformación exagerada en las probetas.

En la figura 15 se muestra la pieza descrita anteriormente, medidas en milímetros.

Figura 15. Molde.



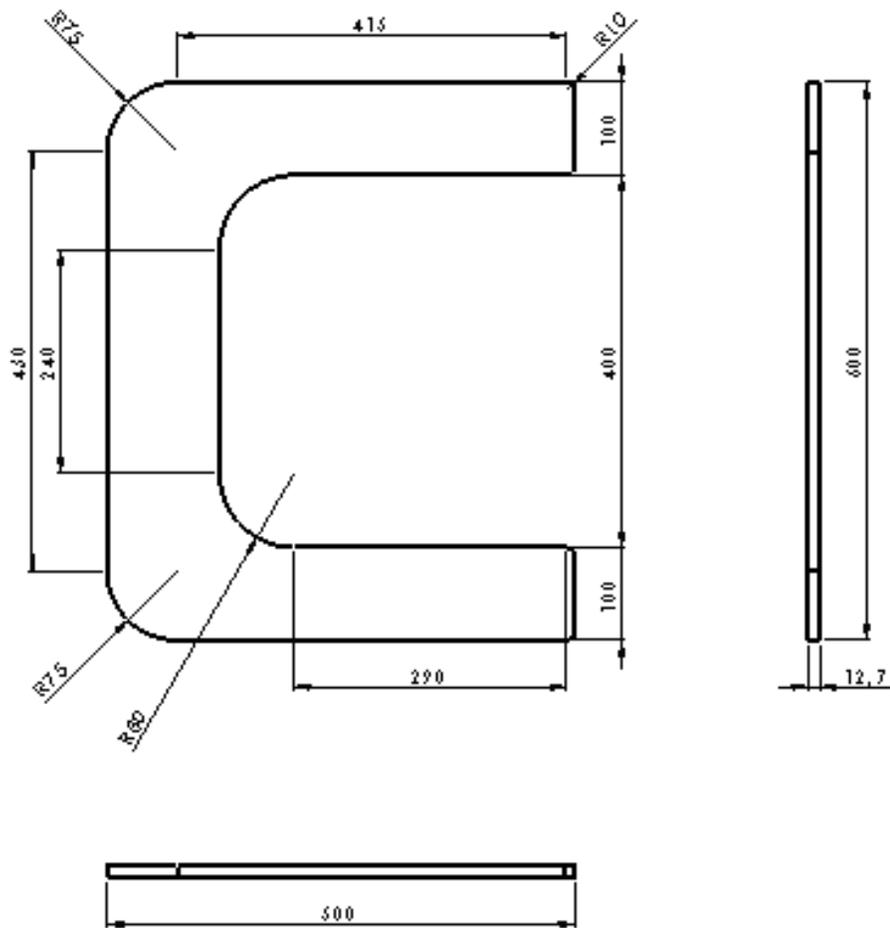
Fuente: Autores.

5.1.5. Estructuras en C. Para el diseño de las estructuras en C se decidió usar acero AISI 1045 como material, y se incluyeron en el sistema para la unión del soporte base y el molde.

Esta estructura en C, por su geometría tiene una mayor resistencia a las fuerzas ejercidas en el sistema, su diseño ayuda a conservar su forma inicial. Existe una comodidad en relación a la unión de los dos moldes para el proceso de vulcanización y reduce la utilización de soldadura en el sistema.

En la figura 16 se muestra la pieza descrita anteriormente, medidas en milímetros.

Figura 16. Estructura en c.



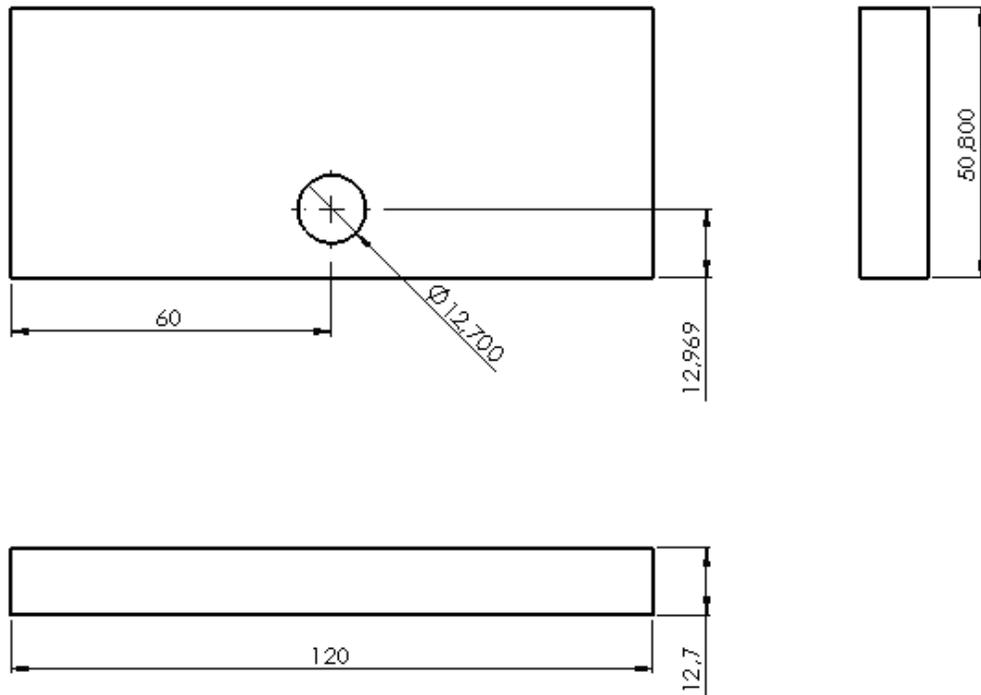
Fuente: Autores

5.1.6. Soporte del cilindro. La estructura de soporte del cilindro, se diseñó en lámina de acero 1045 de $\frac{1}{2}$ ", la cual va unida a la parte interna de las C por medio de soldadura eléctrica, utilizando electrodo 6013 de $\frac{1}{8}$ ", debido a que es la más comercial.

La estructura de soporte cuenta con un agujero, para el paso del vástago.

En la figura 17 se muestra la pieza descritas anteriormente, medidas en milímetros.

Figura 17. Soporte del cilindro.

