

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE
HULE PARA USO DIDÁCTICO**

PRESENTADO POR:

CARLOS ALONSO SERRANO MEDRANO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIA GENERAL :

Ing. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

Dr. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO :

Ing. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR INTERINO :

Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título :

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE
HULE PARA USO DIDÁCTICO**

Presentado por :

CARLOS ALONSO SERRANO MEDRANO

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

San Salvador, febrero de 2022

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, Rubén Alonso Serrano Martínez y Blanca Belvi Medrano, por haberme apoyado y demostrar el esfuerzo que hicieron por amor hacia mí, por haberme dado palabras de aliento cada vez que yo lo necesité, para que cada día yo sea una mejor persona gracias al apoyo de ellos.

También, dedico este trabajo a mi abuelita, Angiolina Medrano, que en paz descansa, pero siempre fue un gran apoyo, que me llevaba en sus oraciones y sé que ella estaría muy orgullosa de mi al ver el resultado final.

Carlos Alonso

AGRADECIMIENTO

A Dios por nunca abandonarme aun cuando yo veía difíciles las cosas, siempre las oraciones fueron para lograr el éxito, oraciones que no fueron en vano.

A mis padres que siempre estuvieron ahí para mí, sin su apoyo este logro nunca hubiera podido hacerse realidad.

A mi hermano que siempre me apoyó en todo aspecto para que yo lograra mi objetivo.

A mis amigos y compañeros de la Universidad, que siempre fueron un apoyo para mi moral.

A mi novia y su familia, que siempre me llevaron en sus oraciones.

De gran manera al Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz que siempre estuvo pendiente de todo el proceso, con sus consejos y profesionalidad, fue un gran y valioso apoyo para poder culminar mi carrera.

Carlos Alonso

DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE HULE PARA USO DIDÁCTICO

Estudiante: Br. Carlos Alonso Serrano Medrano¹

Docente asesor: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz²
Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Universidad de El Salvador

RESUMEN

Se ha realizado una recopilación bibliográfica sobre el caucho y su procesamiento, con el fin de realizar una propuesta de diseño de una máquina vulcanizadora constituida por dos sistemas térmico y mecánico. Así, para realizar la vulcanización se necesita una mezcla de hule con azufre y acelerantes y aumentar la temperatura de dicha mezcla y comprimir mediante el sistema mecánico que acercará las placas que contiene resistencias térmicas. Dado lo anterior, se realizaron los cálculos de transferencia de calor y las pérdidas para diseñar el sistema térmico, el cual consiste en determinar la resistencia con la potencia requerida. Además, de la misma manera calcular los esfuerzos sobre la parte mecánica de la máquina vulcanizadora, para diseñar y seleccionar los materiales a usar para poder tener como resultado una máquina de uso didáctico con las seguridades necesarias. Finalmente, se determinó su factibilidad técnica y económica; se realizaron los planos constructivos y los manuales de uso y mantenimiento para una posible construcción de dicha máquina vulcanizadora y que opere eficientemente por un período considerado.

Palabras claves: Caucho, Vulcanizado, y Elastómero.

1 alonsoserrano_86@hotmail.com

2 jonathan.berrios@ues.edu.sv

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Plantaciones de caucho.....	3
1.2. Formulación y mezclado.....	8
1.3. Efecto del sistema de vulcanización.....	9
1.3.1. Efecto del sistema de refuerzo.....	12
1.3.2. Efecto del mezclado.....	13
1.3.3. La reacción de vulcanización en el caucho natural.....	14
1.3.4. Reacciones entre el acelerante y el caucho sin activadores.....	15
1.3.5. Acelerantes lentos.....	16
1.3.6. Acelerantes medios.....	16
1.3.7. Acelerantes rápidos.....	16
1.3.8. Acelerantes ultra-rápidos.....	17
1.4. Entrecruzamiento a temperatura ambiente por radiación.....	22
1.5. Propiedades mecánicas del caucho natural.....	24
1.5.1. Cristalización inducida por deformación.....	25
1.6. Mezclado de los compuestos de caucho natural.....	26
1.7. Proceso de vulcanización del caucho.....	27
1.8. Inyección de caucho.....	29
2. DISEÑO.....	33
2.1. Sistema térmico.....	34
2.1.1. Resistencias eléctricas.....	34
2.1.2. Resistencia térmica.....	35
2.1.3. Convección.....	37
2.2. Control del factor temperatura.....	46
2.3. Sistema de compresión.....	46
2.3.1. Sistema de palancas.....	46
2.4. Diseño de fundición de la placa porta resistencia.....	51
2.4.1. Diseño del modelo.....	52
2.5. Cálculos del sistema de fundición.....	52
3. ANÁLISIS TÉCNICO Y COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.....	62
3.1. Análisis técnico del proceso constructivo del equipo.....	62
3.1.1. Construcción pieza uno, estructura base.....	62
3.1.2. Placas porta resistencias.....	63
3.1.3. Estructura de ejes.....	66
3.1.4. Estructura base superior.....	68
3.1.5. Biela 1.....	70

	Pág.
3.1.6. Biela L.....	70
3.1.7. Mango.....	71
3.1.8. Tubos con marco.....	72
3.2. Costos.....	75
CONCLUSIONES.....	77
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXOS.....	79
Anexo A: Simulación del diseño.....	79
Anexo B: Planos.....	82
Anexo C: Manual de operación de la máquina vulcanizadora de soportes de hule.....	103
Anexo D: Manual de mantenimiento de la máquina vulcanizadora de soportes de hule.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Composición de sistemas de vulcanización [6].....	24
Tabla 1.2. Ingredientes del caucho natural [6].....	24
Tabla 2.1. Propiedades de materiales aislantes a una temperatura media de 24 °C.....	42
Tabla 2.2. Resistencia de materiales [10].....	51
Tabla 2.3. Tipos de flujo.....	53
Tabla 2.4. Viscosidad cinemática.....	53
Tabla 2.5. Ángulos de desmodelado.....	58
Tabla 2.6. Contracción volumétrica.....	58
Tabla 2.7. Contracción de la fundición.....	59
Tabla 2.8. Peso específico de metales [11].....	60
Tabla 3.1. Costos de materiales de máquina vulcanizadora de soportes de hule.....	75
Tabla 3.2. Costos de mano de obra.....	76
Tabla 3.3. Otros costos de fabricación.....	76
Tabla 3.4. Costos totales de fabricación de la máquina vulcanizadora.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1. Posibles estructuras formadas en caucho natural vulcanizado con azufre [1].....	12
Fig. 1.2. Mecanismos de reacción para el acelerante TBBS y azufre en ausencia de un activador [1].....	19
Fig. 1.3. Tiempo Scorch y velocidad de vulcanización para diferentes acelerantes [1].....	20
Fig. 1.4. Formación del precursor de entrecruzamiento vs la formación de la red entrecruzada en el caucho [1].....	21
Fig. 1.5. Formación del precursor de entrecruzamiento [1].....	21
Fig. 1.6. Formación del precursor, mecanismo iónico [1].....	22
Fig. 1.7. Formación de la red entrecruzada en el elastómero, mecanismo iónico.....	22
Fig. 1.8. Reacción de entrecruzamiento de polímeros mediante radiación [4]....	23
Fig. 1.9. Curvas esfuerzo-deformación de los compuestos entrecruzados con DPTT y DCP, a dos velocidades de deformación: 500 mm/min y 0.5 mm/min [6].....	26
Fig. 1.10. Efecto mecánico y de la temperatura sobre el rompimiento de las cadenas del polímero [6].....	27
Fig. 1.11. Dependencia de la densidad de entrecruzamiento con la temperatura [7].....	29
Fig. 1.12. Productos por inyección de caucho [1].....	31
Fig. 1.13. Soportes inyectados de caucho [1].....	32
Fig. 2.1. Esquema de la propuesta de la máquina vulcanizadora.....	33
Fig. 2.2. Gráfica de Heisler.....	40
Fig. 2.3. Dirección de calor en estado convectivo.....	41
Fig. 2.4. Dirección del flujo de calor por conducción.....	47
Fig. 2.5. Máquina con brazo de palanca.....	47
Fig. 2.6. Fuerzas en el brazo de palanca.....	47
Fig. 2.7. Brazo de la palanca.....	49
Fig. 2.8. kt para seleccionar de material rectangular con ángulo transversal en flexión.....	50
Fig. 2.9. Base del Bebedero.....	55

	Pág.
Fig. 3.1. Estructura base y sus vistas.....	63
Fig. 3.2. Modelo impreso en 3D.....	64
Fig. 3.3. Cajas con arena.....	64
Fig. 3.4. Cajas de arena conteniendo en su interior el modelo.....	65
Fig. 3.5. Entrada y mazarota del molde.....	65
Fig. 3.6. Vaciado de aluminio líquido dentro del molde.....	66
Fig. 3.7. Caja inferior con pieza solidificada.....	66
Fig. 3.8. Estructura de ejes.....	68
Fig. 3.9. Estructura base superior.....	69
Fig. 3.10. Biela 1.....	70
Fig. 3.11. Biela L.....	71
Fig. 3.12. Mango.....	72
Fig. 3.13. Tubos con marco.....	73

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

- A: Área
- C: Negro de carbón
- d Diámetro
- F: Fuerzas
- h : Coeficiente de transferencia de calor por convección
- K : Conductividad térmica del material
- L: Espesor del material medido en dirección paralela al flujo de calor
- m: Masa
- M_c : Momento
- N: Funcionalidad
- Q: Calor transferido
- q: potencia calorífica
- R: Resistencia térmica del material que está hecha la superficie
- R_{cov} : Resistencia térmica de la superficie contra la convección de calor
- S: Azufre
- T_s : Temperatura de la superficie
- T_∞ : Temperatura del fluido circundante
- w: Peso
- ΔT : Diferencial de temperatura
- σ : Esfuerzo
- ρ : Densidad

INTRODUCCIÓN

El diseño de una máquina vulcanizadora de soportes de hule de uso didáctico se ha realizado con la finalidad de dar una guía para que en un futuro, sea de beneficio a nuevas generaciones de estudiantes, con esta propuesta de diseño se podrá construir una máquina que se encargará de calentar el cucho, que es un material con enlaces químicos débiles, pero al ser mezclado con azufre, dichos enlaces se hacen más fuertes y así logran una estructura con mejores prestaciones y con enlaces químicos más estables.

Para el diseño y desarrollo del presente trabajo, se investigaron los principios fundamentales del vulcanizado del caucho y se pusieron en práctica todos los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de ingeniería mecánica, para poder calcular el sistema térmico, que es el encargado de incrementar la temperatura del caucho para su óptima vulcanización, como el sistema de compresión que se ha diseñado para que soportes las cargas necesarias para comprimir el caucho dentro de los moldes.

Se ha diseñado el proceso de fundición de las partes donde se alojarán las resistencias eléctricas, previamente calculadas con sus pérdidas por transferencia de calor hacia el caucho, dichas partes fundidas están desglosadas paso a paso para que el lector pueda comprender de una forma fácil los procesos a realizarse para obtener como resultado una pieza por fundición en molde de arena.

Se procederá a calcular la resistencia del material encargado de transferir la fuerza aplicada del operario hacia los moldes, ya que, va a someterse a una torsión, que podría entrar en fluencia debido a dicho esfuerzo, así, demostrar que es un diseño seguro y confiable.

La máquina está diseñada para vulcanizar treinta y seis soportes a la vez, aumentando su eficiencia en cuanto a tiempo-producción, ya que, el diseño térmico permite dicha cantidad de soportes con la resistencia calculada.

Se diseñó para que sea fácil de construir, sin necesidad de maquinaria costosa para la manufactura, aun el sistema térmico costa de una resistencia de

fácil acceso económico y encontrada en la mayoría de ferreterías, así como las partes metálicas hechas de materiales de bajo costo sin necesidad de recurrir a metales especiales, metales necesarios como el acero SAE 1020 para soportar las cargas que van a existir en el proceso de vulcanizado.

Se han realizado los planos de conjunto de la máquina, de subconjunto de los sistemas y de detalle de cada parte de la máquina, y se indican los símbolos de las uniones soldadas.

Para finalizar se han elaborado los manuales para el buen uso de la máquina vulcanizadora de soportes hule para uso didáctico, para evitar accidentes o daños personales o materiales, así, logrando el objetivo del presente trabajo, una máquina duradera, capaz de vulcanizar soportes y segura para las personas involucradas en el proceso de vulcanización.

1. MARCO TEÓRICO

La historia del caucho es antigua, los mayas y los indígenas mesoamericanos extrajeron el látex orgánico de los árboles de *hevea brasilensis* de los bosques americanos, transformaban esa viscosa sustancia en pelotas, y jugaban con ellas el juego de pelota, con connotaciones sagradas, en las cuales los ganadores eran a veces ejecutados en sus rituales [1].

El caucho natural no curado se vuelve muy oloroso y en pocos días comienza a pudrirse. El proceso de putrefacción tiene, en parte, relación con la ruptura de las proteínas, tal como sucede con las proteínas de la leche, pero también a la ruptura de las largas moléculas de caucho a medida que se oxidan en el aire [2].

La primera referencia del caucho en Europa aparece en 1770, cuando Edward Nairne vendía cubos de caucho natural. Estos cubos se usaban como gomas para borrar, se vendían al altísimo precio de 18 chelines por balde. Desde mediados del siglo XIX, el caucho era un material novedoso, pero no encontró gran aplicación en el mundo industrial. Así, el caucho era usado en principio como goma de borrar, como dispositivos médicos para conectar tubos y para la inhalación de gases medicinales. Cuando los químicos descubrieron que el caucho era soluble en el éter, se hallaron nuevas aplicaciones en el mundo del zapato y en impermeables. A pesar de todo, la mayoría de estas aplicaciones eran en pequeños volúmenes y el material no duraba mucho. La razón de la falta de aplicaciones importantes era el hecho de que el material no era durable, era pegajoso, y en ocasiones se pudría liberando mal olor porque no estaba bien curado [1].

1.1. PLANTACIONES DE CAUCHO

Durante la mayor parte del siglo XIX, los árboles tropicales de América del Sur continuaron siendo la fuente principal de obtención del caucho. En 1876, el

explorador británico Henry Wickham recolectó unas 70,000 semillas del *H. brasiliensis* y, a pesar del rígido embargo que había, logró sacarlas de contrabando fuera de Brasil. Consiguió germinarlas con éxito en los invernaderos de los Reales Jardines Botánicos de Londres y las empleó para establecer plantaciones en Ceilán, y posteriormente en otras regiones tropicales de Asia. Desde entonces se han creado plantaciones similares. Aproximadamente un 99% de las plantaciones de caucho están localizadas en el sureste asiático. Además, los intentos de introducir plantaciones en zonas tropicales de Occidente han fracasado a causa de la desaparición de árboles por una plaga en sus hojas [2].

El caucho natural se obtiene de cierto tipo de árboles (especies *Hevea*, *Ficus* y otras) que exudan una sustancia blanca y lechosa, el “látex”, cuando se hace una incisión profunda en su corteza (el árbol no se daña). El látex contiene de 30 a 36% de caucho en forma de pequeñísimas gotas en suspensión, el cual se obtiene en forma sólida por “coagulación” mediante ácido fórmico (HCOOH) o acético (CH_3COOH) a un pH entre 4.8 y 5.0 [3].

La mayoría de los libros de texto citan que Charles Goodyear fue el primero en usar azufre para vulcanizar el caucho, pero se sabe históricamente que, en 1834, el químico alemán Friedrich Ludersdorf y el químico estadounidense Nathaniel Hayward descubrieron que, al añadir azufre a la goma de caucho, se reduce y elimina la pegajosidad de los artículos de caucho. En 1839, el inventor estadounidense Charles Goodyear, sobre la base de las investigaciones de químicos anteriores, descubrió que cocinando caucho con azufre desaparecen las propiedades no deseables del caucho, en un proceso denominado vulcanización. El caucho vulcanizado tiene más resistencia, elasticidad y mayor resistencia a los cambios de temperatura que el no vulcanizado; además es impermeable a los gases y resistente a la abrasión, acción química, calor y electricidad. También posee un alto coeficiente de rozamiento en superficies secas y un bajo coeficiente de rozamiento en superficies mojadas por agua, dependiendo del lector la historia de Goodyear es de pura suerte o de una cuidadosa investigación. Así, Goodyear en 1839 reclamó que le correspondía el descubrimiento de la vulcanización

basada en azufre, pero no patentó su invento hasta el 5 de julio de 1843, y no describió el historial de su descubrimiento hasta 1853 en su libro autobiográfico, Gum-Elastica [1].

Mientras tanto, Thomas Hancock (1786-1865), científico e ingeniero, patentó el proceso en el Reino Unido el 21 de noviembre de 1843, ocho semanas antes que Goodyear ejerciera su propia patente en el Reino Unido [1].

La Goodyear Tire And Rubber Company adoptó el nombre de Goodyear para sus actividades en la industria del caucho, aunque no existía ninguna relación con Charles Goodyear y su familia [1].

Así, este es relato de Goodyear sobre su invención, tomada de Gum-Elástica. Aunque el libro es una autobiografía, Goodyear eligió escribirlo en tercera persona, así que “el inventor” y “él” se refieren en el texto al autor en realidad [1]. En éste se describe el escenario de la fábrica de caucho en donde su hermano trabajó. El inventor hizo muchos experimentos para verificar los efectos del calor en el mismo compuesto que se había descompuesto en las bolsas de correo y otros artículos. Él se sorprendió al encontrar que el espécimen, siendo descuidadamente puesto en contacto con una estufa caliente, se achicharraba como el cuero [1].

Goodyear continuó describiendo como intentó llamar la atención de su hermano y otros trabajadores en la planta, familiarizados con el comportamiento del caucho disuelto, pero ellos descartaron su observación, creyendo que era otro de sus muchos extraños experimentos. Goodyear afirmó que intentó decirles que el caucho se derretía cuando se calentaba excesivamente, pero ellos lo siguieron ignorando. Así, Goodyear infirió directamente que, si el proceso de achicharramiento podía ser detenido en el punto correcto, podría hacer que el caucho se librara de sus adhesivos nativos, lo que implicaría una mejora sustancial sobre la goma nativa. Se convenció más de la validez de su intuición al descubrir que el caucho de la India no podía derretirse en azufre hirviendo ya que siempre se achicharraba. Goodyear hizo otra prueba calentando un tejido similar antes de probar con un fuego abierto, encontrando el mismo efecto de achicharramiento de la goma; pero había muchos indicios satisfactorios de éxito

en producir el resultado deseado cuando, sobre el borde de la porción achicharrada, aparecía una línea que no estaba achicharrada, pero sí perfectamente curada [1].

Luego, Goodyear describió su mudanza a Woburn, Massachusetts, y cómo llevó a cabo una serie de experimentos sistemáticos para descubrir las condiciones correctas para la cura del caucho. Cuando se cercioraba de que había encontrado el objeto de su búsqueda y mucho más, y que la nueva sustancia era resistente al frío y al solvente de la goma nativa, se sintió ampliamente recompensado por el pasado y bastante indiferente a las pruebas del futuro [1].

Goodyear nunca ganó dinero con su descubrimiento. Empeñó todas las posesiones de su familia en un esfuerzo por ganar dinero, pero el 1º de julio de 1860, fallecía cubierto de deudas por importe de más de 200,000 dólares [1].

La vulcanización es un proceso mediante el cual se calienta el caucho crudo en presencia de azufre, con el fin de volverlo más duro y resistente al frío. Este fenómeno fue descubierto por Charles Goodyear en 1839 por accidente, al volcar un recipiente de azufre y caucho encima de una estufa. Esta mezcla se endureció y se volvió impermeable, a la que llamó vulcanización en honor al dios Vulcano. Sin embargo, existen estudios que demuestran que un proceso similar a la vulcanización, basado en el uso de materiales orgánicos (savias y otros extractos de plantas) fue utilizado por la Cultura Olmeca hace 3,500 años, lo cual fue utilizado para hacer pelotas de hule destinadas a un juego ritual [2].

Durante la vulcanización, los polímeros lineales paralelos cercanos constituyen puentes de entrecruzamiento entre sí. El resultado final es que las moléculas elásticas de caucho quedan unidas entre sí a una mayor o menor extensión. Esto forma un caucho más estable, duro, mucho más durable, más resistente al ataque químico y sin perder la elasticidad natural [2].

La vulcanización es un proceso de cura irreversible y debe ser fuertemente contrastado con los procesos termoplásticos que caracterizan el comportamiento de la vasta mayoría de los polímeros modernos. Este proceso irreversible define a los cauchos curados como materiales termorrígidos (no se funden con el calor)

y los saca de la categoría de los termoplásticos (como el polietileno y el polipropileno). Usualmente el entrecruzamiento químico se realiza con azufre, pero existen otras tecnologías como los sistemas basados en peróxidos. Se suelen usar combinadamente con agentes aceleradores y retardadores. El azufre es un material con singulares propiedades. En determinadas circunstancias, formará cadenas de sus propios átomos. El carbono y el silicio pueden formar también esas cadenas. El proceso de vulcanización hace uso de este fenómeno. A lo largo de la molécula del caucho, existen sitios que atraen a los átomos de azufre. Son los llamados sitios de cura. En cada sitio de cura, un átomo de azufre se puede unir a sí mismo, y a partir de allí la cadena de átomos de azufre puede crecer hasta que alcance el sitio de cura de otra molécula. Estos puentes de azufre son usualmente de 2 a 10 átomos de largo, en contraste con los polímeros más comunes en los que la "columna vertebral" de carbonos puede ser varios miles de veces de larga [1].

El caucho natural es un polímero de alto peso molecular, químicamente se forma a partir de la polimerización de moléculas de isopreno creando una macromolécula de configuración CIS; es posible también lograr una configuración trans del poli-isopreno, sin embargo, esta configuración no tiene ningún potencial tecnológico debido a su alto grado de cristalinidad, particularidad que lo hace muy rígido. El caucho natural está clasificado dentro del grupo de materiales poliméricos conocido como elastómeros, posee excelentes propiedades que permiten su uso en aplicaciones de alta ingeniería como por ejemplo neumáticos, resortes, aplicaciones en la industria naval y aeronáutica [1].

El látex extraído de la corteza del árbol conocido como *Hevea brasiliensis* es la materia prima del caucho natural. El látex es una suspensión coloidal que además del poli-isopreno contiene partículas de suciedad, material volátil, cenizas y lípidos amarillos entre otros, estos últimos pueden ser separados mediante procesos de centrifugado [1].

Las propiedades fisicoquímicas de los compuestos de caucho natural están influenciadas por factores generados desde el mismo momento de la extracción del látex del árbol de *Hevea*, factores como por ejemplo la edad del

árbol y las condiciones climáticas y del suelo imparten propiedades diferentes a cada tipo de caucho natural, dependiendo de la localización geográfica del árbol. Así, antes de evaluar una determinada formulación de caucho se debe conocer como mínimo algunas características de la materia prima, como por ejemplo la variedad clonal, el tipo de configuración química, el porcentaje de sólidos y el porcentaje de cenizas; para este propósito se pueden emplear técnicas espectroscópicas y calorimétricas que permiten clasificar los cauchos naturales dependiendo de su configuración y conocer su estabilidad térmica, característica importante en los procesos de transformación [4].

Los compuestos de caucho natural se pueden elaborar a partir de dos materias primas diferentes, una materia prima es el látex líquido, que es centrifugado para eliminar las impurezas y luego se mezcla en suspensión con los diferentes aditivos; el otro tipo de materia prima es el caucho natural seco, en este caso, el látex es tratado con ácido acético para formar coágulos del material. Así, el caucho natural sólido se procesa por medio de un molino de rodillos con el fin de drenar y terminar de secar el material para finalmente formar láminas [4].

La calidad de los compuestos de caucho natural está influenciada, además, por factores como: el diseño de la formulación del compuesto, el esquema de mezclado y el proceso de vulcanización [4].

1.2. FORMULACIÓN Y MEZCLADO

La composición de un compuesto de caucho se basa en una formulación o receta específica; la convención aceptada en la industria del caucho es que el material elastomérico es tomado como 100 partes de caucho (parts per hundred of rubber, phr), esto significa que el total de uno, dos, tres o más cauchos diferentes para una formulación específica deben ser definida como 100 phr. Entonces todos los otros ingredientes diferentes a los compuestos elastoméricos son relacionados contra estas 100 partes [1].

Los materiales empleados para la formulación de una mezcla de caucho natural se pueden dividir de manera general en 4 grupos:

- 1) Polímero: Caucho natural;
- 2) Sistema de vulcanización: Azufre, acelerantes y activadores;
- 3) Sistemas de rellenos y/o refuerzo: Negro de humo, arcillas, sílices y carbonato de calcio;
- 4) Otros aditivos: Antioxidantes, antiozonantes, ceras y componentes secundarios tales como pigmentos, aceites, resinas y otros aditivos de procesamiento [1].

1.3. EFECTO DEL SISTEMA DE VULCANIZACIÓN

La vulcanización se inicia a partir de la acción de los activadores, los cuales afectan la respuesta fisicoquímica de las mezclas de caucho natural. La proporción adecuada de los elementos activadores en una formulación de caucho natural que ha sido estudiada y se ha encontrado que los compuestos elaborados a partir del sistema ácido esteárico-óxido de zinc presentan alta densidad de entrecruzamiento comparado con sistemas de ácido oleico [1].

La efectividad del ácido esteárico en la activación de la vulcanización es una función de su peso molecular, del punto de fusión, y de su solubilidad en el elastómero. Además, afecta la solubilización del zinc, fijando los iones libres de zinc para formar complejas con los acelerantes, que es un enlace químico entre elementos. Niveles de ácido esteárico y óxido de zinc de 2.0 y 5.0 phr, respectivamente, son aceptados en la industria como adecuados para lograr las propiedades físicas óptimas del compuesto de caucho [1].

A pesar de que los sistemas de vulcanización con azufre sin acelerar no tienen interés comercial, son un punto de partida para entender los sistemas de vulcanización con azufre y acelerante. Inicialmente, la vulcanización de cauchos aditivados sólo con azufre a una concentración cercana de 8 phr requiere cerca

de 5 horas a 140 °C, la adición del óxido de zinc reduce el tiempo de vulcanizado a 3 horas.

Existen acelerantes primarios y secundarios; los acelerantes primarios son los encargados de incrementar la velocidad de reacción a la cual vulcanizan los cauchos, algunos ejemplos de estos acelerantes primarios incluyen tiazoles y sulfonamidas; en muchos casos el uso de acelerantes primarios se acompaña con acelerantes secundarios los cuales aumentan la velocidad de vulcanización con azufre, ejemplos de estos acelerantes incluyen ditiocarbamato y tiuram. Las estructuras químicas de los acelerantes empleados comúnmente en el proceso de vulcanización de cauchos son diferentes, sin embargo, las características básicas son similares, el acelerante está compuesto por uno o dos átomos de azufre entre un par de grupos terminales orgánicos. Estructuralmente los acelerantes tienen una funcionalidad (N) común, $N = C-S$, donde C es negro de carbón y S Azufre [1].

El sistema de vulcanización (SV) es el encargado durante la reacción de vulcanización de crear la red entrecruzada entre las cadenas adyacentes del polímero en el compuesto. El SV puede estar constituido sólo por peróxidos, si la vulcanización va a ser llevada a cabo mediante la reacción radicalaria entre el peróxido y la cadena hidrocarbonada o puede estar constituida por un sistema de tres componentes:

- 1) Activadores;
- 2) Agentes de vulcanización, típicamente azufre; y
- 3) Acelerantes, este sistema se emplea en cauchos con insaturaciones en su cadena principal con el fin de lograr en el proceso de vulcanización la formación de puentes sulfídicos entre las cadenas del elastómero. Las reacciones de vulcanización al igual que los compuestos elaborados a partir de vulcanización con peróxidos o de vulcanización con azufre poseen características cinéticas y fisicoquímicas diferentes [1].

El SV se clasifica de acuerdo a la relación entre la proporción de acelerante y azufre presente en el compuesto de caucho; esta relación entre estos dos componentes influye directamente en la cinética de la reacción de vulcanización,

en la red formada y como consecuencia en las propiedades mecánicas, térmicas y de resistencia a solventes del compuesto de caucho natural. La convención internacional para la clasificación de los SV se presenta en la Tabla 1.1. Los sistemas de vulcanización se dividen en vulcanización Convencional (VC), vulcanización semieiciente (SEV) y vulcanización eficiente (VE) [1].

Tabla 1.1. Composición de sistemas de vulcanización [1].

Sistema	Azufre	Acelerante	Relación Acel./Azufre
VC	2.0 - 3.5	1.2 - 0.4	0.1 - 0.6
VSE	1.0 - 1.7	2.5 - 1.2	0.7 - 2.5
VE	0.4 - 0.8	5.0 - 2.0	2.5 - 12

Cada SV genera una estructura de red diferente reflejada en la formación de extensiones de átomos de azufre más o menos largas entre las cadenas poliméricas (puentes o enlaces de entrecruzamiento); mientras que en los sistemas de vulcanización convencional y semieiciente se promueve la formación de enlaces polisulfídicos y disulfídicos, en el SV eficiente se promueve la formación de enlaces monosulfídicos [1].

En la Fig. 1.1 se presenta las posibles estructuras formadas durante la reacción de vulcanización de caucho natural con azufre, los puentes mono, di y polisulfídicos son los puentes elásticamente activos, mientras que los grupos colgantes y cíclicos no aportan a la elasticidad del compuesto [1].

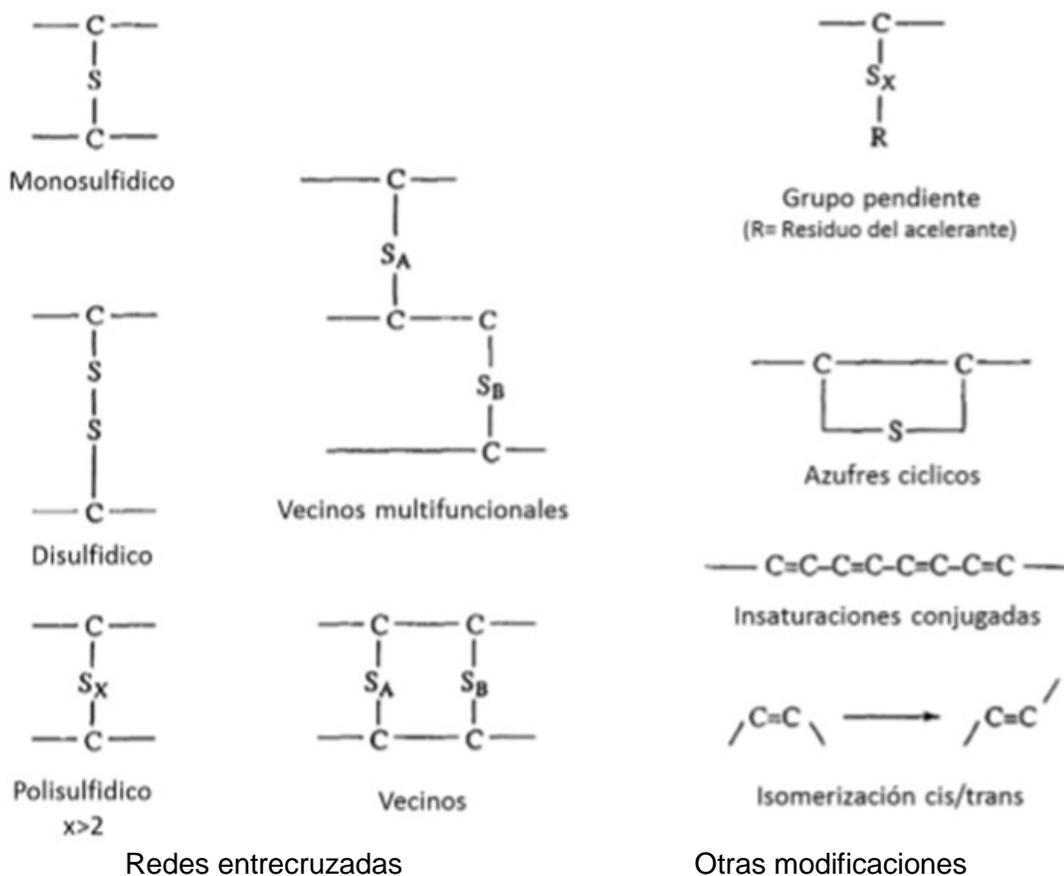


Fig. 1.1. Posibles estructuras formadas en caucho natural vulcanizado con azufre [1].

1.3.1. EFECTO DEL SISTEMA DE REFUERZO

Los compuestos de caucho natural elaborados con sistemas de refuerzo o de relleno presentan un comportamiento diferente en el proceso de mezcla, comparado con los compuestos no reforzados, en este tipo de sistemas se generan singularidades de flujo debidas principalmente a las interacciones entre el elastómero y las partículas de refuerzo o relleno ya que dicho sistema no puede verse como un medio continuo sino que entra a jugar un rol importante la naturaleza heterogénea de este tipo de sistemas, en ellos se generan diferencias notables con respecto al comportamiento de polímeros puros o de estructura simple. Finalmente, es el uso de los sistemas de refuerzo el que hace posible la aplicación de los compuestos de caucho natural en aplicaciones ingenieriles, de

ahí la importancia de conocer este tipo de sistemas y tratar de entender su comportamiento viscoelástico durante el mezclado, es decir en mezclas sin vulcanizar [1].

1.3.2. EFECTO DEL MEZCLADO

El primer paso de la transformación del caucho es la combinación de los ingredientes de un compuesto en un dispositivo de mezclado. En los primeros años de la industria, este proceso era sólo hecho en un molino abierto de rodillos; desde la segunda década del siglo XX se produjo una transición para llevar a cabo el mezclado en un mezclador interno con un diseño desarrollado por Banbury. El proceso de mezcla se desarrolló con el fin de generar una buena dispersión de los componentes de la mezcla antes del proceso de vulcanización. La facilidad o dificultad de fabricación depende de cómo esos sistemas de caucho responden a los esfuerzos y deformaciones aplicadas, al igual que depende de sus propiedades reológicas [1].

El esquema de mezcla de los componentes, en el caso específico de compuestos elastoméricos, puede ser un factor crítico en relación a las propiedades requeridas del producto, ya que modifica la respuesta física del material como consecuencia de la historia térmica debida al procesamiento. En un estudio anterior se evaluó el efecto de tres esquemas de mezclado sobre las propiedades reológicas, parámetros de entrecruzamiento y propiedades fisicomecánicas de vulcanizados a partir de mezclas de caucho natural y caucho natural de bajo peso molecular (ELMWNR). Los esquemas de mezclado fueron:

- Esquemas 1. El caucho natural y el ELMWNR fueron primero mezclados antes de adicionar los ingredientes de la composición; en el esquema;
- Esquemas 2. Los ingredientes de la composición fueron primero mezclados con el NR antes de adicionar el ELMWNR;
- Esquemas 3. Los ingredientes de la composición fueron primero mezclados con el ELMWNR antes de adicionar el NR [1].

Los resultados reológicos y mecánicos de los vulcanizados presentan que los cambios en los esquemas de mezclado influyen significativamente en la velocidad de entrecruzamiento y en las propiedades de tracción de las mezclas de caucho. El esfuerzo a la tracción de los vulcanizados fabricados usando el esquema 1 fueron más altos por 2 MPa que los fabricados por el esquema 2, y 5 MPa que los fabricados por el esquema 3. La elongación al rompimiento y la densidad de entrecruzamiento del vulcanizado fabricado con el esquema 1 tienen los más altos valores [1].

La norma ASTM F3184, norma que está referida a los elastómeros, establece y estandariza varias formulaciones de compuestos de caucho natural y propone protocolos para el proceso de mezclado; dichos protocolos de mezclado dependen del tipo de mezclador que se utilice, bien sea abierto o cerrado [5].

1.3.3. LA REACCIÓN DE VULCANIZACIÓN EN EL CAUCHO NATURAL

La reacción de vulcanización para el caucho natural mezclado con azufre, es el mecanismo químico mediante el cual se forman uniones entre las diferentes cadenas poliméricas a partir de la formación de puentes químicos con átomos de azufre [1].

La reacción de vulcanización puede ser evaluada a partir de la respuesta térmica o mecánica del compuesto, la respuesta térmica se presenta debido a la naturaleza exotérmica de la reacción. La técnica de calorimetría de barrido diferencial (DSC), permite evaluar la generación de calor en función de la temperatura si es un proceso no isotérmico o en función del tiempo si es un proceso isotérmico, esta técnica permite evaluar tanto la formación de enlaces entre el polímero y el azufre elásticamente activos, como también los grupos que no los son (grupos colgantes y cíclicos). La respuesta mecánica del material durante el proceso de vulcanización se puede monitorear por medio de la técnica conocida como reometría de vulcanización [1].

Debido a la variedad de elementos presentes en la formulación de un compuesto de caucho natural la reacción de vulcanización se convierte en proceso complejo que, a la fecha, aún no es completamente entendido. El tema de discusión está centrado en el mecanismo predominante durante la reacción, una hipótesis propone que la reacción ocurre por vía iónica, otra es que ocurre mediante reacción radicalaria o finalmente podría ser por una combinación de ambos mecanismos. La reacción de vulcanización propuesta mediante mecanismos iónicos ocurre en varias etapas, comenzando en la primera etapa con reacciones de iniciación, seguidas por reacciones de propagación y en la última etapa se presentan reacciones de finalización; a diferencia del mecanismo de reacción propuesto mediante radicales libres que puede llegar a depender de hasta diez etapas [1].

En el proceso de vulcanización se presentan reacciones debido a la interacción de cada uno de los componentes con los demás. Por lo tanto, es importante entender cuáles son los mecanismos propuestos para la formación de entrecruzamientos partiendo de las siguientes reacciones:

- 1) Reacciones entre el acelerante, el azufre y el caucho sin activadores; y
- 2) Reacciones entre el sistema activador y el acelerante para la generación del complejo iónico de zinc [1].

1.3.4. REACCIONES ENTRE EL ACELERANTE Y EL CAUCHO SIN ACTIVADORES

De las muchas clasificaciones propuestas para los acelerantes, la más general es la basada en la velocidad de vulcanización. De esta forma, se pueden agrupar en: lentos, medios y ultrarrápidos. De forma análoga funcionalmente, los acelerantes se clasifican como primarios o secundarios [1].

Los primeros suelen proporcionar un retraso considerable en el tiempo de inducción o “scorch” y producen curados rápidos o medios, proporcionando

buenos módulos. Los acelerantes secundarios se suelen emplear para aumentar el proceso de curado [1].

1.3.5. ACELERANTES LENTOS

Los representantes típicos de este tipo son los guanidinas, por ejemplo: Difenilguanidina (DGP) o diortotolilguanidina, entre otros. Actualmente estos acelerantes son poco utilizados como acelerantes únicos, aunque si se emplean como secundarios [2].

1.3.6. ACELERANTES MEDIOS

Los acelerantes medios están constituidos por el mercaptobenzotianol (MTB) y sus derivados. Estos acelerantes tienen el inconveniente de comunicar sabor amargo y mal olor a los artículos vulcanizados con ellos [2].

1.3.7. ACELERANTES RÁPIDOS

En este grupo se encuentran los sulfuros de tiuram (TMTM, TMTD, TETD, DPTT, entre otros). Con frecuencia son excesivamente precoces para ser utilizados como acelerante único o principal, salvo que se utilicen para vulcanizar mezclas de látex [2]. Así, los disulfuros de tiuram se pueden utilizar también como agentes vulcanizantes, en ausencia de azufre, porque contienen átomos de azufre que dañan al medio de reacción durante el proceso de vulcanización [2].

1.3.8. ACELERANTES ULTRA-RÁPIDOS

Aquí se encuentran los ditiocarbamatos y xantatos, cuya utilización, a causa de su gran precocidad, está generalmente limitada a mezclas de látex o a disoluciones autovulcanizantes.