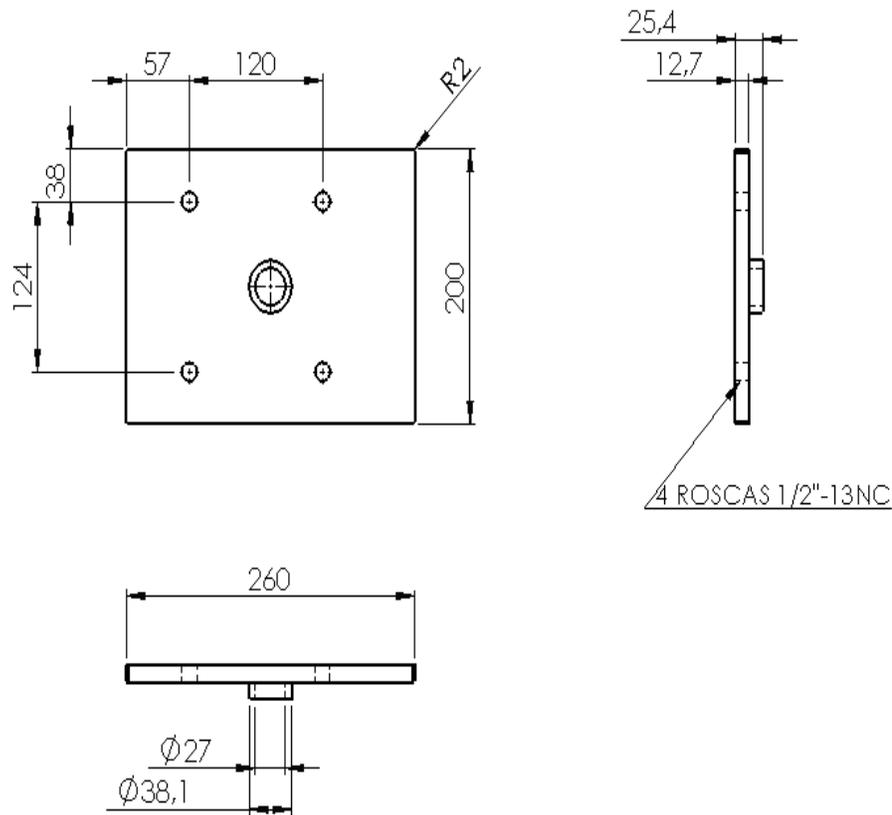


Fuente: Autores.

5.1.7. Soporte del molde en la parte inferior. La estructura de soporte del molde en la parte inferior, se diseñó en lámina de acero 1045 de 1/2", que va unida al molde inferior por uniones mecánicas y al vástago por medio de soldadura eléctrica, utilizando electrodo 6013 de 1/8", debido a que es la más comercial.

En la figura 18 se muestra la pieza descritas anteriormente, medidas en milímetros.

Figura 18 Soporte del molde en la parte inferior.

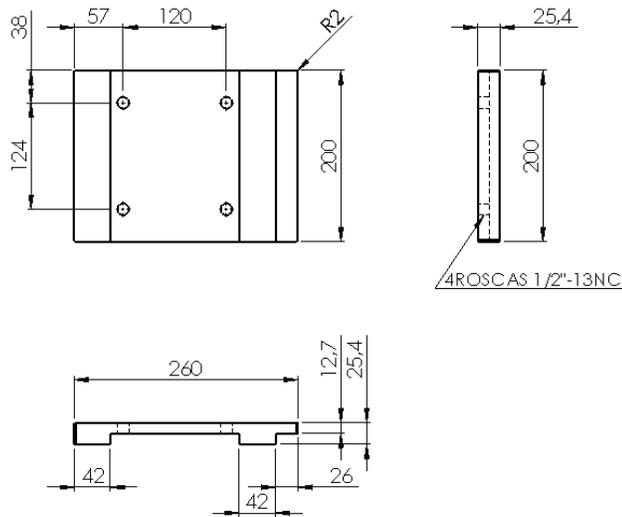


Fuente: Autores.

5.1.8. Soporte del molde en la parte superior. La estructura de soporte del molde en la parte superior, se diseñó en lámina de acero 1045 de 1/2", que va unida al molde inferior por uniones mecánicas y a las C por medio de soldadura eléctrica, utilizando electrodo 6013 de 1/8", debido a que es la más comercial.

En la figura 19 se muestra la pieza descritas anteriormente, medidas en milímetros.

Figura 19. Soporte del molde en la parte superior.

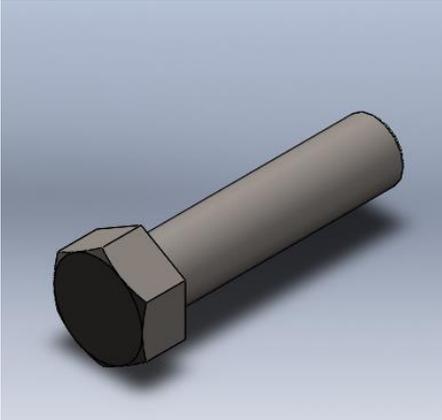


Fuente: Autores.

5.1.9. Piezas de acoplamiento. Las piezas de acoplamiento que se utilizaron en el ensamblaje son, tornillos con tuercas de $\frac{1}{2}$ "-13NC, que fueron comprados para acoplar los soportes de los moldes tanto en la parte superiores como inferiores.

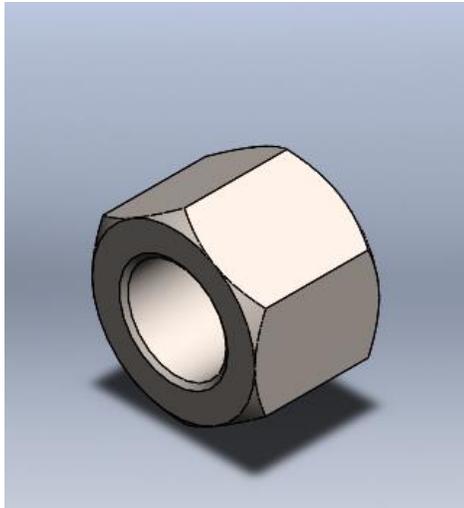
En las figuras 20 y 21 se muestran las piezas descritas anteriormente.

Figura 20. Tornillo del acople para el molde.



Fuente: Autores.

Figura 21. Tuerca.



Fuente: autores.

5.2. DISEÑO SOFTWARE ANSYS.

5.2.1. Descripción de la situación. La vulcanizadora estará expuesta a temperatura ambiente y estará ubicada en un laboratorio cerrado como lo es el de procesos de fabricación de la Universidad Pontificia Bolivariana, la maquina

ejecutara su debido trabajo de vulcanización. Mientras realiza este proceso, la temperatura aumentara hasta una máxima de 160 °C y una presión ejercida de 1250 lbf.

5.2.2. Descripción funcional. La vulcanizadora cumple la función de vulcanizar el caucho ya mezclado. Por medio de la presión y las resistencias térmicas ubicadas en el molde, este es llevado a una temperatura máxima de 160°C y una carga de 88,0856 KPa que genera una presión la cual afecta también la estructura, por lo cual se hizo en acero estructural AISI 1045.