En la vulcanización mediante azufre y acelerantes se tiene que distinguir entre tres tipos [2].

Según sea la reacción entre el azufre y los acelerantes, la primera se denomina vulcanización convencional, en la que se utiliza una relación superior a 0.5, entre los acelerantes y el azufre, produciéndose casi fundamentalmente enlaces polisulfídicos entre cadenas de caucho [2].

El segundo tipo es la vulcanización eficiente, que es en esencia la contraria a la anterior. La relación acelerantes/azufre varía entre 3 y 15, por lo tanto, se forman abundantes enlaces monosulfídicos [2].

El último tipo es la llamada vulcanización semieficiente, cuyas características son intermedias entre las dos anteriores [2].

Si la cantidad de azufre es elevada, más de 30 ppcc (partes por cien de caucho), se obtiene un producto llamado ebonita. Este material es duro e inelástico, y fue patentado por Nelson Goodyear, el hermano de Charless Goodyear [2].

En la mayoría de los casos, el caucho bruto se mezcla con numerosas sustancias que modifican sus características. Existen sustancias aditivas que estiran el caucho, pero no lo endurecen materialmente, como el carbonato de calcio y la baritina o sulfato de bario. Otros aditivos reforzantes también se añaden para dar dureza al producto final, como el negro de humo, óxido de cinc, carbonato de magnesio y ciertas arcillas. Otras sustancias que se emplean son pigmentos, como el óxido de cinc, el litopón y muchos tintes orgánicos, y ablandadores, que se usan cuando el caucho es demasiado rígido para mezclarse con otras sustancias, como son ciertos derivados del petróleo (aceites y ceras), la brea de pino o los ácidos grasos [2].

En la primera etapa de la vulcanización con azufre se forma una especie sulfurante, la cual en una etapa posterior será convertida en un precursor de entrecruzamiento. Gradwell, propuso la formación de acelerante con átomos de azufre (polisulfídico) y 2-Mercaptobenzotiazol-disulfide (MBTS) debido a la interacción de la molécula de acelerante con azufre molecular en ausencia de activadores, este proceso se llevaría a cabo mediante reacción radicalaria, para la reacción del N-tert-butil-2-benzotiazol sulfonamida (TBBS) recomendado por la norma ASTM F3184 [2].

En la primera etapa de la reacción el enlace S-N del acelerante se rompe generando un par de radicales libres, este enlace se rompe debido posiblemente a la estabilidad del radical mercapto por resonancia [1].

La reacción del acelerante (ver, Fig. 1.2) continúa con la interacción del radical mercapto con el azufre creando un nuevo radical con un átomo de azufre extra, este nuevo radical puede reaccionar con el radical de amina para formar una nueva molécula de TBBS disulfídico, o puede reaccionar con otro radical mercapto formando como producto una molécula de MBTS trisulfídica. La molécula de amina puede también reaccionar con el azufre [1].

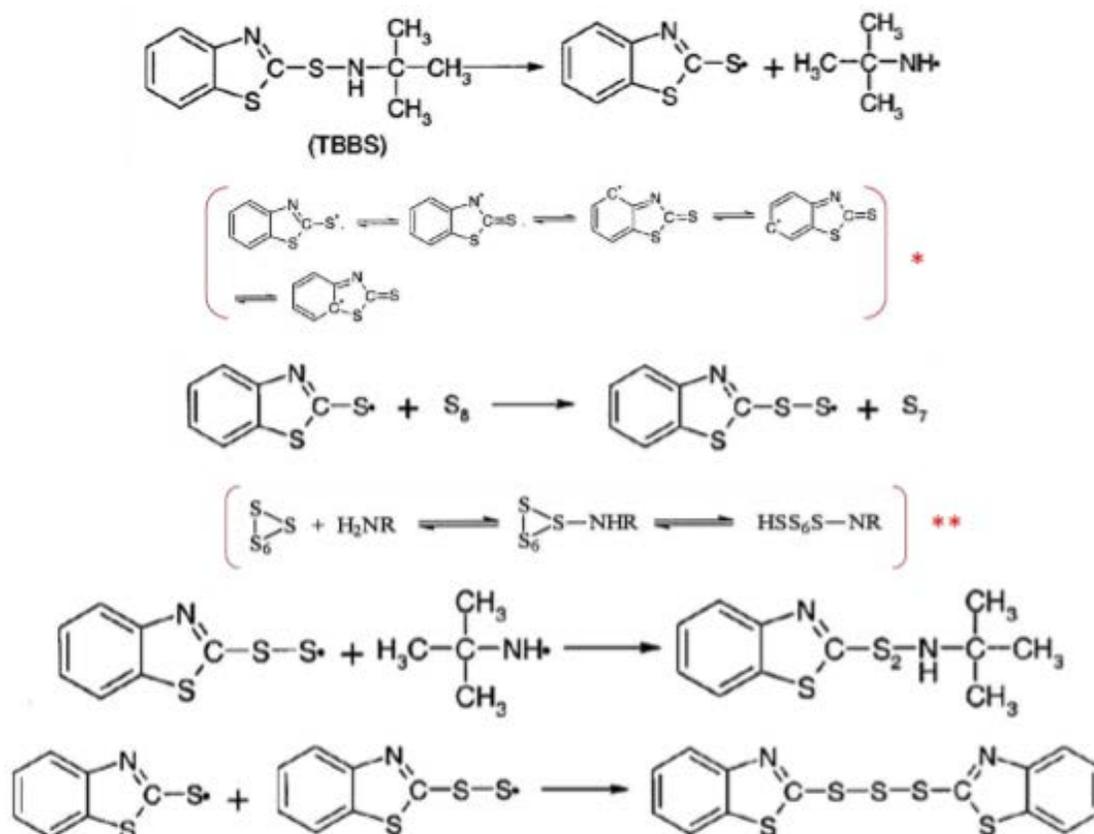


Fig. 1.2. Mecanismos de reacción para el acelerante TBBS y azufre en ausencia de un activador [1].

El entrecruzamiento entre las cadenas del polímero no ocurre de inmediato debido a las reacciones esquematizadas anteriormente, esta acción retardante mejora el tiempo de acción de la reacción de vulcanización conocido comúnmente como tiempo Scorch [1].

En la Fig. 1.3 se presenta el grupo de acelerantes de la familia de los benzotiazoles sulfenamidas (TBBS) tienen un mayor tiempo Scorch comparado con los acelerantes de la familia de los benzotiazoles (MBTS), fenómeno que puede ser explicado a partir de las etapas de descomposición del TBBS para formar MBTS. También se nota que la velocidad de vulcanización es menor para el MBTS comparado con los acelerantes de la familia de los benzotiazoles sulfenamidas [1].

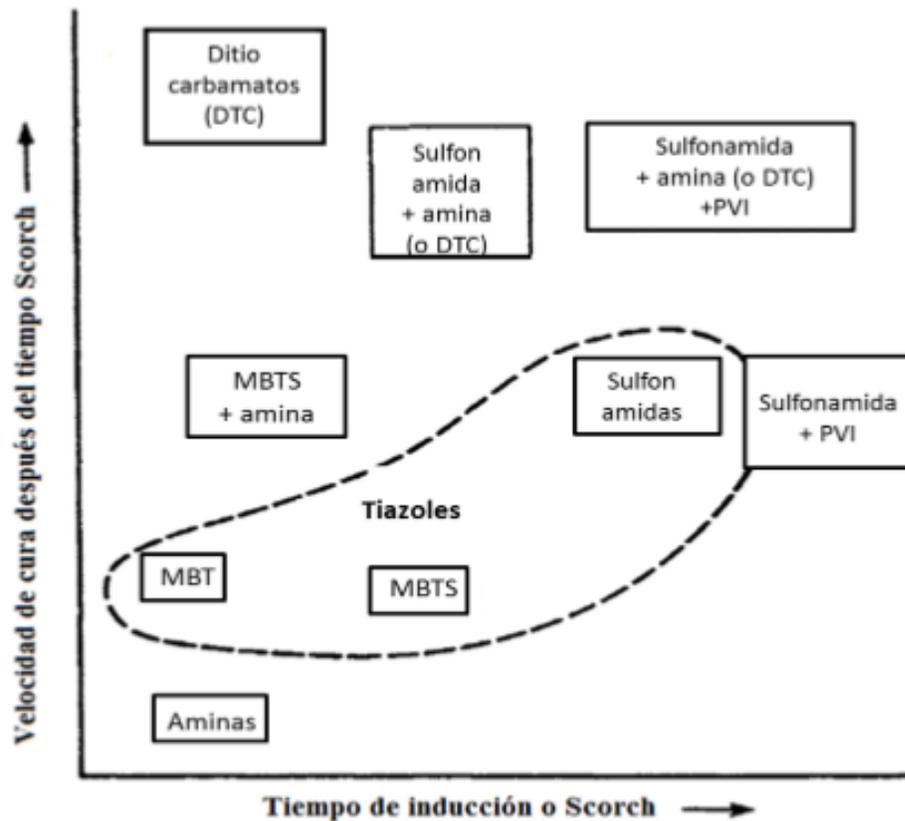


Fig. 1.3. Tiempo Scorch y velocidad de vulcanización para diferentes acelerantes [1].

Hasta este punto las reacciones entre el acelerante y el azufre no han generado ningún entrecruzamiento entre las cadenas del polímero; el aporte cinético de estas reacciones a la reacción total de vulcanización se ve reflejado en el tiempo Scorch del proceso. Otra contribución al tiempo Scorch se presenta debido a la diferencia en la cinética de las reacciones de la formación del precursor (KQ) en comparación a la formación de la red entrecruzada en el caucho (KC) donde KC es mucho menor a KQ. Estas dos reacciones se presentan en la Fig. 1.4 [1].

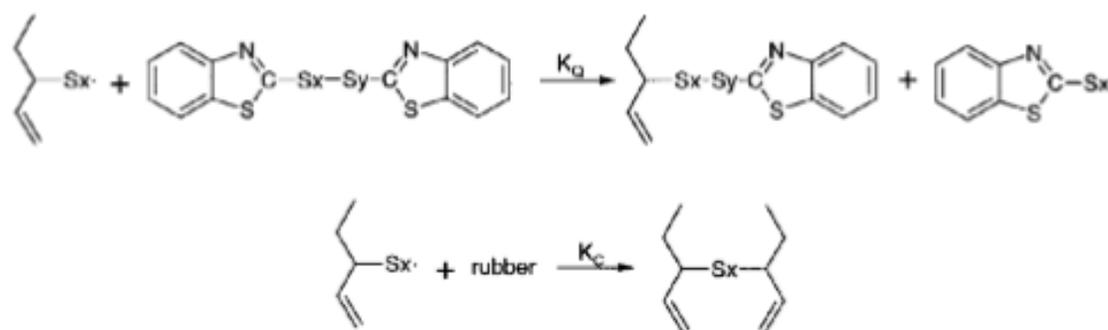


Fig. 1.4. Formación del precursor de entrecruzamiento vs la formación de la red entrecruzada en el caucho [1].

A partir de la relación de las dos reacciones presentadas en la Fig. 1.4, se puede concluir que la formación de entrecruzamientos entre las cadenas del elastómero ocurre después de que todo el MBTS se consume y es convertido en 2mercaptobenzotiazol (MBT) y en un precursor de entrecruzamiento, estas reacciones se presentan en la Fig. 1.5 [1].

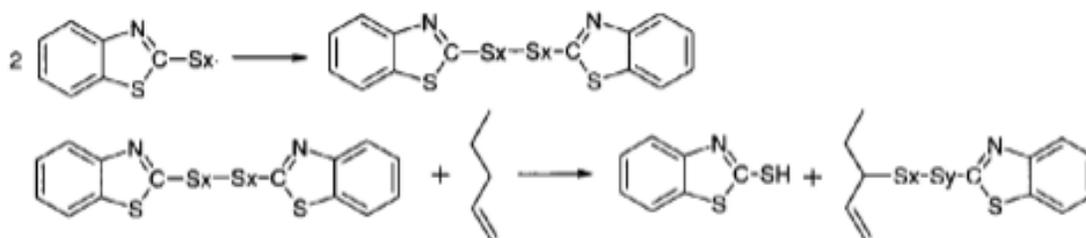


Fig. 1.5. Formación del precursor de entrecruzamiento [1].

Todos los mecanismos de reacción anteriormente descritos ocurren mediante mecanismos radicalarios. Sin embargo, el mecanismo de la reacción de vulcanización no es aún claro. Coran propuso un mecanismo iónico para la formación del precursor y un mecanismo iónico para la formación del entrecruzamiento de las cadenas del polímero, presentados en las Fig. 1.6 y 1.7 [1].

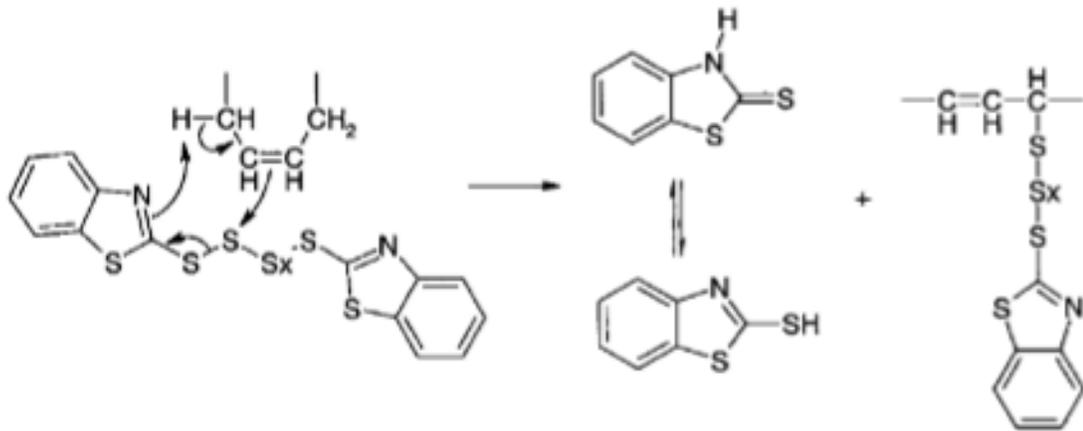


Fig. 1.6. Formación del precursor, mecanismo iónico [1].

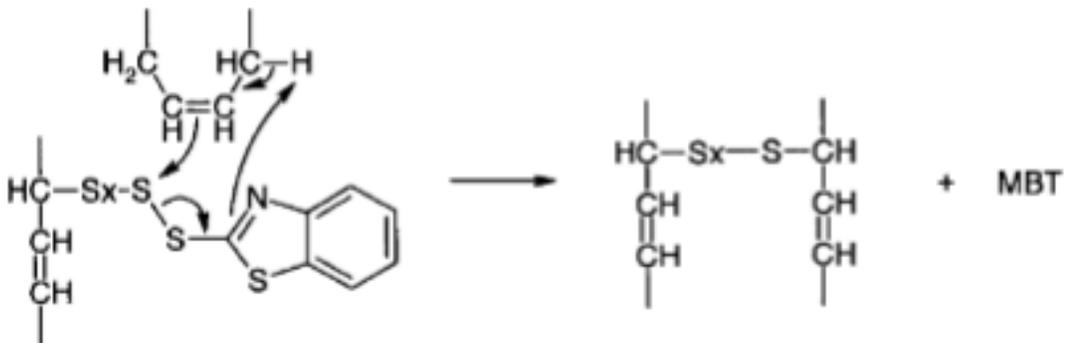


Fig. 1.7. Formación de la red entrecruzada en el elastómero, mecanismo iónico [1].

1.4. ENTRECruzAMIENTO A TEMPERATURA AMBIENTE POR RADIACIÓN

Desde los inicios del desarrollo de la energía nuclear ya se sugirió la posibilidad de utilizar la energía de radiación para entrecruzar cauchos a temperatura ambiente (ver, Fig. 1.8). Las primeras patentes aparecieron en el año 1933, y las fuentes de radiación eran de cobalto 60. Los cauchos diénicos se pueden entrecruzar por aplicación de estas radiaciones de alta energía. En estos sistemas de curado el número de entrecruzamientos que se forman es proporcional a la dosis de radiación. En los primeros trabajos que se realizaron se emplearon radiaciones de electrones de energías, del orden de 40 Mrad [4].

Un mecanismo radical libre es el aceptado para este proceso de entrecruzamiento. Se desprende hidrógeno gas durante el entrecruzamiento,

produciéndose aproximadamente una molécula de hidrógeno por entrecruzamiento formado [4].

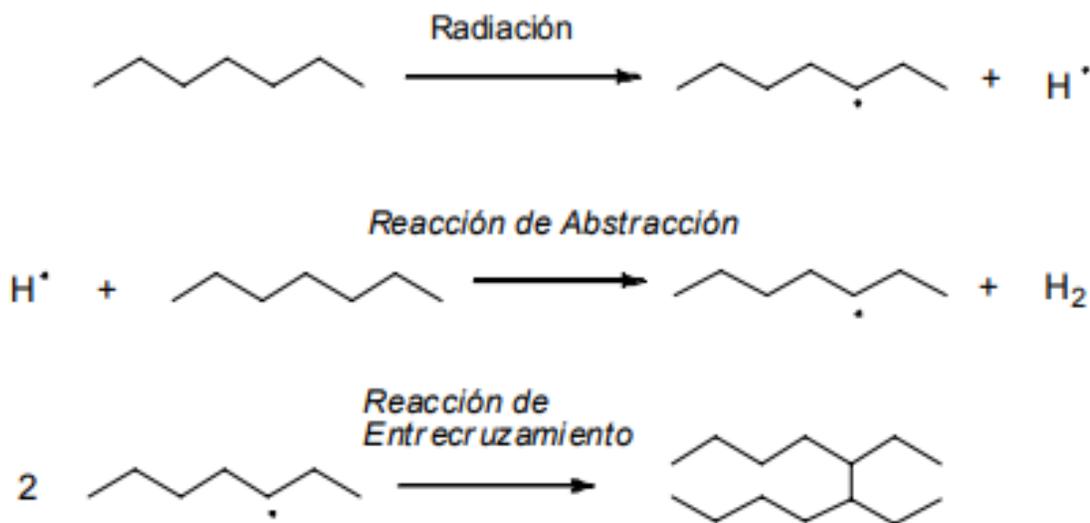


Fig. 1.8. Reacción de entrecruzamiento de polímeros mediante radiación [4].

Los cauchos entrecruzados por radiación presentan propiedades físicas inferiores a la de los compuestos preparados con los sistemas convencionales con azufre acelerante, incluso a los preparados con peróxidos. Otro inconveniente de esta técnica por lo que no ha llegado a tener demasiado interés industrial, es la baja penetración de la radiación en artículos de caucho de mediano grosor. Solamente se puede emplear en artículos obtenidos a partir de látex por la técnica de inmersión (preservativos, globos, guantes, entre otros) de paredes muy delgadas [4].

En la actualidad se ha vuelto a recuperar el interés por esta técnica, para aprovechar las ventajas que suponen la simplificación del compuesto, como las ecológicas (muchos tipos de acelerantes dan lugar a la formación de nitrosaminas, y problemas de alergia), en relación con las técnicas convencionales [4].

Las mejoras han sido posibles porque en la actualidad se recurre a radiaciones de electrones de baja energía, y siempre para vulcanizar artículos delgados a partir de látex. Con estas radiaciones de baja energía se llega a

preparar vulcanizados de caucho natural con propiedades mecánicas similares a las obtenidas con los sistemas convencionales basados en azufre/acelerante. Concretamente en la literatura científica se encuentran resultados de resistencia a la tracción del orden de 27 MPa [4].

1.5. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CAUCHO NATURAL

El caucho natural antes del proceso de vulcanización tiene propiedades mecánicas limitadas, su resistencia a los esfuerzos es muy baja y su deformación es casi que permanente ya que tiene un alto comportamiento plástico, los entrecruzamientos de las cadenas brindan algo de respuesta elástica, de esta manera el caucho natural no tiene ninguna aplicación tecnológica. Luego del proceso de vulcanización la red del polímero se transforma en una red tridimensional con una alta respuesta elástica y con una mejor resistencia mecánica, esta respuesta mecánica está directamente influenciada por la densidad de entrecruzamiento, por el tipo de enlace y por la clase y cantidad de refuerzo que haga parte de su formulación. El negro de humo hace que la red sea más rígida y mucho más resistente, proporcionando al material características que lo hacen apto para aplicaciones donde va a estar sometido a altas deformaciones y a mayores esfuerzos. Así, en la Tabla 1.2 se presenta los ingredientes que se agregan al caucho natural [6].

Tabla 1.1. Ingredientes del caucho natural [6].

Ingredientes	PHR
Caucho natural	100.00
Óxido de zinc	5.00
Azufre	3.50
Ácido esteárico	2.00
Negro de humo	0.00
TBBS	0.40
Total mezcla	110.90

1.5.1. CRISTALIZACIÓN INDUCIDA POR DEFORMACIÓN

La capacidad de experimentar largas deformaciones con la posibilidad de retornar de forma reversible a su dimensión original, cuando cesa el esfuerzo, es lo que definía a un elastómero. La naturaleza entrópica de esta propiedad elástica viene determinada por la elevada flexibilidad molecular y el considerable número de grados de rotación libre que puedan experimentar los enlaces de la cadena del polímero [4].

Esta capacidad de deformación de los cauchos ha sido tema importante de estudio que se inicia ya por los años de 1940, y necesariamente con el caucho natural (prácticamente era el único que existía). Así, si la orientación molecular y la cristalización inducida por la deformación influye de forma importante en las propiedades mecánicas de un compuesto de caucho, en la actualidad la relación exacta entre ambas no está clara del todo [4].

Aproximadamente a la deformación del 400% se inicia el cambio de pendiente, y coincide con el inicio de la cristalización en la red vulcanizada. Flory atribuye este levantamiento en la curva de esfuerzo-deformación a la cristalización inducida, actuando los cristales como elementos reforzantes en la red [4].

Con este criterio se podría asumir que en el compuesto entrecruzado con DPTT sea la cristalización inducida la explicación del cambio de pendiente, mientras que en el compuesto vulcanizado con peróxido, que prácticamente no manifiesta este cambio de pendiente, esta cristalización inducida no se llega a producir [4].

El efecto de la cristalinidad en la forma de la curva esfuerzo – deformación debe depender de forma importante de la manera en que se realizan las medidas (ver, Fig. 1.9). Así, cuando el caucho natural se deforma y las cadenas alcanzan sus posiciones de equilibrio antes de que comience la cristalización, el proceso de cristalización conduce a una reducción en la esfuerzo. Este debe ser el comportamiento del compuesto entrecruzado con peróxido de dicumilo, donde la curva esfuerzo – deformación cae por debajo incluso de la que se obtendría con

un elastómero amorfo que no desarrolla cristalinidad. Por otro lado, si la cristalización tiene lugar de forma concurrente con la deformación, la cristalización del polímero da lugar a incremento en el número de nudos y consecuentemente al incremento de la esfuerzo. Este factor debe ser el que actúa en el compuesto entrecruzado con DPTT, en el cual se produce un cambio notable en la pendiente de la curva esfuerzo – deformación y que va acompañada de un incremento notable en el esfuerzo a la fractura del compuesto [4].

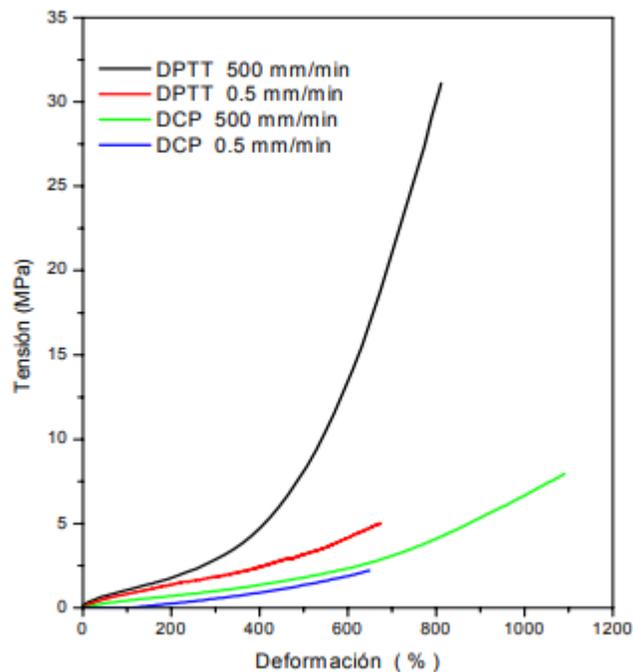


Fig. 1.9. Curvas esfuerzo-deformación de los compuestos entrecruzados con DPTT y DCP, a dos velocidades de deformación: 500 mm/min y 0.5 mm/min [6].

1.6. MEZCLADO DE LOS COMPUESTOS DE CAUCHO NATURAL

A pesar de que el proceso de mezclado del caucho natural en un mezclador interno tipo Banbury mejora considerablemente la incorporación y dispersión de los componentes químicos que hacen parte de la formulación, este

proceso se hace complejo debido a dos factores principalmente, la temperatura y la alta cizalla generada, también llamado efecto mecánico, estos dos factores pueden generar rompimiento de las cadenas del polímero. Adicional a esto, si el compuesto de caucho natural se mezcla a una temperatura cercana a una temperatura donde se pueda generar entrecruzamiento es posible que ocurra una prevulcanización en el compuesto. En la Fig. 1.10 se presenta el intervalo adecuado de temperaturas de proceso para evitar el rompimiento de las cadenas por el efecto mecánico o por el efecto térmico [1].

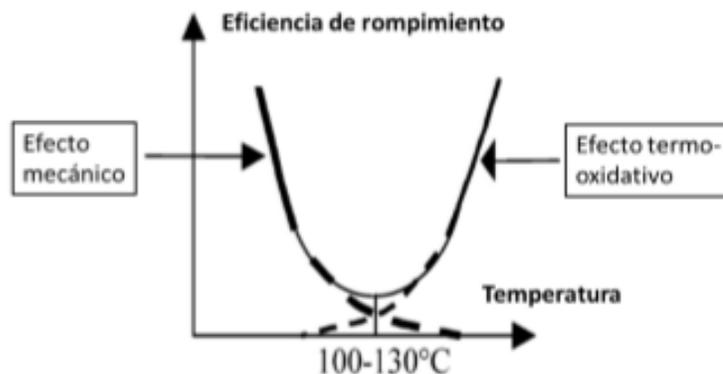


Fig. 1.10. Efecto mecánico y de la temperatura sobre el rompimiento de las cadenas del polímero [6].

1.7. PROCESO DE VULCANIZACIÓN DEL CAUCHO

El caucho natural sólido es procesado por medio de un molino de rodillos con el fin de drenar y terminar de secar el material para finalmente formar láminas.

En esta etapa se procede a pasar por los rodillos el caucho natural para tener una masa uniforme y sin grumos, necesaria para poder homogenizar en la siguiente etapa donde se mezclará con los diferentes materiales para su completo proceso.

El primer paso de la transformación del caucho es la combinación de los ingredientes de un compuesto en un dispositivo de mezcla.

El proceso de mezcla, se desarrolla con el fin de generar una buena dispersión de los componentes de la mezcla, antes del proceso de vulcanización, lo cual es sólo lograda teniendo una masa sin grumos.

Para la vulcanización es necesario elevar la temperatura de la mezcla, por medio de un dispositivo externo, este caso denominado, máquina para vulcanizar o vulcanizadora, de la cual su función principal será la de provocar un cambio de temperatura y presión en la mezcla para llegar a la finalidad que es vulcanizar soportes de hule.

La máquina trabajará con un par resistencias eléctricas, paralelas entre sí, conectadas a un diferencial de potencial de 110 V, las cuales tienen como función llevar a la temperatura deseada la mezcla, son dos resistencias en paralelo ya que una sería la encargada de calentar la mezcla en la parte superior y otra en la parte inferior, por transferencia de calor en unas placas formadas de aluminio, las cuales serán las encargadas de alojar las resistencias y a la vez de ser las que transfieran la presión ejercida sobre el material mezclado.

La presión será ejercida por dispositivos manuales, que, al girarlos, van a ir acercando la placa inferior a la superior, así logrando comprimir la mezcla y manteniendo dicha presión y temperatura, se llegaría al objetivo de lograr un completo vulcanizado.

Además, la densidad de entrecruzamiento máxima que se puede lograr para una formulación específica tiene una fuerte dependencia con la temperatura, alcanzando este máximo valor para una temperatura de 140 °C y extendiendo considerablemente el tiempo de reacción.

El sistema de activación permaneció constante en una proporción de 5 phr de óxido de zinc y 2 phr de ácido esteárico, valores reportados por la literatura como los adecuados para lograr una buena sinergia entre los dos componentes [7].

El uso de agentes acelerantes en concentraciones incluso por debajo de 0.5 phr permite reducir el tiempo de vulcanización a un tiempo entre 1 y 3 min [7].

Existen acelerantes primarios y secundarios; los acelerantes primarios son los encargados de incrementar la velocidad de reacción de vulcanización [7].

Cuando se emplean largos tiempos de vulcanización se genera una disminución de la densidad de entrecruzamiento, pero adicionalmente se evidencia que aumentar la temperatura en el proceso de vulcanización disminuye la densidad de entrecruzamiento máxima (ver, Fig. 1.11) a la que puede llegar el compuesto, y la degradación de la estructura entrecruzada comienza más rápido [7].

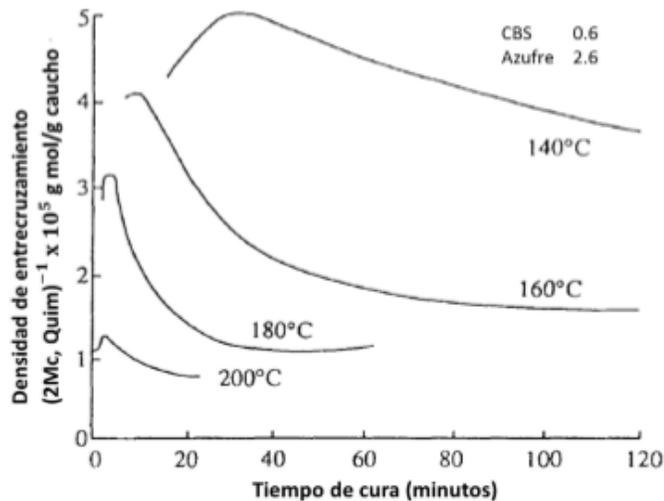


Fig. 1.11. Dependencia de la densidad de entrecruzamiento con la temperatura [7].

1.8. INYECCIÓN DE CAUCHO

El proceso de inyección de cauchos o gomas consiste en fundir el material y hacerlo fluir a través de una boquilla hacia la cavidad de un molde que le da una forma determinada [8].

El moldeo por inyección es un proceso ideal para conformar piezas de caucho en grandes cantidades de piezas pequeñas y medianas, moldeo de insertos y de componentes que requiera uniformidad (ver, Fig. 1.12) [1].

Pasos del moldeo por inyección [1]:

- ✓ El caucho se inyecta a través de un sistema de canales de la cavidad del molde.
- ✓ El caucho se cura dentro del molde hasta que el proceso de curado es completado.
- ✓ Extracción de la pieza y reinicio del ciclo.

Ventajas del moldeo por inyección [1]:

- ✓ Eliminación de las preformas: además del costo de las preformas, se reduce también el costo de manipulación de éstas;
- ✓ Tiempo de ciclo muy reducido;
- ✓ Proceso muy económico para grandes volúmenes de producción; y
- ✓ Desperdicio mínimo del material.

Aunque el fundamento del proceso es similar al de los procesos convencionales de inyección de termoplásticos, al tratarse de un elastómero, habrá que tener en cuenta varias consideraciones [8]:

- ✓ En el cilindro de plastificación, se tiene que controlar la temperatura para evitar que el polímero vulcanice.
- ✓ Una vez conformado, se tiene que someter la pieza a altas temperaturas para que vulcanice.



Fig. 1.12. Productos por inyección de caucho [1].

Las piezas de caucho-metal son piezas especiales de inyección de caucho (ver, Fig. 1.13). La diferencia con otras piezas de inyección es que el caucho se adhiere a sustratos de metal con el fin de formar un producto con insertos fijos. Mientras que el metal proporciona fuerza y rigidez a la pieza para que pueda soportar una alta presión, el caucho proporciona elasticidad y propiedades amortiguadoras [1].

Las ventajas de las piezas de caucho-metal son:

- ✓ Piezas finales con insertos metálicos,
- ✓ Resultado más resistente, y
- ✓ Creación de piezas imposibles de fabricar por otros procesos.

Además, el caucho, como elastómeros termoestables moldeables, no se presta bien para el mismo nivel de tolerancia que pueden presentar materiales rígidos. Algunos de los factores que intervienen en las tolerancias de la inyección de caucho son la temperatura, el tiempo de curado, la tolerancia del molde, molde de registro, la variación de compuesto, y la contracción [1].



Fig. 1.13. Soportes inyectados de caucho [1].

La información recopilada en este capítulo es esencial para los cálculos del segundo capítulo del presente trabajo, ya que provee los parámetros necesarios para el eficiente diseño de la propuesta de vulcanizadora que a continuación se presenta.

2. DISEÑO

La propuesta de la máquina vulcanizadora estará constituida de dos sistemas principales, el primero es el térmico que proporcionará el calor para llegar a la temperatura óptima del vulcanizado, y el segundo sistema es mecánico de compresión para darle el tamaño a las piezas vulcanizadas. Además, es importante destacar, que los componentes de la máquina vulcanizadora se diseñarán de forma tal que soporten la carga térmica y mecánica. Además, se realizará el diseño del proceso de fundición de las placas encargadas de la vulcanización.

Un esquema de la máquina vulcanizadora se presenta en la Fig. 2.1, en la cual se detalla las partes que la constituyen.

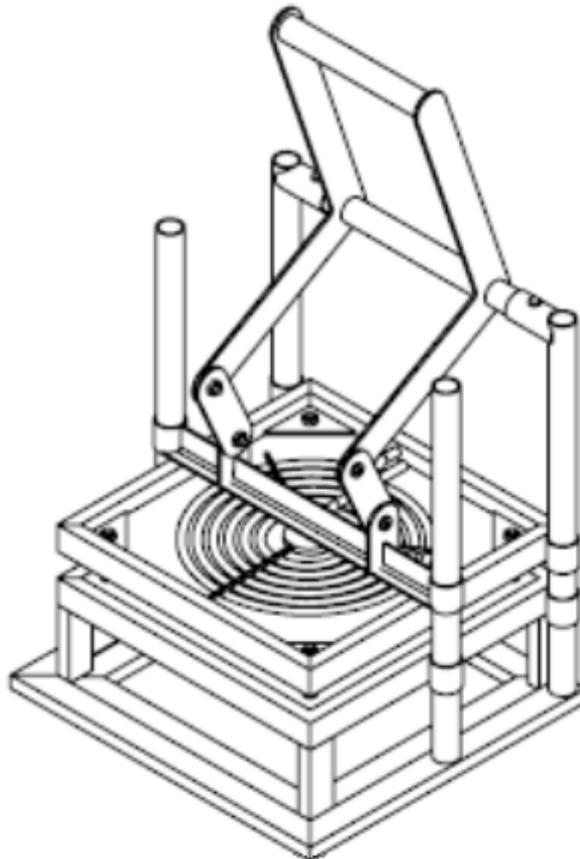


Fig. 2.1. Esquema de la propuesta de la máquina vulcanizadora.

2.1. SISTEMA TÉRMICO

Este sistema será el encargado de elevar la temperatura para vulcanizar el caucho, el cual es el objetivo principal de esta propuesta de diseño. Así, lo anterior se logrará por medio de resistencias eléctricas que operen con un voltaje de 110 V, las resistencias serán del tipo bobina, las cuales estarán alojadas en placas de calentamiento diseñadas para transferir el calor hacia el caucho a vulcanizar, tal como se presenta en la Fig. 2.1.

2.1.1. RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

Para la selección de las resistencias eléctricas, se debe calcular la potencia necesaria de la misma para incrementar la temperatura del sistema desde la ambiental hasta la de vulcanización. Además, se evaluará por transferencia de calor por el método de resistencias térmicas, así poder lograr la temperatura necesaria y así obtener un vulcanizado exitoso.

La razón de la transferencia de calor a través de un medio en una dirección específica (por ejemplo, en la dirección x) es proporcional a la diferencia de temperatura entre un lado del medio y el otro lado y al área perpendicular a la dirección de la transferencia de calor. Aunque es inversamente proporcional a la distancia en esa dirección. Esto se expresa en forma diferencial por la ley de Fourier de la conducción de calor en forma unidimensional, como [9]:

$$Q_{\text{cond}} = -K \cdot A \frac{dT}{dX} \quad (2.1)$$

donde:

K es la conductividad térmica del material,

A es el área transversal, y

dT/dx es el gradiente de temperatura.

En general, la conductividad térmica de un material varía con la temperatura, aunque se pueden obtener resultados suficientemente exactos al usar un valor constante para la conductividad térmica a la temperatura promedio [9].

Dado que el calor es conducido en la dirección de la temperatura decreciente, el gradiente de temperatura es negativo cuando el calor es conducido en la dirección positiva de x . El signo negativo en la ecuación indica que la transferencia de calor en la dirección positiva de x sea una cantidad positiva [9].

La temperatura de una resistencia de alambre se eleva con rapidez cuando pasa corriente eléctrica a través de ella, como resultado de la energía eléctrica que se está convirtiendo en calor a razón de I^2R , en donde I es la corriente y R es la resistencia eléctrica del alambre [9].

La razón de generación de calor en un medio puede variar con el tiempo y con la posición dentro del mismo. Cuando se conoce la variación de la generación de calor con la posición, la razón total de esa generación en un medio de volumen (V) se puede determinar a partir de [9]:

$$E_{\text{gen}} = \int_V e_{\text{gen}} dv \quad (2.2)$$

En el caso especial de una generación uniforme de calor, como en el caso del calentamiento por resistencia eléctrica en todo un material homogéneo, la relación de la ecuación se reduce a $E_{\text{gen}} = e_{\text{gen}}$, en donde e_{gen} es la razón constante de generación de calor por unidad de volumen [9].

2.1.2. RESISTENCIA TÉRMICA

La conducción de calor a través de una pared plana se puede calcular mediante la Ec. 2.3, así [9]:

$$Q = \frac{\Delta T_{placa}}{R_{placa}} \text{ (W)} \quad (2.3)$$

donde:

Q es el calor transferido hacia las superficies adyacentes,

ΔT_{placa} es el diferencial de temperatura entre caras de la superficie, y

R_{placa} es la resistencia térmica del material que está hecha la superficie.

La resistencia térmica de un material representa la capacidad del material a oponerse al flujo de temperatura, la cual, se calcula con la siguiente ecuación [9]:

$$R_{placa} = \frac{L}{K \cdot A} \quad (2.4)$$

donde:

L es el espesor del material medido en dirección paralela al flujo de calor en m,

K es la conductividad térmica del material la cual es 237 W/ m·K, y

A es el área transversal perpendicular al flujo de calor en mm².

Es la *resistencia térmica* de la pared en contra de la conducción de calor o simplemente la resistencia a la conducción de la pared está dada por la Ec. 2.5. Note que la resistencia térmica de un medio depende de la configuración geométrica y de las propiedades térmicas del medio [9].

$$R_{cov} = \frac{1}{hA} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \quad (2.5)$$

R_{cov} es la resistencia térmica de la superficie contra la convección de calor o, simplemente, la resistencia a la convección de la superficie [9].

Los cambios finitos en la energía interna en un sólido ideal durante un proceso se pueden expresar aproximadamente usando valores de los calores específicos a la temperatura promedio, como [9]:

$$Q = mC_p\Delta T \quad (2.6)$$

La razón de transferencia de calor por unidad de área perpendicular a la dirección de esa transferencia se llama flujo de calor y el flujo promedio de calor se expresa mediante la Ec. 2.7 [9]:

$$q = \frac{Q}{A} \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (2.7)$$

2.1.3. CONVECCIÓN

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la *conducción* y el *movimiento de fluidos*. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección [9].