5.2.3. Mallado. Se definió que la mejor malla sería la de triángulos, debido a que es un modelo solido con curvaturas. En algunas partes del modelo como en curvaturas en ángulos, no era muy clara la malla, por lo que se tuvieron que optar por un refinamiento de malla para tener resultados más creíbles y aceptables en comparación con los reales. Las características del mallado son las siguientes:

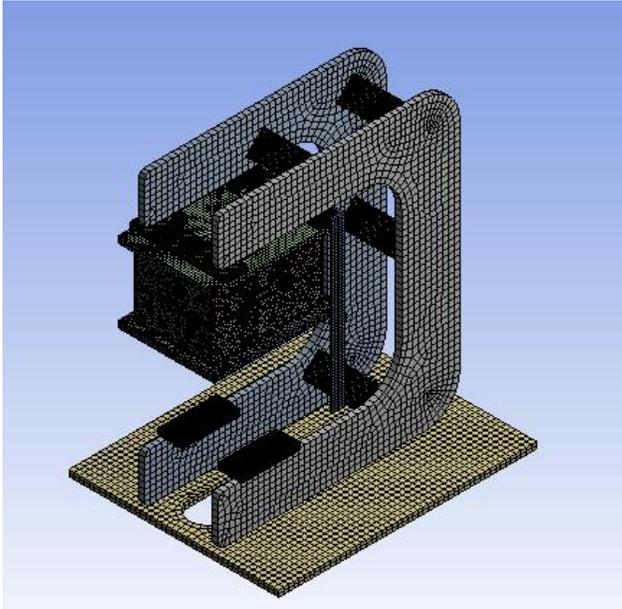
Relevancia 100 de mallado

Forma de mallado: Triangular

Refinamiento: 2 Face Sizing 7 Mapped Face Meshing

La figura 22 muestra el mallado realizado en la vulcanizadora.

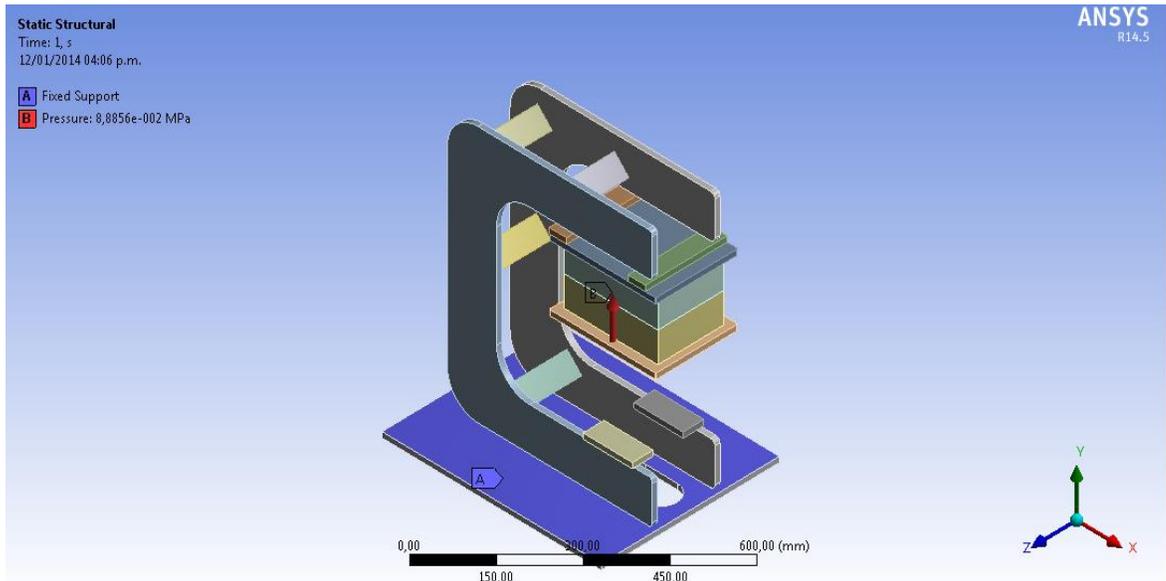
Figura 22. Mallado vulcanizadora.



Fuente: Autores.

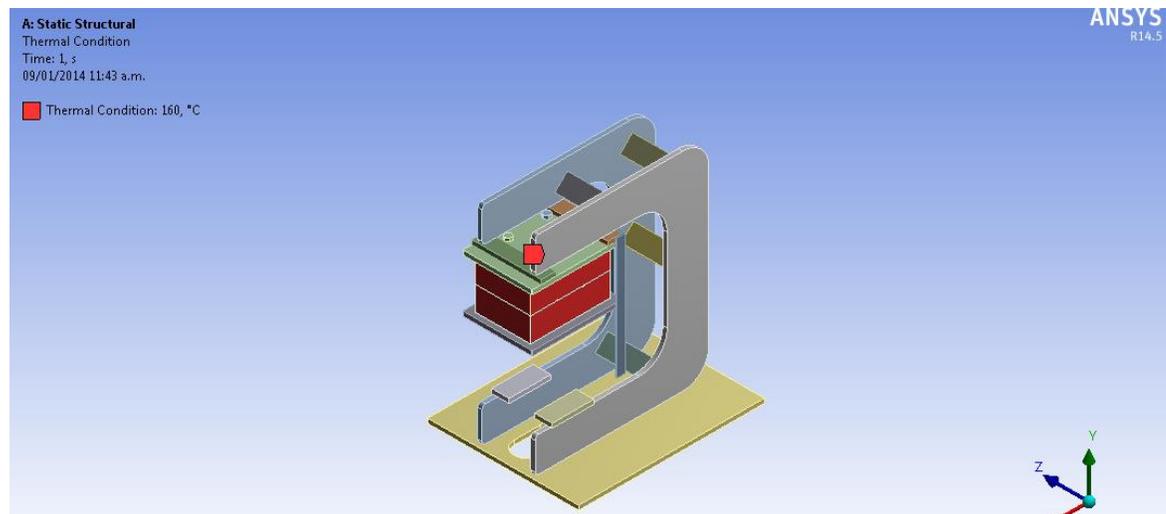
5.2.4. Condiciones de frontera. Las cargas se ubicaron en el modelo de ANSYS. Se escogieron observando el trabajo que realiza la vulcanizadora, evidenciando así los esfuerzos que sentía, los cuales son 1 presión que es ejercida por el vástago al unir los 2 moldes generando la carga sobre los mismos, la carga que se utilizó fue de 88.0856 KPA esta es la resistencia a la compresión del caucho natural, y por último se le colocó la máxima temperatura a la que podían llegar los moldes que es de 160°C como se muestra en las figuras 23 y 24.

Figura 23. Condiciones de frontera.



Fuente: Autores.

Figura 24. Condiciones de frontera.

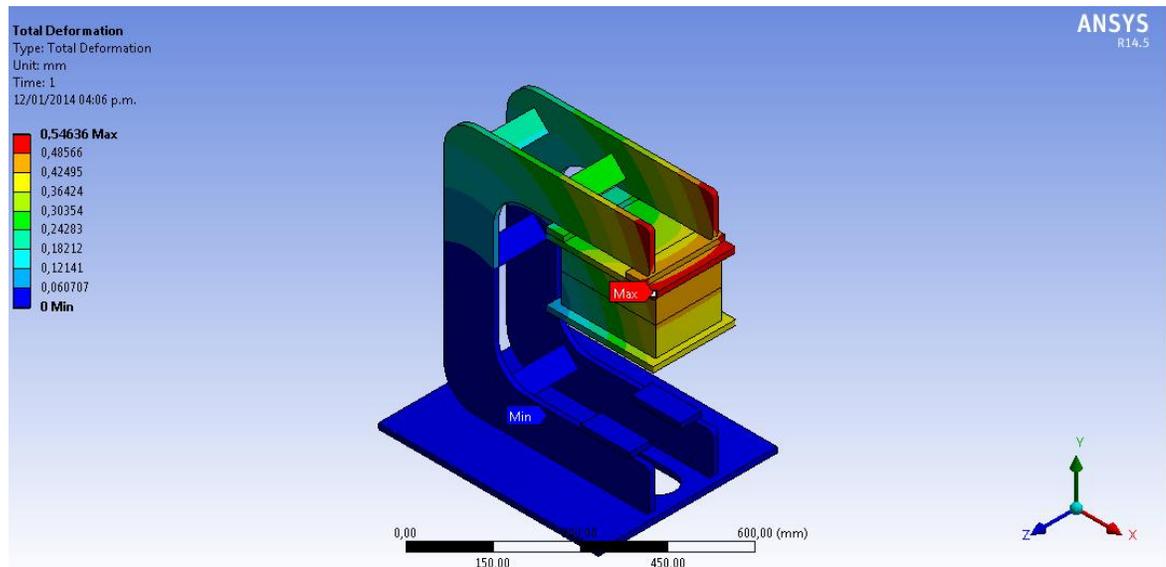


Fuente: Autores.

5.2.5. Deformación total. La deformación de la vulcanizadora es del orden máximo de 0,54636 mm, por lo tanto se puede evidenciar que con este valor de irregularidad en el soporte de la parte superior del molde, no hay una afectación de deformación total en la estructura.

En la figura 25 se muestra la deformación total de la vulcanizadora en el software Ansys.

Figura 25. Deformación total.

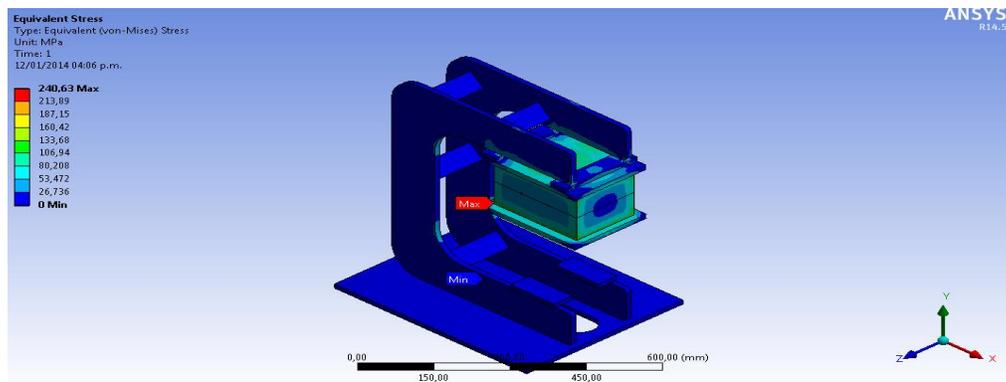


Fuente: Autores.

5.2.6. Esfuerzo equivalente. Los resultados en la simulación se obtuvieron dentro del rango esperado, el esfuerzo máximo es de 240,63 MPA, este es más bajo que las propiedades físicas del material, la resistencia a la fluencia del acero AISI 1045 utilizado en la vulcanizadora es de 413MPa[13], este punto de presión máxima se encuentra en la unión del soporte del molde superior y las estructura en C.

En la figura 26 se mostrara el esfuerzo equivalente de la vulcanizadora en el software Ansys.

Figura 26. Esfuerzo equivalente.

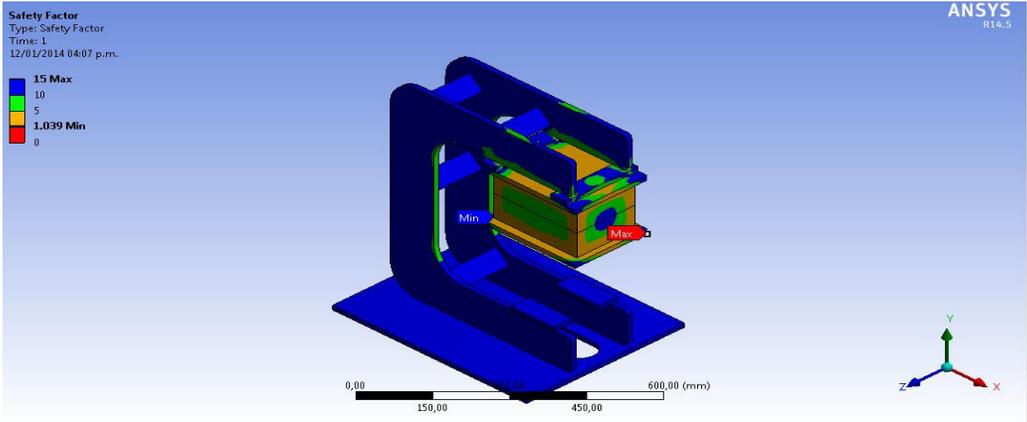


Fuente: Autores.

5.2.7. Factor de seguridad. El análisis para el factor de seguridad tiene un valor mínimo de 1,039 es aceptable para esta máquina, su uso no es prolongado ni repetitivo y está por encima de los valores estipulados por la industria que son valores mayores que 1, por otro lado el punto donde se presenta el valor mínimo no es crítico para el buen funcionamiento de la máquina.

En la figura 27 se mostrara el factor de seguridad de la vulcanizadora en el software Ansys.

Figura 27. Factor de seguridad.



Fuente: Autores.

6. CARACTERIZACION DEL CAUCHO.

En este capítulo se muestra tanto las tabulaciones, como las curvas de correlaciones, de las pruebas de dureza y compresión realizadas.

6.1. PRUEBAS DE DUREZA SHORE.

Las pruebas de dureza se desarrollaron en el laboratorio de proceso de materiales de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, en el instrumento medidor de dureza Hartip1500.