A pesar de la complejidad de la convección, se observa que la rapidez de la *transferencia de calor por convección* es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la ley de Newton del enfriamiento como se presenta en la Ec. 2.8 [9]:

$$q = h A (T_s - T_\infty) W \quad (2.8)$$

donde:

h es el *coeficiente de transferencia de calor por convección*,

A es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección,

T_s es la temperatura de la superficie, y

T_∞ es la temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie.

El tiempo de vulcanizado con acelerantes es de 3 minutos, o sea, 180 segundos, así que, en base a ese tiempo se realizarán los cálculos.

Calor absorbido por un soporte de caucho con dimensiones de 25 mm de altura y 25 mm de diámetro, con la Ec. 2.6:

$$Q = \rho C_p V(\Delta T)$$

$$Q = \rho C_p \frac{\pi}{4} d^2 L (T_o - T_\infty)$$

$$Q = (72)(1680) \left(\frac{\pi}{4}\right) (0.025 \text{ m})^2 (0.025 \text{ cm})(140^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})$$

$$Q = 170.71 \text{ J}$$

$\rho = 72 \text{ kg/m}^3$ $C_p = 1680 \frac{\text{J}}{\text{kg}}^\circ\text{C}$ para el caucho rígido o expandido

Ahora con esos datos se puede calcular la potencia necesaria para vulcanizar cada soporte individualmente con la Ec. 2.6:

$$q = \frac{Q}{t} = \frac{170.71 \text{ J}}{180 \text{ s}} = 0.95 \text{ W}$$

Es la potencia necesaria por cada soporte, al multiplicar por los 36 soportes:

$$q_{\text{soportes}} = 36(q) = 36(0.95) = 34.14 \text{ W}$$

Ahora encontrando el calor necesario para el cambio de temperatura de los moldes:

$$Q = m C_p (\Delta T)$$

$$Q = \rho C_p V (\Delta T)$$

$$Q = 3970(765) \left(\frac{\pi}{4} d_1^2 - d_2^2\right) (140 - 25)$$

$$Q = 3970(765) \left(\frac{\pi}{4}\right) (0.025) ((0.030)^2 - (0.025)^2) (115)$$

$$Q = 1885.87 \text{ J}$$

Ahora se puede calcular la potencia necesaria para lograr dicho aumento de temperatura en los moldes:

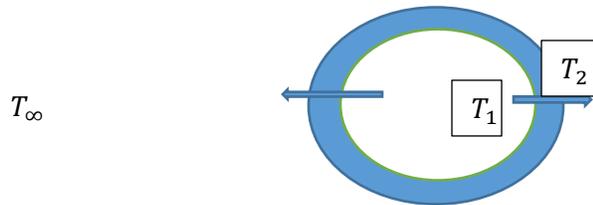
$$Q = Q/t$$

$$Q = 1885.87 \text{ J} / 180$$

$$Q = 10.47 \text{ W}$$

Y al multiplicarlo por los 36 moldes se obtiene una potencia de:

$$q_{\text{moldes}} = 377.17 \text{ Watts}$$



$$\frac{T_1 - T_\infty}{T_o \cdot T_\infty} = \frac{140 - 142}{25 - 142} = \frac{-2}{-117} = 0.017 \quad (\text{Ec. según la gráfica de Heisler})$$

Según la gráfica de Heisler:

Con $m = 0.0$ por encontrarse al centro, las coordenadas, $\tau = 1.2$

$$\tau = \frac{at}{L^2}$$

$$t = \frac{\tau L^2}{\alpha}$$

$$t = \frac{1.2(0.025)^2}{9.71 \times 10^{-5}}$$

$$t = 7.72 \text{ s.}$$

Ahora calculando el calor necesario para calentar los moldes a la temperatura calculada para lograr la vulcanización, cuando se usa un diámetro de 0.005 es por la resta de diámetro externo menos diámetro interno, o sea, el espesor del molde, que es de 5 mm; una longitud de 12.5 mm, porque son dos resistencias, así que, se calcula hasta el centro del molde para simplificar los cálculos de la resistencia superior e inferior con Ec. 2.6:

$$Q = C_p \rho \frac{\pi}{4} d^2 L (\Delta T)$$

$$Q = 903(2702) \left(\frac{\pi}{4}\right) (0.005)^2 (0.0125)(142 - 25)$$

$$Q = 70.06 J.$$

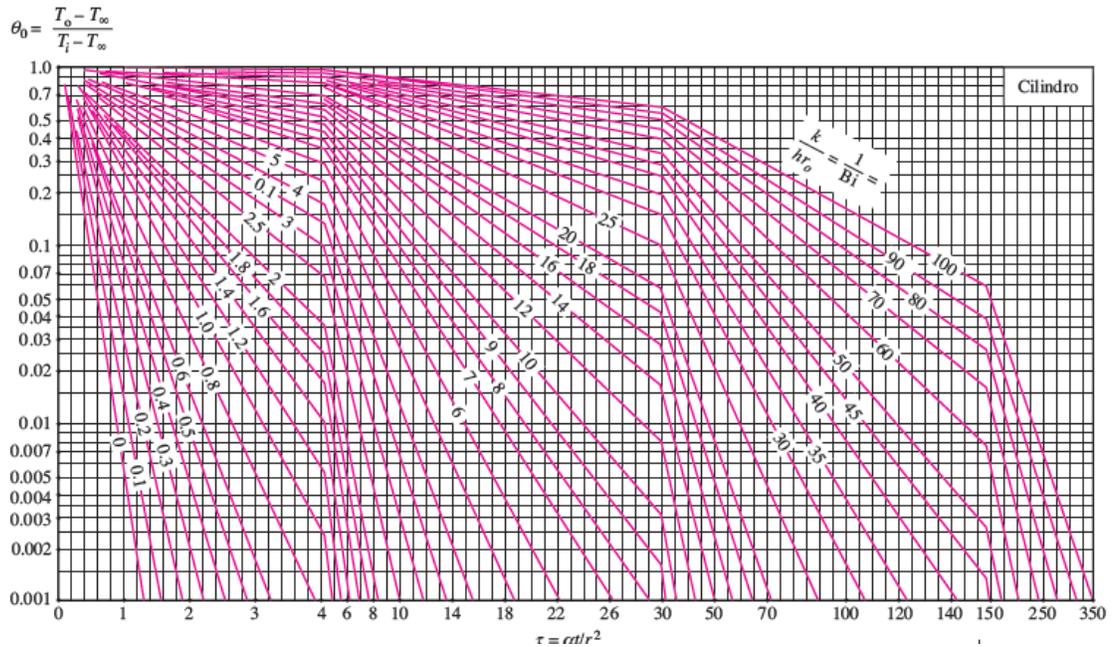


Fig. 2.2. Gráfica de Heisler.

Ahora calculando las pérdidas de calor por convección de los moldes con la Ec. 2.8:

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

$$q = 20(2\pi)(0.0145)(0.025)(142 - 25)$$

$$q = 5.33 J$$

Multiplicándolo por los 36 moldes:

$$q = 36 \times 5.33$$

$$q = 191.86 J.$$

Ahora, cuanto potencia se consumirá durante los 3 minutos del vulcanizado Ec. 2.7:

$$q = \frac{191.86 J}{180 s}$$

$$q = 1.06 \text{ Watts}$$

Ahora por el método de las resistencias, se calculará el calor perdido por convección de las placas a través de los aislantes seleccionados, en este caso, espuma de fibra de vidrio, según la Ec. 2.5:

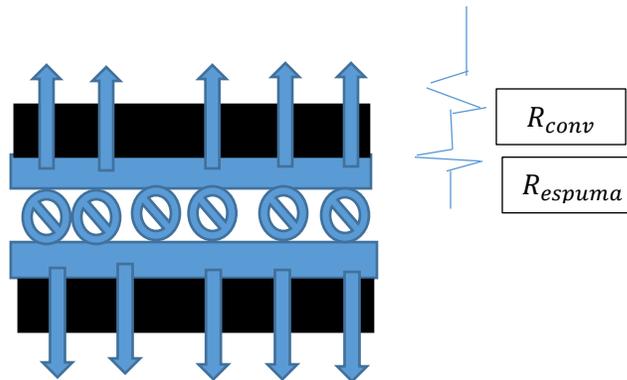


Fig. 2.3 Dirección de calor en estado convectivo.

Con la Ec. 2.3 y Ec. 2.4 se puede calcular la resistencia de la espuma de fibra de vidrio por conducción y con la Ec. 2.5 para la transferencia de calor por convección:

$$Q_{cond} = \frac{\Delta T}{R_T}$$

$$R_{esp} = \frac{L}{K \cdot A}$$

$$R_{esp} = \frac{0.025}{0.038 \frac{W}{mK} \cdot (0.25 \times 0.25)}$$

$$R_{esp} = 10.52$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h_{aire} \cdot A}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{20(0.25 \times 0.25)}$$

$$R_{conv} = 0.8$$

Tabla 2.1. Propiedades de materiales aislantes a una temperatura media de 24 °C.

Material	Espesor, L mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor específico, c_p kJ/kg · K	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), K · m ² /W
Colcha y lámina					
Fibra mineral (forma fibrosa)	50 a 70 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.23
Fibra mineral (procesada a partir de roca, escoria o vidrio)	75 a 90 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.94
	135 a 165 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	3.32
Tablero y losa					
Vidrio celular		136	0.055	1.0	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		64-144	0.036	0.96	—
Poliestireno expandido (bolitas moldeadas)		16	0.040	1.2	—
Poliuretano expandido (R-11 expandido)		24	0.023	1.6	—
Perlita expandida (ligamento orgánico)		16	0.052	1.26	—
Caucho expandido (rígido)		72	0.032	1.68	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		240	0.042	0.71	—
Corcho		120	0.039	1.80	—
Rociado o formado en el sitio					
Espuma de poliuretano		24-40	0.023-0.026	—	—
Fibra de vidrio		56-72	0.038-0.039	—	—
Uretano, mezcla de dos partes (espuma rígida)		70	0.026	1.045	—
Gránulos de lana mineral con aglomerantes de asbesto/inorgánico (rociado)		190	0.046	—	—

Además, con la Ec. 2.1 se calcula el calor:

$$Q_{cond} = \frac{\Delta T}{R_T}$$

$$Q_{cond} = \frac{142 - 25}{10.52 + 0.8}$$

$$Q_{cond} = \frac{117}{11.32}$$

$$Q_{cond} = 10.33 \text{ Joules.}$$

Ahora, calculando la resistencia necesaria para ese flujo de calor con la Ec. 2.7, que, por ser convectivo, a través de un aislante, debería ser un resultado bastante bajo de pérdida de calor por convección:

$$q = \frac{Q_{cond}}{t}$$

$$q = \frac{10.33 J}{180 s}$$

$$q = 0.12 W.$$

Luego, calculando la pérdida de calor por conducción por el método de las resistencias térmicas, a través de la placa de aluminio según la Ec. 2.3 y 2.4:

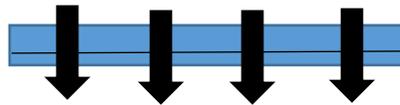


Fig. 2.3. Dirección del flujo de calor por conducción.

$$Q_{cond} = \frac{\Delta T}{R_T}$$

$$R_{alum} = \frac{L}{K \cdot A}$$

$$R_{esp} = \frac{0.006}{237(0.25 \times 0.25)}$$

$$R_{esp} = 4.05 \times 10^{-4}$$

Con la Ec. 2.3 se calcula el calor:

$$Q_{cond} = \frac{\Delta T}{R_T}$$

$$Q_{cond} = \frac{5}{4.05 \times 10^{-4}}$$

$$Q_{cond} = 12343.75 \text{ Joules.}$$

Ahora, calculando la resistencia necesaria para dicho calor con la Ec. 2.7:

$$q = \frac{Q_{cond}}{t}$$

$$q = \frac{12343.75 J}{180 s}$$

$$Q_{cond} = 64.97 \text{ Watts.}$$

Con ello, calculando la resistencia necesaria para lograr la vulcanización de los soportes de caucho, las cual se realiza sumando todas las resistencias calculadas previamente, así:

$$R_{total} = 34.14 + 377.17 + 1.06 + 0.12 + 64.97$$

$$R_{total} = 477.46 W$$

$$R_{total} = \sim 500 W.$$

Luego, Se procede a encontrar la resistencia térmica de la pared delgada de aluminio, con un espesor (L) de 6 mm (0.006 m) y de forma cuadrada de 8 cm por lado. Para la cual se obtiene un área de la placa de 64 cm² (0.0064 m²).

Luego, sustituyendo en la Ec. 2.4 y calculando, queda:

$$R_{placa} = \frac{L}{kA} = \frac{0.006 m}{237 \frac{W}{mK} (0.0064 m^2)} = 3.955 \times 10^{-3} K/W.$$

Para determinar el delta de temperatura para dicha placa, se ha seleccionado una resistencia eléctrica de 500 W a un voltaje a 110 V, esto debido a que dicha resistencia elegida es de fácil acceso en la mayoría de ferreterías. Así, se utiliza la Ec. 2.3.

$$500 W = \frac{\Delta T_{placa}}{3.955 \times 10^{-3} \frac{K}{W}}$$

$$\Delta T_{\text{placa}} = 500W \left(3.955 \times 10^{-3} \frac{K}{W} \right)$$

$$\Delta T_{\text{placa}} = 1.97 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Según los datos, se ha obtenido una variación de aproximadamente 2 °C entre caras de la placa de aluminio.

Con lo que la resistencia varía un poco con lo calculado anteriormente, ahora calculando la verdadera resistencia según la Ec. 2.3:

$$Q_{\text{cond}} = \frac{\Delta T}{R_T}$$

$$Q_{\text{cond}} = \frac{2}{4.05 \times 10^{-4}}$$

$$Q_{\text{cond}} = 4938.27 \text{ Joules}.$$

Ahora calculando la resistencia necesaria con la Ec. 2.7:

$$q = \frac{Q_{\text{cond}}}{t}$$

$$q = \frac{4938.27 \text{ J}}{180 \text{ s}}$$

$$q = 27.43 \text{ Watts}.$$

El dato anterior daba un resultado de 64.97 Watts, dando como resultado, 37.53 Watts, lo que daría una resistencia final de:

$$R_{\text{total}} = 37 + 326.7 + 1.06 + 0.12 + 27.43$$

$$R_{\text{total}} = 392.31 \text{ Watts}.$$

2.2. CONTROL DEL FACTOR TEMPERATURA

Se necesitará llegar a una temperatura específica para lograr el vulcanizado correcto, de manera que se utilizará una termocupla, que es uno de los sensores más importantes utilizados para medir la temperatura en los más variados segmentos industriales.

Los sensores de temperaturas simples son robustos y de bajo costo utilizados en los más variados procesos, ya que su capacidad de medición se puede aplicar a un amplio intervalo de temperatura. Con la cual se controlará de manera manual el proceso de temperaturas deseado en el proceso de vulcanización, siendo más económico que otras opciones para controlar dicha temperatura.

2.3. SISTEMA DE COMPRESIÓN

Este sistema va a ser manual, accionado por palancas y en sus costados será dirigido por unas guías cilíndricas, para tener un apriete uniforme, va a tener dos funciones, acercar el sistema térmico al molde y realizar la compactación del caucho a vulcanizar.

2.3.1. SISTEMA DE PALANCAS

Para el correcto vulcanizado de los soportes de caucho, es necesario calentar el hule y comprimir dicho material a ser vulcanizado, en este caso, este trabajo se enfoca en el diseño del sistema de compresión, que va a funcionar manualmente, va a ser accionado, aplicando una fuerza (ver, Fig. 2.4 – 2.6) que por medio de la biela L va a ser transferido a la placa que va a alojar la resistencia, y así, comprimir el hule a vulcanizar.

Posteriormente se proceder a calcular el momento de torsión resultante de aplicar una fuerza en la manivela para mover la placa que porta la resistencia eléctrica.

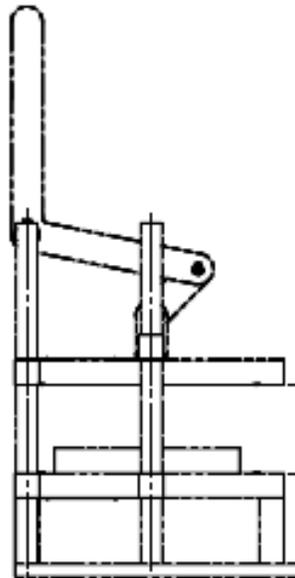


Fig. 2.4. Máquina con brazo de palanca.

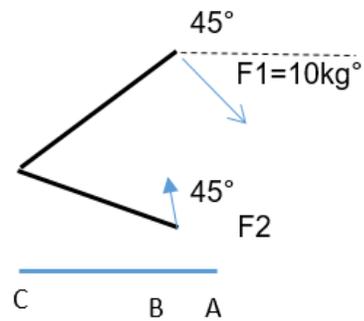


Fig. 2.5. Fuerzas en el brazo de palanca.

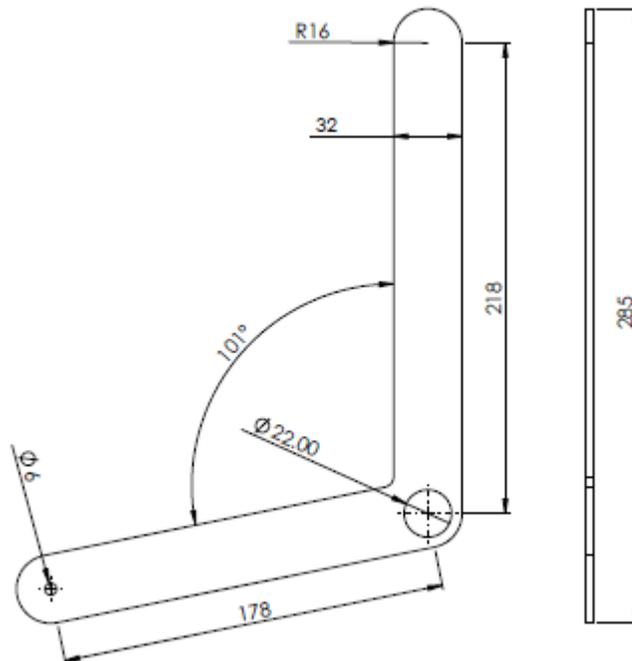


Fig. 2.6. Brazo de la palanca.

Haciendo sumatorias de fuerzas, para encontrar las fuerzas en el sentido vertical, en este caso se llama fuerzas en la dirección y .

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$-F_1 \cos(45^\circ) \operatorname{sen}(19^\circ)(218) - F_2 \operatorname{sen}(45^\circ) \cos(19^\circ) (178) = 0$$

$$-F_1(50.2) + F_2(119) = 0$$

$$F_1(50.2) = F_2(119)$$

$$F_1 = F_2(2.4)$$

Ahora asumiendo una fuerza de 98 N en la manivela (F_1), se calcula que:

$$F_1 = F_2(2.4)$$

$$\frac{98}{2.4} = F_2$$

$$F_2 = 41 \text{ N}$$

Calculando el peso de la placa de aluminio móvil, se tomará como sólida, por contener la resistencia eléctrica en su interior:

$$m = \rho V$$

$$m = 3970(0.25 \times 0.25 \times 0.1)$$

$$m = 2.48 \text{ kg.}$$

Ahora, calculando su peso:

$$w = m \cdot g$$

$$w = 2.5(9.81)$$

$$w = 24.33 \text{ N}$$

Haciendo sumatoria de fuerzas en el eje Y:

$$+\uparrow \Sigma F_Y = 0$$

$$F_1 \text{sen}(45) - F_2 \text{sen}(45) - C_x = 0$$

$$C_y = 40.41 \text{ N}$$

$$+\rightarrow \Sigma F_x = 0$$

$$-c_x + F_2 \cos(45) - F_1 \cos(45) = 0$$

$$c_x = -40.41 \text{ N}$$

Luego:

$$C = \sqrt{(-40.41)^2 + (40.41)^2}$$

$$C = 57.15 \text{ N.}$$

Entonces el esfuerzo que soporta en el eje en C es:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{57.15 \text{ N}}{(22 \text{ mm})(3.175)}$$

$$\sigma = 0.81 \text{ MPa.}$$

Luego del análisis de estática, se hace el análisis de concentrador de esfuerzos.