6.1.1. Tablas de pruebas. Los datos mostrados en las tablas 5 a la 14, son los resultados obtenidos en el instrumento medidor de dureza Hartip1500.

Tabla 5. Prueba de dureza, 50% caucho sintético.

50% SINTÉTICO					
Ítem	Punto 1	Punto2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Prueba 1	65,3	70,2	72,8	74,3	73,1
Prueba 2	64,4	67,5	72,2	72,1	72,8
Prueba 3	66,7	69,9	71,4	71,6	74,9
Prueba 4	70,4	70,9	73,8	73,1	71,4
Prueba 5	70,1	72,1	74	72,9	70,4
Promedio	67,38	70,1	72,8	72,8	72,5
promedio total					71,116

Fuente: Autores.

Tabla 6. Prueba de dureza, 60% caucho sintético.

60% SINTÉTICO					
Ítem	Punto 1	Punto2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Prueba 1	65,2	70,5	64,4	68,7	72,9
Prueba 2	68,9	71,6	65,7	69,4	70,5
Prueba 3	69,4	71,8	69,2	69,2	69,5
Prueba 4	70,5	69,1	69,2	70,9	73,5
Prueba 5	70,7	68,9	69,1	71,9	71,1
Promedio	68,94	70,3	67,52	70	71,5
promedio total					69,652

Fuente: Autores

Tabla 7. Prueba de dureza, 70% sintético.

70% SINTÉTICO					
Ítem	Punto 1	Punto2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Prueba 1	71,2	72,2	70,1	70,1	72,9
Prueba 2	73,6	73,3	73,3	72,1	74,3
Prueba 3	73,5	73,5	72,9	74,5	72,8
Prueba 4	67,1	72,9	73,1	75	74,9
Prueba 5	71,6	72,8	70,1	72,2	74,3
Promedio	71,4	72,9	72	72,7	73,8
Promedio total					72,56

Fuente: Autores.

Tabla 8. Prueba de dureza, 80% sintético.

80% SINTÉTICO					
Ítem	Punto 1	Punto2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Prueba 1	73,5	66,1	71,8	72,4	71,4
Prueba 2	73,1	72,2	72,2	71,9	73,8
Prueba 3	72,9	69,7	65,9	71,9	73,6
Prueba 4	72,8	73,1	66,2	71,8	73,8
Prueba 5	72,2	72,6	69,7	71,2	74,5
Promedio	72,9	70,7	69,1	71,8	73,3
Promedio total					71,56

Fuente: Autores.

Tabla 9. Prueba de dureza; 90% sintético.

90% SINTÉTICO					
Ítem	Punto 1	Punto2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Prueba 1	61	74,2	79,9	74,3	74
Prueba 2	69,9	73,8	71,1	73,5	73,8
Prueba 3	73,3	73,3	72,8	72,8	73,5
Prueba 4	73,1	73,1	73,3	72,9	73,8
Prueba 5	67,4	72,2	72,2	73,3	74
Promedio	68,9	73,3	72	73,3	72,9
Promedio total					72,548

Fuente: Autores.

Tabla 10. Prueba de dureza, 40% sintético.

40% SINTÉTICO					
Ítem	Punto 1	Punto2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Prueba 1	69,1	72,2	72,1	71,4	72,2
Prueba 2	71,9	71,8	71,9	72,2	71,4
Prueba 3	66,4	72,4	72,1	72,8	71,1
Prueba 4	72,6	72,9	72,4	72,6	70,9
Prueba 5	72,6	72,4	71,8	72,8	71,6
Promedio	70,5	72,3	72	72,3	71,4
Promedio total					71,7

Fuente: Autores.

Tabla 11. Prueba de dureza, 30% sintético.

30% SINTÉTICO					
Ítem	Punto 1	Punto2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Prueba 1	68,7	68,9	68,1	68,7	68,9
Prueba 2	68,7	68,5	68,1	68,4	68,5
Prueba 3	69,1	68,5	68,5	67,9	69,1
Prueba 4	69,7	68,2	68,7	67,7	69,1
Prueba 5	69,5	68,2	68,7	68,5	69,1
Promedio	69,1	68,4	68,4	68,2	68,9
Promedio total					68,6

Fuente: Autores.

Tabla 12. Prueba de dureza, 20% sintético.

20% SINTÉTICO					
Ítem	Punto 1	Punto2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Prueba 1	71,8	66,4	69,2	65,9	70,4
Prueba 2	71,9	65,9	69,1	68,4	70,2
Prueba 3	72,1	62,6	68,1	67,7	70,1
Prueba 4	72,4	69,2	68,1	71,4	70,4
Prueba 5	72,2	63,9	71,2	67,7	70,5
Promedio	72	65,6	69,1	68,2	70,3
Promedio total					69,04

Fuente: Autores.

Tabla 13. Prueba de dureza, 10% sintético.

10% SINTÉTICO					
Ítem	Punto 1	Punto2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Prueba 1	68,2	65,1	65,9	64,8	67,7
Prueba 2	69,1	67,4	65,9	64,8	67,5
Prueba 3	69,2	67,9	65,7	65,9	67,2
Prueba 4	68,7	67,9	65,4	66,7	66,9
Prueba 5	69,2	68,2	65,4	62,8	67,7
Promedio	68,8	67,3	65,6	65	67,4
Promedio total					66,82

Fuente: Autores.

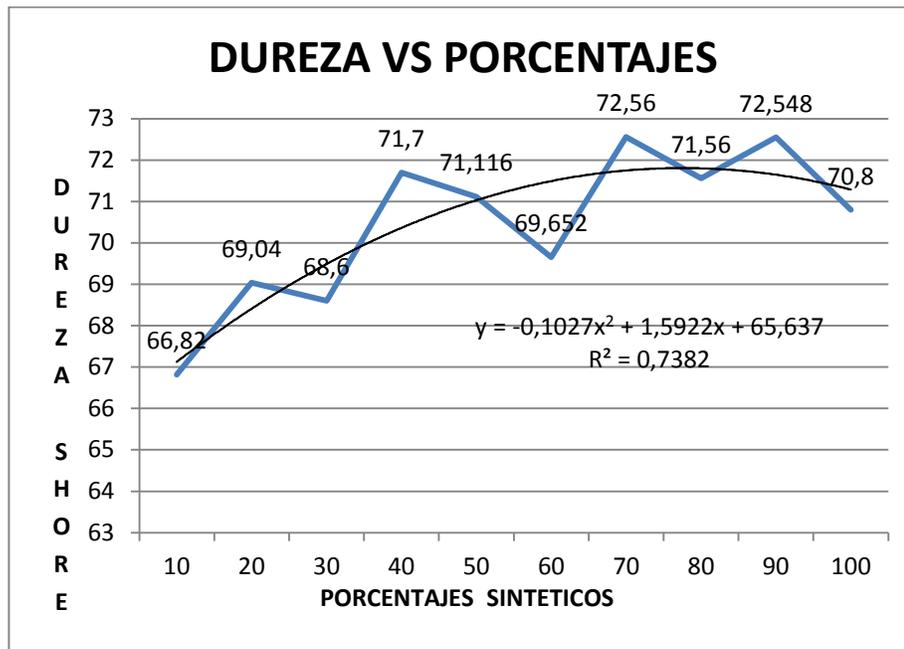
Tabla 14. Prueba de dureza, 100% sintético.

100% SINTÉTICO					
Ítem	Punto 1	Punto2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Prueba 1	73,6	72,1	71,4	69,2	68,9
Prueba 2	69,9	71,4	71,4	70,1	68,9
Prueba 3	70,5	71,2	69,1	70,9	68,4
Prueba 4	71,4	71,6	72,6	70,5	70,2
Prueba 5	72,2	72,1	72,4	70,9	70,1
Promedio	71,5	71,6	71,3	70,3	69,3
Promedio total					70,8

Fuente: Autores.

6.1.2. Curvas de correlación. En la gráfica 1 se muestra las curvas de correlación, de dureza con respecto a los diferentes porcentajes de mezcla.

Gráfica 1. Curvas de correlación, dureza vs porcentajes.



Fuente: Autores.

6.1.3. Análisis de resultados.

- Como lo demuestra la gráfica, esta clase de mezcla de caucho natural (hevea brasiliensis) y caucho sintético (hule butadieno) tiene un comportamiento que indica que la menor dureza se da cuando se utiliza la menor cantidad de caucho sintético que es de 10% y 90% caucho natural con 66,82, seguida por 20% caucho sintético 80% caucho natural con 69,04, 30% caucho sintético 70% caucho natural con 68,6, 60% caucho sintético 40% caucho natural con 69,65, por consiguiente las pruebas con mayor dureza corresponden 40% sintético 60% natural con 71,7, 50% sintético 50% natural con 71,1, 70% sintético 30% natural con 72,56, 80% sintético 20% natural con 71,56, 90% sintético 10% natural con 72,54 y 100% sintético 100% natural con 70,8.

- Con estos datos y la gráfica obtenida se puede observar un aumento proporcional de aumento de la dureza a medida que aumenta el porcentaje de caucho sintético, con picos de disminución, esto podría haber sido no por homogeneidad entre los cauchos, sino por la integración de estos con el negro humo, que en algunos procesos de mezclado no se adhiere a la mezcla, y así proporcionando una disminución en la dureza del material, por lo tanto no poder generar un modelo lineal.
- Teniendo el valor mínimo y el máximo ya se puede saber el comportamiento de esta clase de mezcla y su propiedad mecánica que en este caso la dureza shore.
- Según la curva de tendencia se analizó que en un porcentaje alto de caucho sintético (hule butadieno), mayor es la dureza de la mezcla.
- El valor del $R^2 = 0,7382$ no alcanzo el valor esperando en el objetivo debido al software utilizado Excel en la curva de tendencia la ecuación polinomial de mayor orden 6 no alcanzo el valor esperado de $R^2 = 0,9$.

6.2. PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

Las pruebas de compresión entregaron correlaciones iniciales entre el esfuerzo vs deformación para las diez primeras pruebas (ver anexo B), estas se desarrollaron en el laboratorio, resistencia de materiales de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, en la maquina universal de compresión.

6.2.1. Tablas de pruebas. En las tablas 15 a 24 se muestran los datos obtenidos de la prueba de compresión en la maquina universal de compresión.

Tabla 15. Prueba de compresión, 50% sintético.

FUERZA APLICADA[KN]	ESFUERZO[KPA]	DEFORMACION[mm/mm]
0	0	0
0,2	45,26935265	0,136
0,5	113,1733816	0,239
1	226,3467632	0,42
3	679,0402897	0,635
5	1131,733816	0,691
7	1584,427343	0,72
10	2263,467632	0,74
13	2942,507922	0,76
16	3621,548212	0,779
18,2	4119,511091	0,793

Fuente: Autores.

Tabla 16. Prueba de compresión, 60% sintético.

FUERZA APLICADA[KN]	ESFUERZO[KPA]	DEFORMACION[mm/mm]
0	0	0
0,2	45,26935265	0,191
0,5	113,1733816	0,26
1	226,3467632	0,375
3	679,0402897	0,621
5	1131,733816	0,71
10	2263,467632	0,775
15	3395,201449	0,81
20	4526,935265	0,83
25	5658,669081	0,845
26,7	6043,458579	0,85

Fuente: Autores.

Tabla 17. Prueba de compresión, 70% sintético.

FUERZA APLICADA[KN]	ESFUERZO[KPA]	DEFORMACION[mm/mm]
0	0	0
0,2	45,26935265	0,49
0,5	113,1733816	0,612
1	226,3467632	0,72
5	1131,733816	0,88
10	2263,467632	0,93
14	3168,854685	0,95
18	4074,241738	0,952
20	4526,935265	0,953
25	5658,669081	0,954
29,5	6677,229516	0,956

Fuente: Autores.

Tabla 18. Prueba de compresión, 80% sintético.

FUERZA APLICADA[KN]	ESFUERZO[KPA]	DEFORMACION[mm/mm]
0	0	0
0,2	45,26935265	0,39
0,5	113,1733816	0,42
1	226,3467632	0,69
10	2263,467632	0,71
15	3395,201449	0,79
20	4526,935265	0,8
25	5658,669081	0,83
30	6790,402897	0,86
45	10185,60435	0,88
64,7	14644,63558	0,9

Fuente: Autores.

Tabla 19. Prueba de compresión, 90% sintético.

FUERZA APLICADA[KN]	ESFUERZO[KPA]	DEFORMACION[mm/mm]
0	0	0
0,2	45,26935265	0,47
0,5	113,1733816	0,63
1	226,3467632	0,75
5	1131,733816	0,93
10	2263,467632	0,98
15	3395,201449	1,002
20	4526,935265	1,006
25	5658,669081	1,007
30	6790,402897	1,009
39,2	8872,793119	1,01

Fuente: Autores.

Tabla 20. Prueba de compresión, 40% sintético.

FUERZA APLICADA[KN]	ESFUERZO[KPA]	DEFORMACION[mm/mm]
0	0	0
0,2	45,26935265	0,126
0,5	113,1733816	0,209
1	226,3467632	0,64
10	2263,467632	0,753
15	3395,201449	0,781
20	4526,935265	0,802
25	5658,669081	0,806
30	6790,402897	0,81
35	7922,136713	0,812
44,2	10004,52694	0,814

Fuente: Autores.

Tabla 21. Prueba de compresión, 30% sintético.