Primero se calcula el K_t . Por medio de la Fig. 2.8 [10].

$$\frac{d}{w} = \frac{22\text{mm}}{3.175\text{mm}}$$

$$\frac{d}{w} = 6.93$$

De grafica el $K_t = 1.2$

Entonces el esfuerzo que soporta es:

$$\sigma = k_t \frac{F}{A} = 1.2 * 0.81 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 1 \text{ MPa.}$$

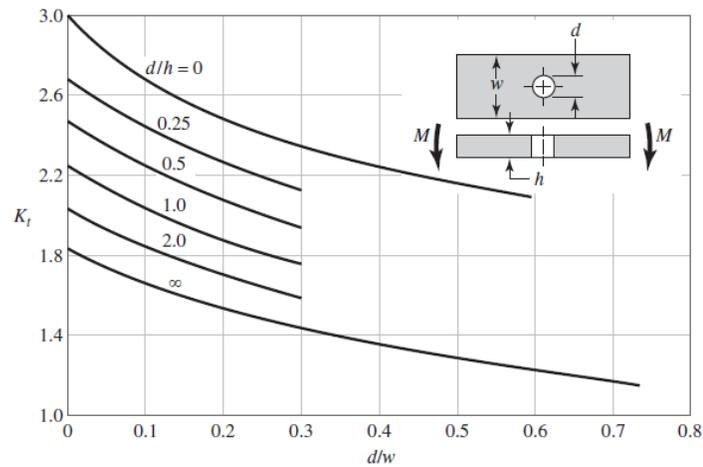


Fig. 2.8. k_t para selección de material rectangular con agujero transversal en flexión.

Luego para elegir el material por medio de la teoría de fallas [10].

Con la teoría del esfuerzo normal máximo (TENM) en el cual se estipula que [10]:

$$\frac{S_y}{n} = \sigma \text{ o } S_y \geq \sigma$$

Entonces por conveniencia se elige el acero SAE 1020 HR (ver. Tabla 2.2) dado que:

$$S_y = 380 \text{ MPa} > \sigma = 3.46 \text{ MPa}$$

Tabla 2.2. Resistencia de materiales [10].

Resistencias determinísticas mínimas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD). [Las resistencias listadas son valores ASTM mínimos estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm ($\frac{3}{4}$ a $1\frac{1}{4}$ pulg). Estas resistencias resultan adecuadas para usarse con el factor de diseño definido en la sección 1-10, a condición que los materiales se ajusten a los requisitos ASTM A6 o A568 o que se requieran en las especificaciones de compra. Recuerde que un sistema de numeración no es una especificación.] Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Proce-samiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170

2.4. DISEÑO DE FUNDICIÓN DE LA PLACA PORTA RESISTENCIA

En el caso de las placas donde se alojarán las resistencias eléctricas, se diseñarán para ser fabricadas por el método de fundición en molde de arena, por su compleja forma y por su bajo costo, ya que, puede fabricarse de aluminio reciclado, sin necesidad de maquinaria de precisión, más que de una impresora 3D para fabricar el modelo.

Las placas de aluminio tendrán 25 cm por lado, siendo de una forma cuadrada, y un espesor de 1 cm, se eligió el aluminio porque es fácil de fundir y por su alta conducción térmica.

2.4.1. DISEÑO DEL MODELO

El modelo va a ser diseñado en base a una resistencia eléctrica a ser alojada en su interior, creado a partir de impresión 3D, así, facilitando su compleja forma, que de otra manera, se tendría que recurrir a maquinaria más costosa, que elevaría el costo de la máquina vulcanizadora de soportes de hule.

2.5. CÁLCULOS DEL SISTEMA DE FUNDICIÓN

A continuación, se desarrollarán los cálculos necesarios para el diseño de la fundición a realizar de donde se fabricarían las placas tanto superior como inferior, así las placas que van a ser las encargadas de llevar las resistencias eléctricas y de hacer la presión necesaria sobre el molde, donde se alojará el futuro soporte vulcanizado.

La placa a fundir tiene un volumen de 625 cm³, resultando del cálculo de sus dimensiones:

A) Diseño del bebedero

Las dimensiones que debe llevar el bebedero, siendo la primera calculable, el diámetro del bebedero, así:

$$d = \frac{Re * \mu}{V_{m\acute{a}x}} \quad (2.10)$$

Se utilizará un número de Reynolds para un flujo turbulento, ya que, dicho flujo ocasiona aire atrapado, generando así, cámaras para el control de impurezas, dicho valor se toma de la Tabla 2.3:

Tabla 2.3. Tipos de flujo.

Número de Reynolds	Tipo de flujo
<2,000	Laminar
2,000 a 20,000	Turbulento
>20,000	Turbulento severo

Se toma el valor de 10,000, para cumplir con la necesidad de un flujo turbulento.

De la Tabla 2.4 se obtiene la viscosidad para el aluminio, que es el material para el cuál se han calculado los diferentes parámetros.

Tabla 2.4. Viscosidad cinemática.

Elemento	Viscosidad cinemática, cm ² /s (pulg ² /s)
Agua	0.0100 (0.0016)
Aluminio	0.0127 (0.0020)
Magnesio	0.0080 (0.0012)
Cobre	0.0040 (0.0006)

Se identifica según la Tabla 2.4, que el valor de la viscosidad del aluminio es de 0.0127 cm²/s.

Se recomienda que para coladas exitosas la velocidad del frente de metal no debe de superar los 0.60 m/s, sustituyendo estos valores en la Ec. 2.10 para obtener el diámetro inferior del bebedero, se obtiene:

$$d_2 = \frac{Re \cdot \mu}{v_{m\acute{a}x}} = \frac{10000 \cdot 0.0127}{60} = 2.12 \text{ cm.}$$

A continuación, se calcula la velocidad de entrada al molde de material fundido:

i) Velocidad de entrada al bebedero

Para el valor de h se toma la altura del cazo que es de 5 mm y g es el valor de la gravedad.

Según el teorema de Bernoulli, la velocidad en la entrada del cono es:

$$V_1 = \sqrt{2gh} \quad (2.11)$$

$$V_1 = \sqrt{2gh}$$
$$V_1 = \sqrt{2(981)(0.5)}$$

$$V_1 = 31.32 \text{ cm/s}$$

ii) Diámetro superior del bebedero

Se puede calcular el diámetro superior del bebedero, con la ecuación de continuidad de masa, debido a que los caudales en la parte superior e inferior son iguales:

$$v_1 * d_1^2 = v_2 * d_2^2 \quad (2.12)$$

Calculando entonces el diámetro superior (d_2) con la ecuación (2.12):

$$d_1 = \sqrt{\frac{v_2 * d_2^2}{v_1}} = \sqrt{\frac{60 * 2.12^2}{140.07}} = 2.93 \text{ cm.}$$

iii) Cálculo de la base del bebedero

El cálculo de la base del bebedero se realiza con el propósito de evitar turbulencia en el metal, las dimensiones de la base del bebedero son proporcionales a la altura de los canales y al diámetro inferior del bebedero. En la Fig. 2.9 se presenta esta proporción.

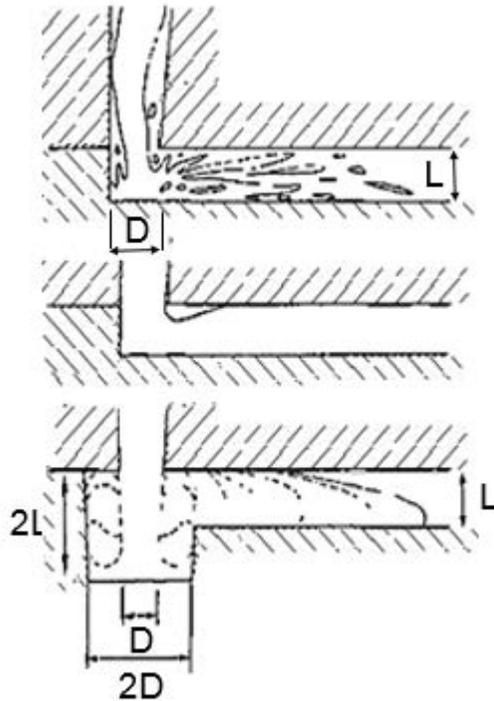


Fig. 2.9. Base del bebedero.

Para el primer valor de la base del bebedero se usa la siguiente fórmula:

$$2 * D_1 = 2 * 2.12 = 4.24 \text{ cm}$$

Para calcular la altura de la base del bebedero primero se calcula la altura del canal para ello se utiliza la Ec. 2.13:

$$A_{\text{canal de alimentación}} = l_c = \frac{\pi * \left(\frac{D_1^2}{4}\right)}{2} \quad (2.13)$$

$$A_{\text{canal de alimentación}} = l_c = \frac{\pi * \left(\frac{D_1^2}{4}\right)}{2} = \frac{\pi * \left(\frac{2.12^2}{4}\right)}{2} = 1.76 \text{ cm}^2$$

$$1.76 = \frac{\pi * l_c^2}{2}; l_c = \sqrt{1.12} = l_c = 1.06 \text{ cm.}$$

Para calcular la altura de la base del bebedero (B_{beb}), se usa la Ec. 2.14:

$$B_{beb} = 2 * L \quad (2.14)$$

$$B_{beb} = 2 * 1.06 = 2.12 \text{ cm}$$

Calculando la base del bebedero la cual es, 2 veces el diámetro de la parte más angosta del bebedero.

$$B_{beb} = 2 * d_2 = 2 * 1.39 = 2.78 \text{ cm}$$

iv) Altura del bebedero

Considerando que no existen pérdidas por fricción la altura del bebedero se calcula mediante la Ec. 2.15:

$$h = \frac{2HC - P^2}{2C} = H - \frac{P^2}{2C} \quad (2.15)$$

donde:

h es la altura del bebedero,

c es la altura total de la cavidad a reproducir,

P es la distancia o altura de la cavidad respecto del canal de alimentación,

H se toma como una distancia promedio debido a las contrapresiones que puede generar el metal líquido I momento de realizar la colada; es decir, se toma en consideración si la cavidad del molde tiene elementos por arriba del nivel del canal de alimentación.

Sustituyendo en la Ec. 2.15, queda:

$$h = \frac{2HC - P^2}{2C} = H - \frac{P^2}{2C}$$

$$h = \frac{2(0.1)(0.01) - 0^2}{2(0.01)}$$

$$h = 0.1 \text{ m.}$$

B) Diseño de la mazarota

Para el volumen mínimo de la mazarota, se utiliza el criterio de volumen con la Ec. 2.16:

$$V_{\text{maz}} = V_{\text{pieza}} * c * k \quad (2.16)$$

donde:

c es la contracción volumétrica del aluminio 1060, que es de 7.1 %, y

k es el factor de seguridad, el cual está entre 1 y 3, así tomando un valor de 2.

Sustituyendo en la Ec. 2.17:

$$V_{\text{maz}} = 625,000 * 0.07 * 2 = 87,500 \text{ mm}^3$$

Por lo cual, se puede determinar que para una mazarota cilíndrica abierta a la atmósfera y una altura de 9 cm, se obtiene un diámetro de 35.18 mm; es decir que con un rebosadero cónico de 35 mm de diámetro en la base y en la parte superior de 40 mm se solventa la posible formación de rechupe en la superficie de la pieza.

C) Tolerancias dimensionales

Estas se definen según la fundición en particular, el tipo de molde, modelo utilizado, tolerancias y acabados finales.

Se deben tomar en cuenta ciertos criterios, para la correcta fabricación del molde, que a continuación se presentan:

i) Ángulos de desmodelado.-

En la Tabla 2.5 se presenta los distintos ángulos de salida en función de la altura del modelo.

Se tomará como ángulo de salida 3° ya que la altura del modelo es de 10 mm.

Tabla 2.5. Ángulos de desmodelado.

Altura del modelo, mm	Ángulo de salida
De 1 a 10	3°
11 a 20	2°
21 a 35	1°
36 a 65	0.75°
66 a 150	0.50°
151 a 250	1.5 mm
251 a 400	2.5 mm
401 a 600	3.5 mm
601 a 800	4.5 mm
801 a 1000	5.5 mm

ii) Contracción.-

En la Tabla 2.6 se presenta el porcentaje de contracción volumétrica por solidificación para diferentes metales de fundición, debido a la contracción por solidificación y contracción del sólido. Para el aluminio se tiene un valor de 6.6 %.

Tabla 2.6. Contracción volumétrica.

Metal puro o aleación	Contracción volumétrica por solidificación, %
Aluminio	6.6
Al-4.5% Cu	3.3
Al-12% Si	3.8
Acero al carbono	2.5-3
Acero al 1% carbono	4
Cobre	4.9
70% Cu-30%Zn	4.5
90%Cu-10%Al	4
Fundición de hierro gris	2.5
Magnesio	4.2
Fundición de hierro blanco	4-5.5
Zinc	6.5

Así, para calcular el porcentaje de contracción lineal debido a la solidificación y enfriamiento se utiliza la Tabla 2.7 en la que se presenta la contracción lineal dada según el tipo de material utilizado, la contracción para el aluminio en piezas pequeñas oscila en el intervalo de 13 a 15 mm por cada 1000 mm de la pieza, así se ha optado por tomar el valor medio de 14 mm.

Para obtener el porcentaje de contracción lineal se observa en la Tabla 2.7.

$$\text{Aumento por metro} = 1000 \text{ mm} + 14 \text{ mm} = 1014 \text{ mm}$$

Se quiere conocer por cuanto aumenta cada milímetro en un metro por lo cual se hace lo siguiente.

$$\text{Aumento de cada milímetro en un metro} = \text{Escala}_{\text{modelo}} = \frac{1014}{1000} = 1.014$$

Este valor sería lo que se debe dimensionar el modelo, para poder llegar a las medidas necesarias cuando este se contraiga.

Tabla 2.7. Contracción de la fundición.

Aleación	Dimensiones del modelo piezas macizas mm	Piezas con machos, mm	Contracción, mm/m
Fundición gris	Hasta 600	Hasta 600	10
	De 630 a 1200	De 630 a 920	8.5
	Más de 1200	Más de 920	7
Fundición blanca			15 - 16
Acero	Hasta 600	Hasta 460	20
	De 630 a 1800	De 480 a 1200	15.5
	Más de 1800	De 1220 a 1675	13
		Más de 1675	11
Latón con 37% de zinc			16
Aluminio y sus aleaciones	Piezas pequeñas	Pequeñas	13 - 15
	Piezas medianas	Medianas	12 - 13
	Piezas grandes	Grandes	11 - 12
Aleaciones de magnesio			11 - 14
Aleación de plomo y estaño			2 - 3

C) Empuje metalostático

Se asume que el empuje metalostáticos principal es el que el metal ejerce sobre la semi-caja superior del molde, para lo cual se utiliza la Ec. 2.17, así:

$$F = S * h * \delta \quad (2.17)$$

donde:

F es el empuje metalostático,

S es el área de la superficie en dm^2 ,

h es la profundidad del centroide de la pared bajo el nivel del líquido en dm, y

δ es el peso específico o densidad del metal.

Para realizar dicho cálculos se necesita conocer el material a fundir y las dimensiones de la pieza. Así, de la Tabla 2.8 se tomó el peso específico del aluminio, el cual es el metal que se fundirá:

Tabla 2.8. Peso específico de metales [11].

Metal	δ
Aluminio	2.7
Hierro	7.7
Níquel	8.86
Plomo	11.35
Estaño	7.3

Así, se seleccionó un $\delta = 2.7$. Además la superficie superior de la pieza es de 2.5×2.5 dm de lado.

Sustituyendo en la Ec. 2.17, se obtiene:

$$F = S * h * \delta \text{ kgf}$$

$$F = S * h * \delta \text{ kgf}$$

$$F = (2.5 \times 2.5)(0.9)(2.7) \text{ kgf}$$

$$F = 15.19 \text{ kgf.}$$

A partir del resultado anterior se determina que se deberá asegurar la caja superior con la inferior mediante tornillo o pasadores, sin necesidad de colocar contrapeso.

Finalmente, el diseño térmico y mecánico demuestra la funcionalidad de la máquina vulcanizadora de soportes de hule, así teniendo la confianza que los sistemas son funcionales, se procede a calcular los costos de fabricación, que a continuación en el capítulo tres se presentarán.

3. ANÁLISIS TÉCNICO Y COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

En este capítulo se desarrollará la descripción de los diferentes procesos involucrados en la construcción de la máquina vulcanizadora de soportes de hule, procesos y técnicas a utilizar para hacer cada sistema involucrado.

También, se presenta la descripción de los costos calculados desde los materiales a utilizar según cotizaciones en ferreterías locales, hasta las horas hombre para la fabricación de la máquina vulcanizadora de soportes de hule.

3.1. ANÁLISIS TÉCNICO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DEL EQUIPO

Se realizará una descripción de cada uno de los procesos involucrados en la construcción de las partes de la máquina vulcanizadora de soportes de hule, se presentará en orden numérico según el dibujo de conjunto (ver, plano en conjunto del Anexo B, a partir del número uno y así consecutivamente.

3.1.1. CONSTRUCCIÓN PIEZA UNO, ESTRUCTURA BASE

La estructura base estará compuesta de dieciséis piezas de tres tipos diferentes, Fig. 3.1, cada una con un número de piezas según la necesidad. Ocho piezas de un tubo rectangular con medidas de una pulgada por media pulgada, de un espesor de un octavo de pulgada, como se encuentra de esa medida, solo es necesario cortar dichas piezas a la medida necesaria, los que van a servir para formar los marcos principales de la base.

Cuatro piezas de un tubo cilíndrico, llamado comúnmente como caño, con medidas de una pulgada, solo se procederá a cortarlas de la medida necesaria de un tubo de seis metros de largo, mediante el tipo de corte más adecuado, por ejemplo, por medio de arranque de material con una sierra o esmeril angular.

Cuatro piezas rectangulares de una medida similar a la primera pieza descrita anteriormente, pero de una longitud menor.

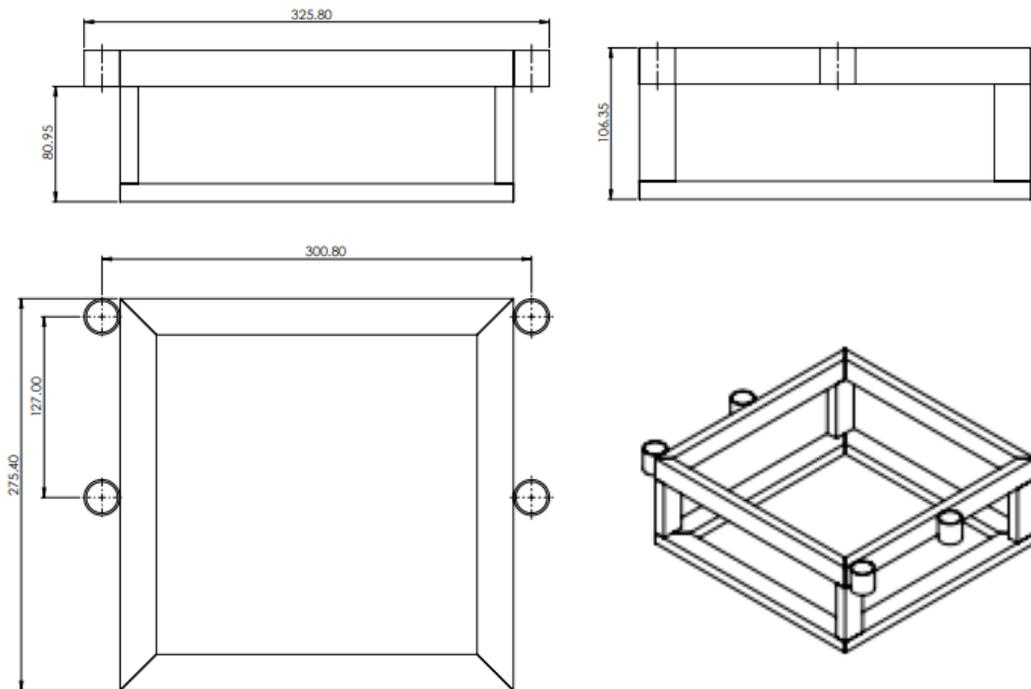


Fig. 3.1. Estructura base y sus vistas.