FUERZA APLICADA[KN]	ESFUERZO[KPA]	DEFORMACION[mm/mm]
0	0	0
0,2	45,26935265	0,1
0,5	113,1733816	0,16
1	226,3467632	0,59
10	2263,467632	0,74
15	3395,201449	0,76
20	4526,935265	0,78
25	5658,669081	0,8
30	6790,402897	0,81
45	10185,60435	0,813
51,7	11702,12766	0,816

Fuente: Autores.

Tabla 22. Prueba de compresión, 20% sintético.

FUERZA APLICADA[KN]	ESFUERZO[KPA]	DEFORMACION[mm/mm]
0	0	0
0,2	45,26935265	0,144
0,5	113,1733816	0,206
1	226,3467632	0,34
5	1131,733816	0,34
10	2263,467632	0,782
15	3395,201449	0,813
20	4526,935265	0,832
25	5658,669081	0,84
35	7922,136713	0,852
41,2	9325,486646	0,853

Fuente: Autores.

Tabla 23. Prueba de compresión, 10% sintético.

FUERZA APLICADA[KN]	ESFUERZO[KPA]	DEFORMACION[mm/mm]
0	0	0
0,2	45,26935265	0,108
0,5	113,1733816	0,191
1	226,3467632	0,34
5	1131,733816	0,69
7	1584,427343	0,73
10	2263,467632	0,76
14	3168,854685	0,78
18	4074,241738	0,8
20	4526,935265	0,806
25,5	5771,842463	0,819

Fuente: Autores.

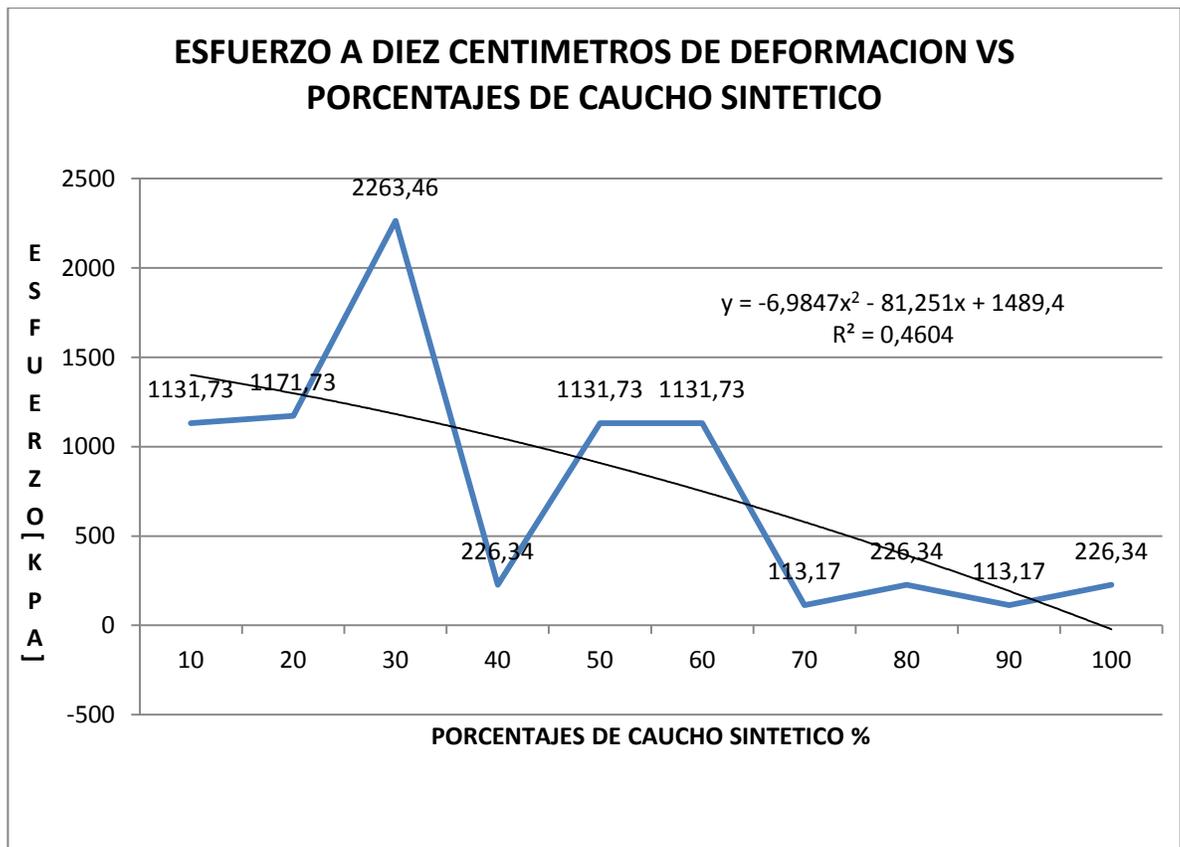
Tabla 24. Prueba de compresión, 100% Sintético.

FUERZA APLICADA[KN]	ESFUERZO[KPA]	DEFORMACION[mm/mm]
0	0	0
0,2	45,26935265	0,22
0,5	113,1733816	0,362
1	226,3467632	0,606
10	2263,467632	0,801
15	3395,201449	0,824
20	4526,935265	0,84
25	5658,669081	0,845
30	6790,402897	0,847
36,7	8306,926211	0,847

Fuente: Autores.

6.2.2. Curvas de correlación. En la Grafica 2 se muestra las curvas de correlación, esfuerzo a diez centímetros de deformación con respecto a los diferentes porcentajes.

Gráfica 2. Curvas de correlación, esfuerzo a diez centímetros de deformación vs porcentajes de caucho sintético.



Fuente: Autores.

6.2.3. Análisis de resultados.

- Como lo demuestra la gráfica esfuerzo de diez centímetros de deformación vs porcentajes sintético, a medida que se le va agregando mayor porcentaje de caucho sintético hule butadieno la resistencia a la compresión disminuye.

- Se dan gran cantidad de picos en esta prueba se debe a la diferencia de porcentajes de caucho sintético hule butadieno en cada una de las probetas.
- Según la curva de tendencia se analizó que está descendiendo desde el pico mayor que es en el punto donde tiene menos porcentaje de caucho sintético hule butadieno hasta el mayor porcentaje.
- El valor del $R^2 = 0,4604$ no alcanzo el valor esperando en el objetivo debido al software utilizado Excel en la curva de tendencia la ecuación polinomial de mayor orden 6 no alcanzo el valor esperado de $R^2 = 0,9$.