3.1.2. PLACAS PORTA RESISTENCIAS

Serán las encargadas de alojar las resistencias térmicas, también de ejercer la presión sobre los moldes que en su interior van a tener la masa de caucho a ser vulcanizada.

Dos piezas similares de fundición de aluminio, de una forma cuadrada y en su interior una forma como de espiral, característico de las resistencias térmicas más comunes, utilizadas en cocinas de corriente eléctrica:

- 1) Se elaborará el modelo por medio de impresión 3D.

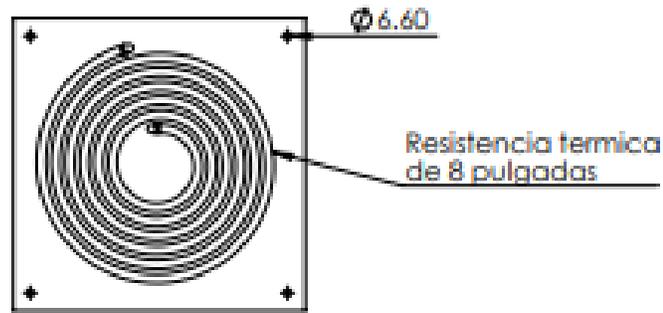


Fig. 3.2. Modelo impreso en 3D.

- 2) Se procederá a mezclar la arena con bentonita y agua para que sea maleable y a la vez no se espolvoree a la hora de moldear.
- 3) Se llenarán las cajas de arena, en este caso son dos cajas de arena ya que, el modelo no necesita mayor complicación para su elaboración.

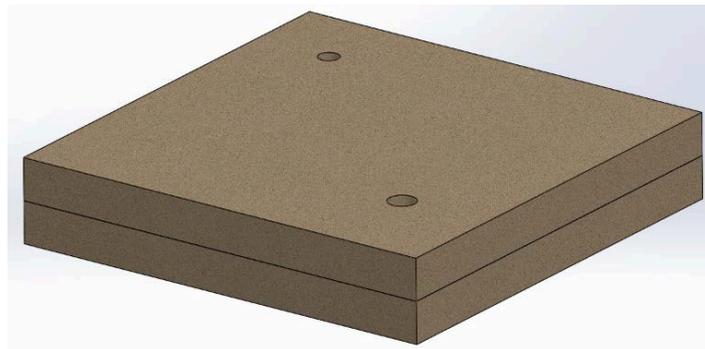


Fig. 3.3. Cajas con arena.

- 4) Se colocará el modelo sobre la caja de arena inferior y luego, se colocará la caja de arena superior Fig. 3.4, quedando entre ellas nuestro modelo, así, tomando la forma del modelo nuestra arena respectivamente.

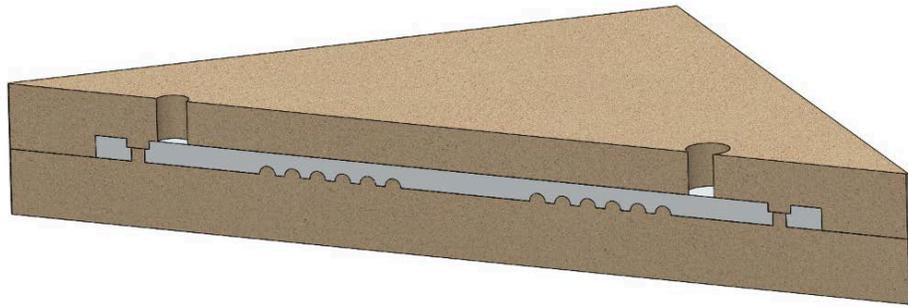


Fig. 3.4. Cajas de arena conteniendo en su interior el modelo.

- 5) Se procederá a fabricar la entrada al molde y su mazarota Fig. 3.5, y verificar que no haya defectos en la forma del vaciado donde se alojará el aluminio fundido para que tome dicha forma deseada.

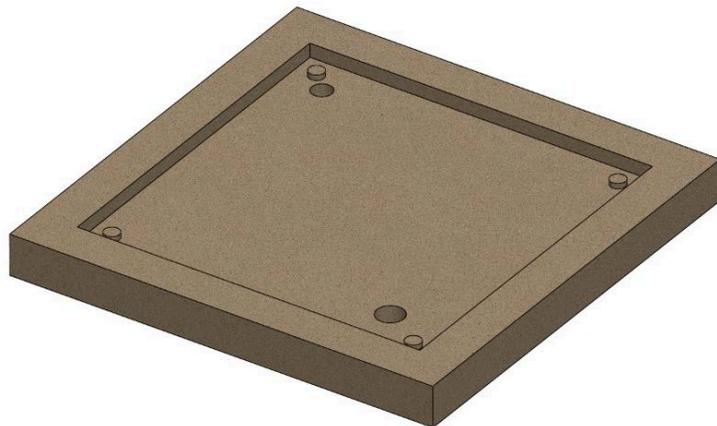


Fig. 3.5. Entrada y mazarota del molde.

- 6) Se procederá a fundir chatarra de aluminio a una temperatura de $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ que es la temperatura de fusión del aluminio para así, ser vaciado.
- 7) Se procederá a vaciar el aluminio líquido dentro de nuestro molde hasta que se logre llenar la mazarota y ahí, esperar que se dé el fenómeno de rechupe y su posterior solidificación.

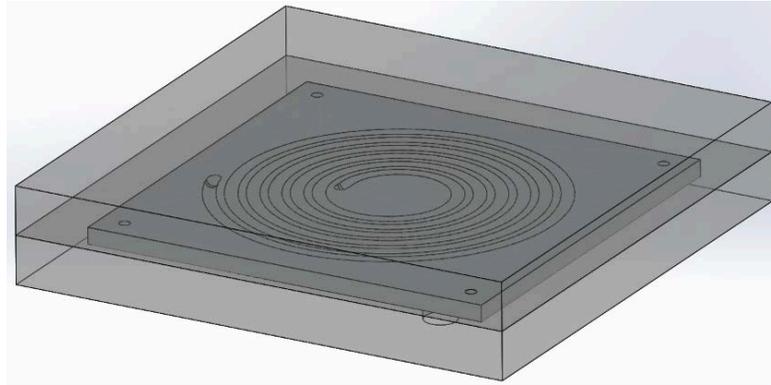


Fig. 3.6. Vaciado de aluminio líquido dentro del molde.

- 8) Proceder a remover la caja de arena superior (ver, Fig. 3.7) y desmoronar el molde, así se continúa con el retiro de la pieza finalizada, para así retirar rebaba y excesos de material producto de la mazarota y la entrada al molde.

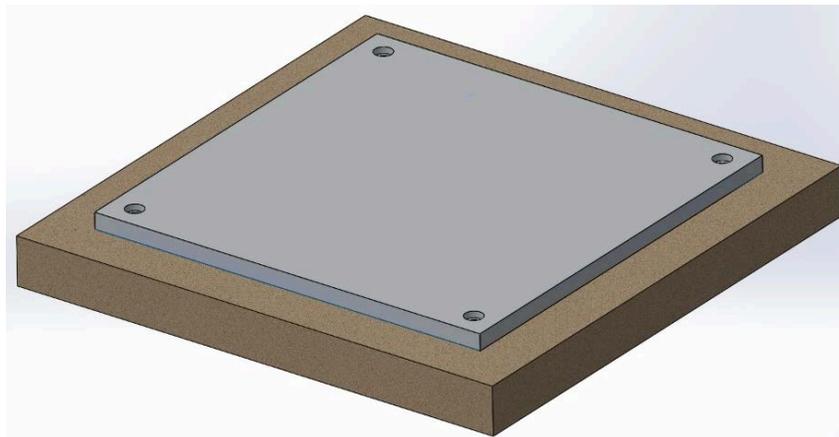


Fig. 3.7. Caja inferior con pieza solidificada.

3.1.3. ESTRUCTURA DE EJES

Será el sistema en el cual se deslizará la placa que va a portar la resistencia térmica y al mismo tiempo comprimir el caucho dentro de los moldes, dispondrá de nueve piezas, de cinco diferentes medidas y algunas de una forma diferente a las otras, así:

- ✓ Dos piezas rectangulares de una medida de una pulgada por media pulgada, cortadas de un tubo de seis metros por medio de un corte de arranque de material por medio de un esmeril angular.
- ✓ Dos piezas de tubo circular de una medida de siete octavos, cortadas de un tubo con un largo de seis metros y otras dos de la misma medida de tubo, pero con una longitud mayor, según los planos.
- ✓ Dos piezas que van a servir de sujeción con una medida de una pulgada, pero de una forma un poco compleja para su funcionamiento, ya que en uno de sus extremos lleva una parte redondeada, que serviría para conectar los ejes entre sí.
- ✓ Una pieza de un tubo de una pulgada que sería la encargada de unir las piezas redondeadas, y se utiliza para darle una mayor rigidez a la estructura de los ejes.

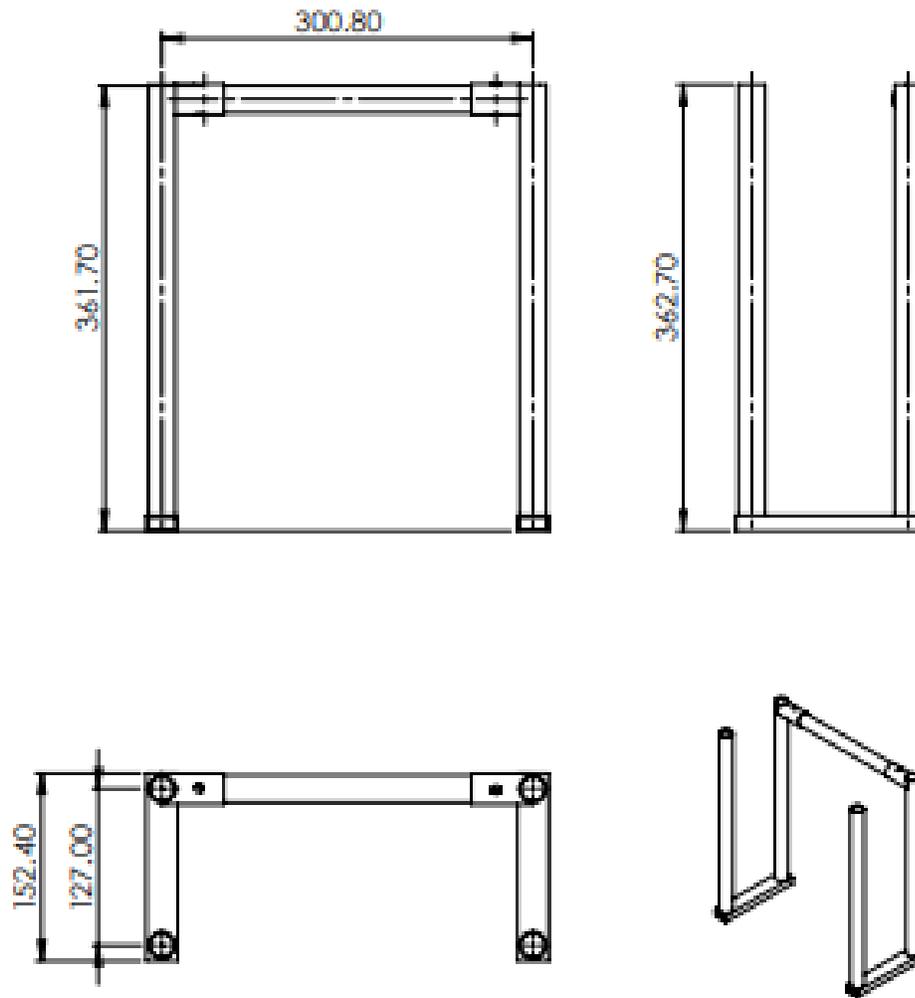


Fig. 3.8. Estructura de ejes.

3.1.4. ESTRUCTURA BASE SUPERIOR

Constará de 15 piezas de cuatro tipos distintos, esta estructura será la encargada de conectar el mecanismo de palancas y la placa porta resistencias, además será prácticamente la encargada de transferir la fuerza ejercida sobre la manivela a los moldes que contendrán el caucho a vulcanizar, estas son:

- ✓ Cuatro piezas de una forma de triángulo rectángulo con un agujero al centro para un perno de una medida de un cuarto de pulgada, con un espesor de un

octavo de pulgada, aprovechando que esa pletina será usada en otras piezas, se usará dicha lámina.

- ✓ Cuatro piezas de tubo rectangular de una pulgada con un corte a cuarenta y cinco grados para así, formar un marco unido por medio de soldadura.
- ✓ Cuatro tubos redondos de una medida de una pulgada, cortados por medio de un esmeril angular a la medida deseada por donde pasarían los ejes donde va a deslizarse.
- ✓ Dos uniones de biela con una forma característica, ya que, en un extremo serán redondeadas y en su otro extremo será recto, con un espesor de un octavo de pulgada, pero con una abertura para que ahí, pueda ensamblar la siguiente pieza a describir.
- ✓ Una pieza compuesta de dos ángulos de una pulgada soldados entre sí, para así formar una forma en T, con dos aberturas, que servirán para colocar las uniones en dichas aberturas.

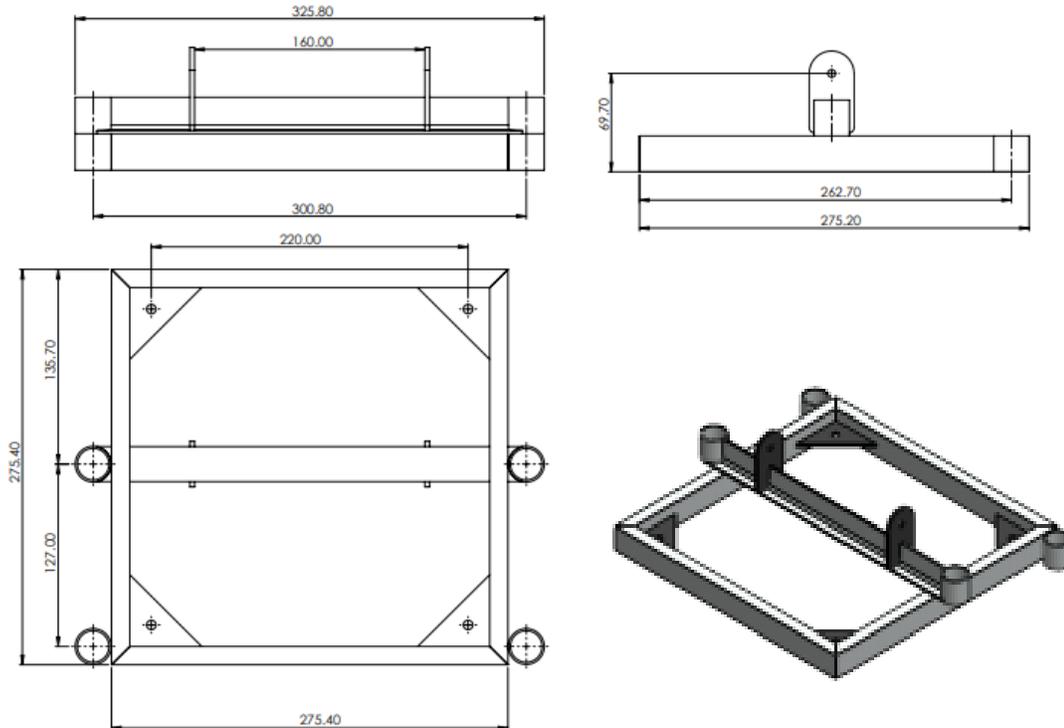


Fig. 3.9. Estructura base superior.

3.1.5. BIELA 1

Estas serán las encargadas de hacer una unión entre el sistema de palancas y la unión biela redondeada-estructura base superior.

Por lo tanto, se utilizarán dos piezas en sus dos extremos redondeadas por una mejor apariencia, en sus extremos dos agujeros por cada biela para colocar pernos de un cuarto de pulgada.

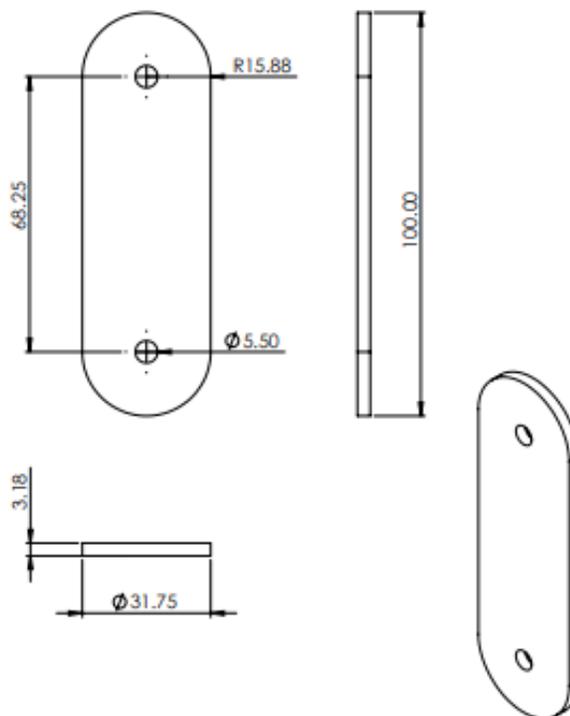


Fig. 3.10. Biela 1.

3.1.6. BIELA L

Es la parte principal del sistema de compresión, construida de una pletina de un octavo de pulgada, cortada por medio de un esmeril angular de una lámina completa de dicho espesor, y redondeada en sus extremos por estética y para evitar accidentes con esquinas afiladas. Las cuales son:

- ✓ Dos piezas en forma de L, pero con un ángulo de ciento treinta y nueve grados internos, así, de una forma más cómoda se puede aplicar las fuerzas de compresión hacia el molde de este trabajo.
- ✓ Dicha pieza ha sido sometida a estudio para comprobar que soportaría los esfuerzos combinados que va a soportar para lograr el objetivo de ser duradera y cumplir con su función de transmitir la fuerza al sistema de resistencias.

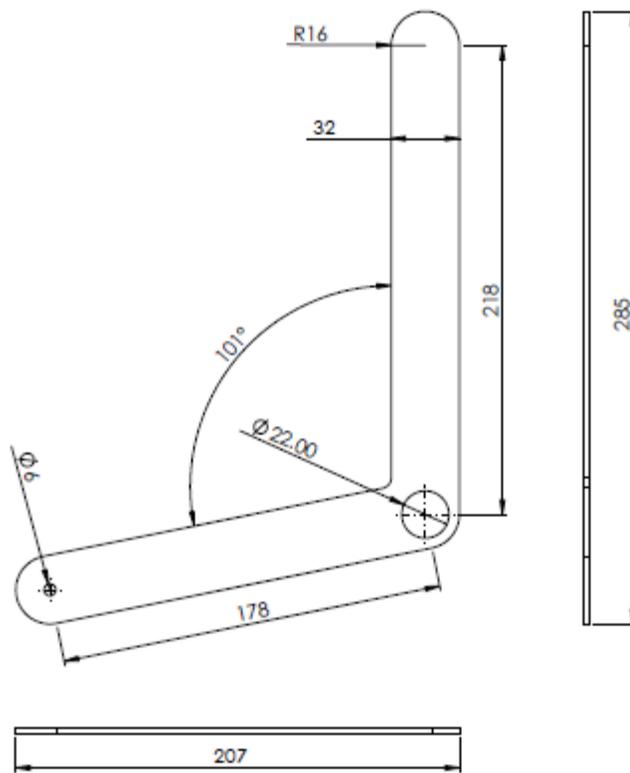


Fig. 3.11. Biela L.