7. CONCLUSIONES.

- El diseño fue realizado en el software solidworks y modelado en el software ansys arrojó un factor de seguridad mínimo de 1,039 encontrándose en el rango aceptable > 1 que garantiza que el sistema no fallara.
- La dureza de mayor magnitud se dio en la probeta con una mezcla del 70% de caucho sintético hule butadieno y 30% de caucho natural hevea brasiliensis y la menor dureza la probeta con una mezcla del 10% sintético hule butadieno y 90% caucho natural hevea brasiliensis con una ecuación de tendencia polinomial de segundo rango $y = -0,1027x^2 + 1,5922x + 65,637$ y con una $R^2 = 0,7382$.
- La resistencia a la compresión de mayor magnitud se dio en la probeta con mezcla del 30% de caucho sintético hule butadieno y 70% de caucho natural hevea brasiliensis y la menor resistencia a la compresión se dio en la probeta con 70% de caucho sintético hule butadieno y 30% de caucho natural hevea brasiliensis con una ecuación de tendencia polinomial de segundo rango $y = -6,9847x^2 - 81,251x + 1489,4$ y con una $R^2 = 0,4604$.
- En todas las probetas fabricadas se le agrego el mismo porcentaje, 21,25% de aditivos como los acelerantes y el negro humo estos aditivos son los que contribuyen en los datos obtenidos de dureza y de resistencia a la compresión.

- En el proceso de mezclado se determinó para estas pruebas un tiempo promedio de 35 minutos y en el proceso de vulcanizado 20 minutos.

8. RECOMENDACIONES.

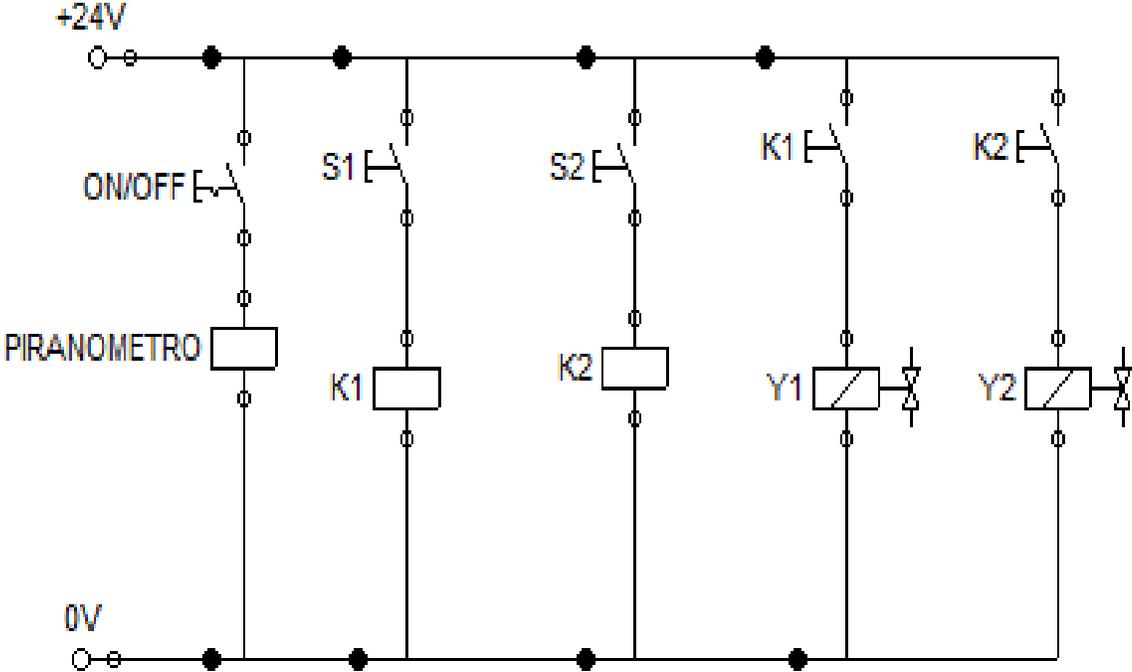
- Diseñar dos moldes desmontables, para que la probeta al salir del proceso de vulcanización baje de temperatura dentro del molde y la probeta no pierda su forma específica.
- Diseñar refuerzos para la estructura en forma de c, ya que es una parte de la estructura que más soporta carga.
- Crear una parada de emergencia cercana al puesto de trabajo, ya que en caso de algún accidente este mismo podría accionarla y minimizar el riesgo.
- Se recomienda utilizar ropa de trabajo adecuada como tapa bocas, gafas industriales, guantes de látex y la camisa que sea de manga corta para seguridad, ya que en los rodillos esta podría quedarse atascada y provocar algún accidente al operario.
- Tener un recipiente bastante amplio para cuando se utilice el aceleran tés humo negro este no empiece a desperdiciarse por todos lados.
- Mantener las probetas en un ambiente poco húmedo, debido a que podrían deformarse y así perder sus propiedades mecánicas.
- Dejar las probetas en el molde después de sacarlas del proceso de vulcanización, hasta que lleguen a temperatura ambiente.
- Para próximos proyectos recomendamos tomando como referencia las normas ASTM para resistencia compresión y dureza shore.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ramos J – Sanchez S. Vulcanización y formulación de hules. I. Mexico. Limusa noriega editores . 2003 .
- [2] Akiba, M.; Hashim, A.S. "Vulcanization and crosslinking in elastomers" Progress in Polymer Science 22 (1997) 475.
- [3] Cerveny, S. y Marzocca, A.J. "Analysis of the Variation of Molecular Parameters of Natural Rubber during Vulcanization in Conformational Tube Model. II. Influence of Sulfur/Accelerator Ratio" J. Appl. Polym. Sci. 74 (1999) 2747.
- [4] Morton, M, Ed. Rubber technology. 2ed. New york: Van nostrand reinhold. 1973.
- [5] Naunton. W. J. S. Ciencia y tecnología del caucho. Mexico: cec sa, 1967.
- [6] Bolz. R—Tuve.G. Crc handbook of tables for appliedy engineering science. 1 ed. Cleveland. Oh.1973.
- [7] Wake, W .Analysis of rubber and rubber.1 ed. London.1958.
- [8] Barlow. F.Rubber compounding and techniques.2 ed. New york. Marcel dekker.1993.
- [9] Rueda Salcedo, C. "Hidráulica Práctica", Nueva Jersey, (2008).
- [10] Universidad Nacional de Ingeniería. "Sistemas Hidráulicos. Teoría de Funcionamiento", Lima, Perú, (2005).
- [11] SOLID WORKS. Software de modelado 3D.
- [12] ANSYS. Software ansys, [En línea]. 2013 [Citado 20-Oct-2013] Disponible en internet: http://ansys.com/es_es/Noticias/DENSO
- [13] SHIGLEY, Joseph, Diseño en ingeniería, 4ª Edición Mexico, Editorial Mc Graw Hill, 1990.

ANEXOS.

Anexo A. Esquema eléctrico de la vulcanizadora



Fuente: Autores.

Anexo B. Graficas de correlación Esfuerzo Vs Deformación.

RESISTENCIA A LA DEFORMACION