3.1.7. MANGO

Este se utilizará directamente para dos funciones, servir de separador de las dos bielas en L y a la vez, para colocar las manos para efectuar las fuerzas

para comprimir o levantar la placa superior donde se alojará la resistencia térmica.

Por lo tanto, se utilizará una pieza de tubo cilíndrico cortada por medio de un esmeril angular de un tubo que viene de seis metros, soldada a las bielas L en sus extremos para una fijación necesaria para resistir la fuerza aplicada por el operador.

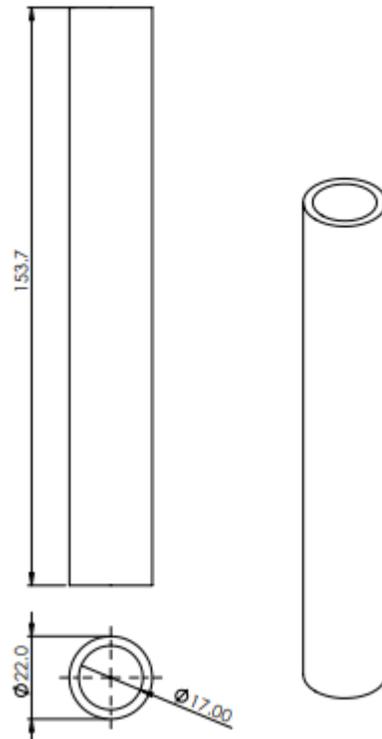


Fig. 3.12. Mango.

3.1.8. TUBOS CON MARCO

Será una matriz de 36 tubos cortados a la misma longitud, los cuales, servirán de molde para obtener los soportes de hule, el cual es el objetivo de este trabajo.

Un sólo sistema de tubos encargados de alojar en su interior individual, cada uno, la masa necesaria de caucho, soldados entre si y a su alrededor un

marco de cuatro pletinas (ver, Fig. 3.13) que se podrían fabricar de la misma lámina de donde se cortaron las bielas L.

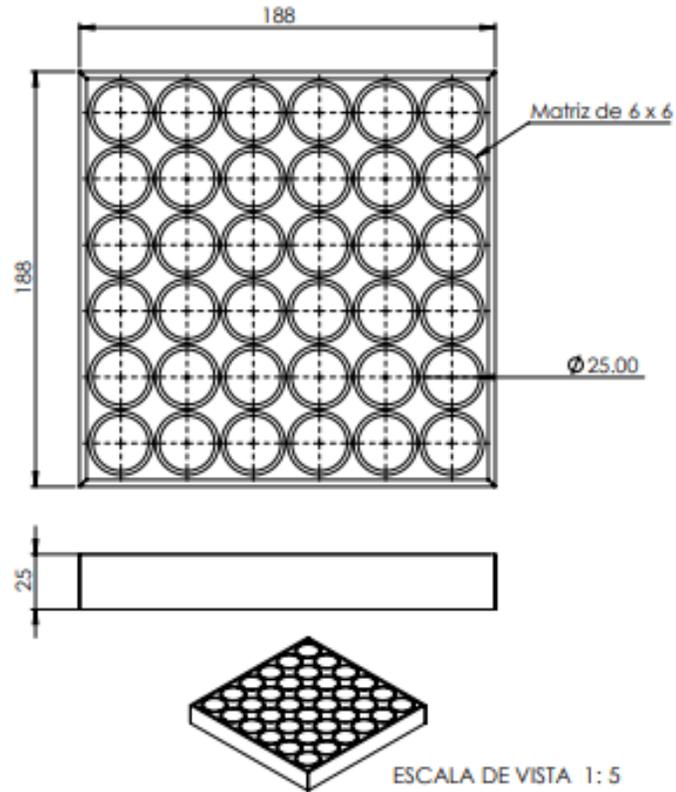


Fig. 3.13. Tubos con marco.

Finalmente en la Fig. 3.14 se presenta un plano de ensamble de la máquina vulcanizadora.

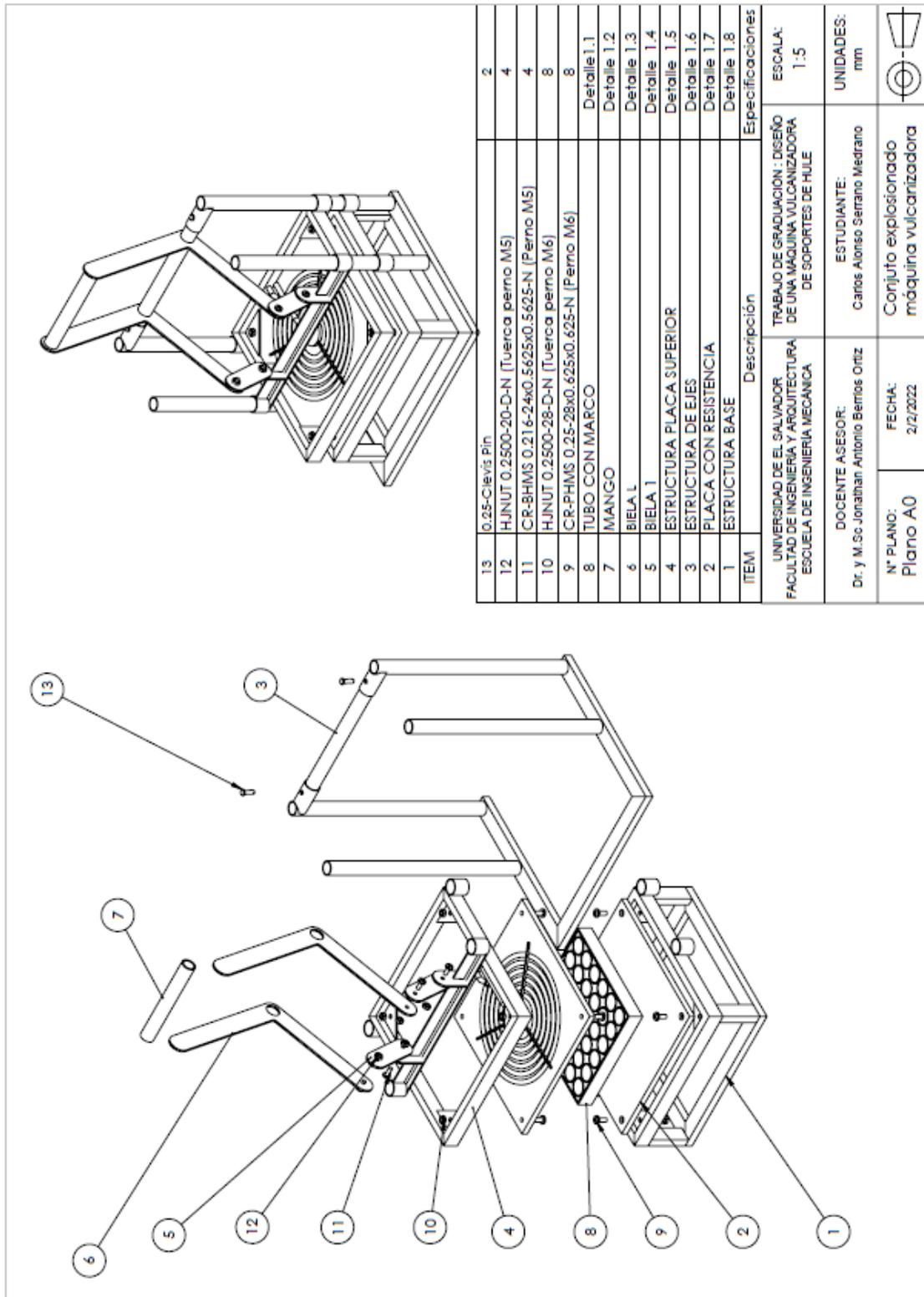


Fig. 3.14. Ensamble de la máquina vulcanizadora.

3.2. COSTOS

Los costos de producción de la máquina vulcanizadora de soportes de hule se dividirán en dos:

- a) Costos de materiales
- b) Costos de mano obra

En la Tabla 3.1 se presenta los costos de los materiales a utilizar, se ha tratado de fabricar una máquina lo más simple posible, considerando muchos de esos materiales de tal manera que se encuentren directamente solo de cortarlos de un material completo, por ejemplo, las tuberías circulares, se ha tratado la manera de usar tubos de medidas convencionales, para no necesitar maquinari y así, reducir su costo de producción.

Tabla 3.1. Costos de materiales de máquina vulcanizadora de soportes de hule.

Material	Costo unitario, \$	Cantidad	Total, \$
Tubo rectangular de 1 x 1 ½ pulg	18.50	1	18.50
Tubo cilíndrico 1 pulg	29.90	1	29.90
Tubo cilíndrico 7/8 pulg acero inoxidable	48.70	1	48.70
Tubo cuadrado 1 pulg	12.75	1	12.75
Ángulo de 1 pulg	15.50	1	15.50
Lámina de 1/8 pulg	70.00	1	70.00
Electrodos E 6013	1.25	2	2.50
Discos de corte	1.75	5	8.75
Broca HSS ¼ pulg	1.10	1	1.10
Disco de desbaste	2.20	1	2.20
Spray alta temperatura	4.95	1	4.95
Bentonita	13.95	1	13.95
Chatarra de aluminio	----	-	----
Modelo impreso	25.00	1	25.00
Cilindro de gas propano	14.00	1	14.00
Total			267.80

En la Tabla 3.2 se presenta los costos de fabricación concernientes a mano de obra calificada, basados en un salario de 800.00 dólares americanos mensuales, eso se dividirá en horas laborales, las cuales son 40 horas semanales, lo que da un promedio de \$5.00 por hora trabajada.

Tabla 3.2. Costos de mano de obra.

Operación	Tiempo de operación, h	Costo unitario, \$	Cantidad operarios	Costo total por operación, \$
Corte de tubos y ángulo	2	5.00	1	10.00
Corte de lámina	4	5.00	1	20.00
Soldaduras	10	5.00	1	50.00
Agujear	1	5.00	1	5.00
Colar arena	3	5.00	1	15.00
Preparar cajas de arena	2	5.00	1	10.00
Fundición de aluminio	2	5.00	1	10.00
Vertido de metal	1/2	5.00	1	2.50
Desmolde y remoción de rebabas	2	5.00	1	10.00
Armado y pintado de máquina	4	5.00	1	20.00
Total				152.50

En la Tabla 3.3 se presenta los costos relacionados con los materiales consumibles durante la fabricación de las máquinas y hornos, sus respectivas depreciaciones y gastos de corriente eléctrica.

Tabla 3.3. Otros costos de fabricación.

Elemento	Costo total, \$
Electricidad	150.00
Depreciación horno de fundición	30.00
Depreciación soldador	20.00
Depreciación esmeril angular	5.00
Depreciación instalaciones y otros	40.00
Aceite lubricante	5.00
Total	250.00

En la Tabla 3.4 se presenta los costos totales implícitos en la fabricación de la máquina vulcanizadora de soportes de hule.

Tabla 3.4. Costos totales de fabricación de la máquina vulcanizadora.

Costo por rubro de fabricación	Total por costo, \$
De materiales	267.80
De mano de obra	152.50
Otros	250.00
Total costos	670.30

CONCLUSIONES

Habiendo concluido el trabajo de graduación sobre una propuesta de diseño de una máquina vulcanizadora de soportes de hule para uso didáctico, se puede concluir que:

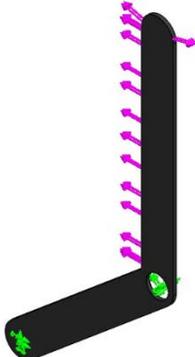
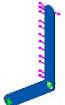
- ✓ La información bibliográfica recopilada ha sido fundamental para el desarrollo y comprensión de los temas correspondientes del diseño de la máquina vulcanizadora, información primordial para la investigación de la mezcla necesaria para el correcto vulcanizado en el tiempo especificado, la cual consta de caucho y azufre, y para su rápida vulcanización el uso de un acelerante.
- ✓ Que con el diseño térmico y mecánico realizado, se garantiza un correcto vulcanizado, ya que, se ha considerado en todo momento el proceso de vulcanizado, aún a pesar de las posibles variaciones en la conductividad térmica de las placas por las porosidades generadas en el proceso de fundición, variaciones de temperatura y velocidad del aire que afectaría la transferencia de calor por convección forzada.
- ✓ Que con el análisis de la factibilidad de construcción y los costos de dicha fabricación es accesible su construcción debido a que está diseñada de la forma más simple y de fácil acceso de los componentes seleccionado, lo que hace de la máquina vulcanizadora de soportes de hule una fabricación factible y económica.

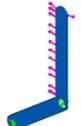
BIBLIOGRAFÍA

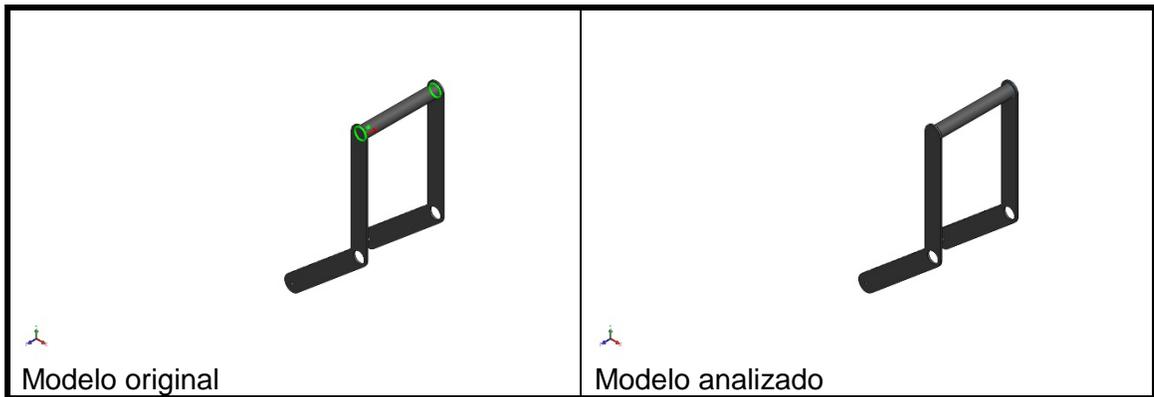
- [1] Fragoso Pisiotti, G. A. (2009). Diseño y construcción de una máquina vulcanizadora automatizada. Universidad de San Buenaventura, Bogotá DC.
- [2] Urrego Yepes, W. (2010). Efecto del sistema de vulcanización en la cinética de reacción y en las propiedades físico-químicas de un caucho natural, Grupo de investigación en materiales de ingeniería, Ingeniería de diseño de producto, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- [3] Gacitua, D. (2009). Caucho natural y sintético, Facultad de Química Carrera de Química y Farmacia Doctorado y Magister en Química www.quimica.uc.cl
- [4] Fernández Torres, A. (2010). Bajo la dirección de los doctores Luis González Hernández Juan López Valentín. Vulcanización de elastómeros con peróxidos orgánicos. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Químicas Departamento de Química Física Madrid.
- [5] ASTM F3184-89 (reapproved in 2001) Standard test methods for rubber- Evaluation of NR (Natural Rubber).
- [6] Fernández Torres. A. (2010). Vulcanización de elastómeros con peróxidos orgánicos. Universidad Complutense de Madrid facultad de ciencias químicas.
- [7] Urrego-Yepes, W., Velásquez-Restrepo, S. M., Giraldo-Vásquez, D. H., Posada-Correa, J. C. (2017). Revisión-efecto del sistema de vulcanización en la red entrecruzada y en la reacción química de vulcanización del caucho natural. Revista EIA, vol. 14, núm. 28, julio-diciembre, pp. 99-115 Escuela de Ingeniería de Antioquia Envigado, Colombia.
- [8] García, Ana (2012). Técnicas del moldeo del caucho. https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/DFM/DMP P/DMPP01/es_DFM_DMPP01_Contenidos/website_2184_inyeccion_de_caucho.html
- [9] Yunus A. Cengel (2011) transferencia de calor y masa cuarta edición. Universidad de Nevada Mcgraw Hill
- [10] Richard G. Budynas y Keith Nisbett (2012) Diseño en ingeniería mecánica de shigley. Novena edición. Missouri University of science and technology. Mcgraw Hill.
- [11] Capello, E. (1974) *Tecnología de la Fundición*, Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona, 3ra Edición.

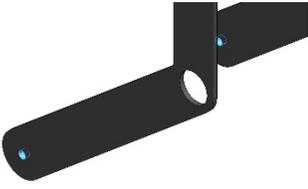
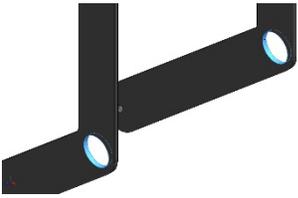
ANEXOS

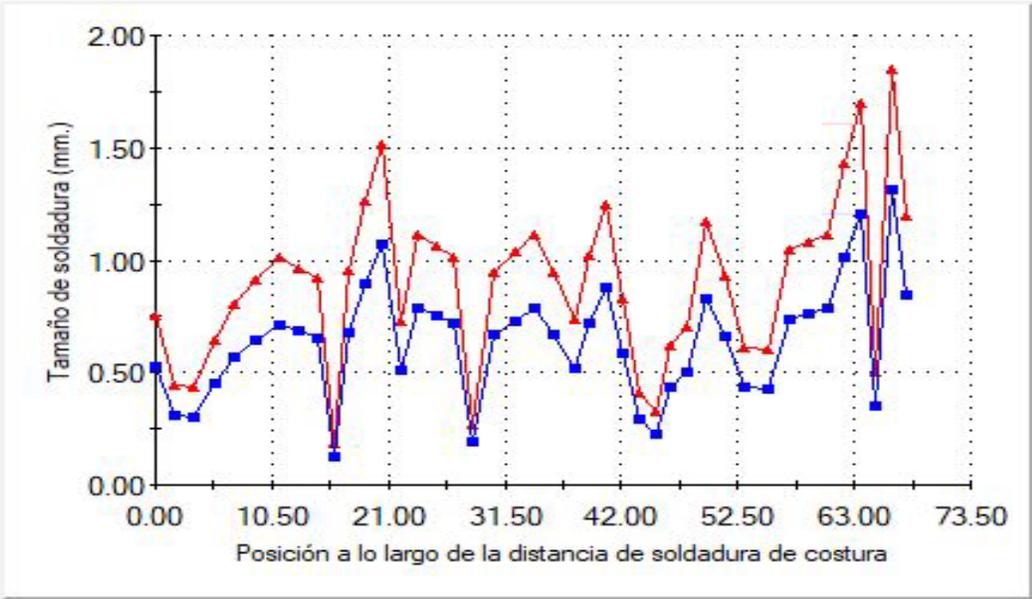
ANEXO A: SIMULACIÓN DEL DISEÑO

			
Nombre del modelo: BIELA L Configuración actual: Predeterminado			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo 1 	Sólido	Masa: 0.292374 kg Volumen: 4.11795e-05 m ³ Densidad: 7100 kg/m ³ Peso: 2.86527 N	D:\MAQUINA DE CAUCHO\SIMULACION DE ESFUERZOS\BIELA L.SLDPRT Aug 5 13:19:00 2021

Referencia de modelo	Propiedades		Componentes
	Nombre:	Hierro dúctil	Sólido 1 (Redondeo 1) (BIELA L)
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal	
	Criterio de error predeterminado:	Desconocido	
	Límite elástico:	5623.58 kg _f /cm ²	
	Límite de tracción:	8786.84 kg _f /cm ²	
	Módulo elástico:	1.22366e+06 kg _f /cm ²	
	Coefficiente de Poisson:	0.31	
	Densidad:	0.0071 kg _f /cm ³	
	Módulo cortante:	785181 kg _f /cm ²	
	Coefficiente de dilatación térmica:	1.1e-05 /°C	
Datos de curva: N/A			

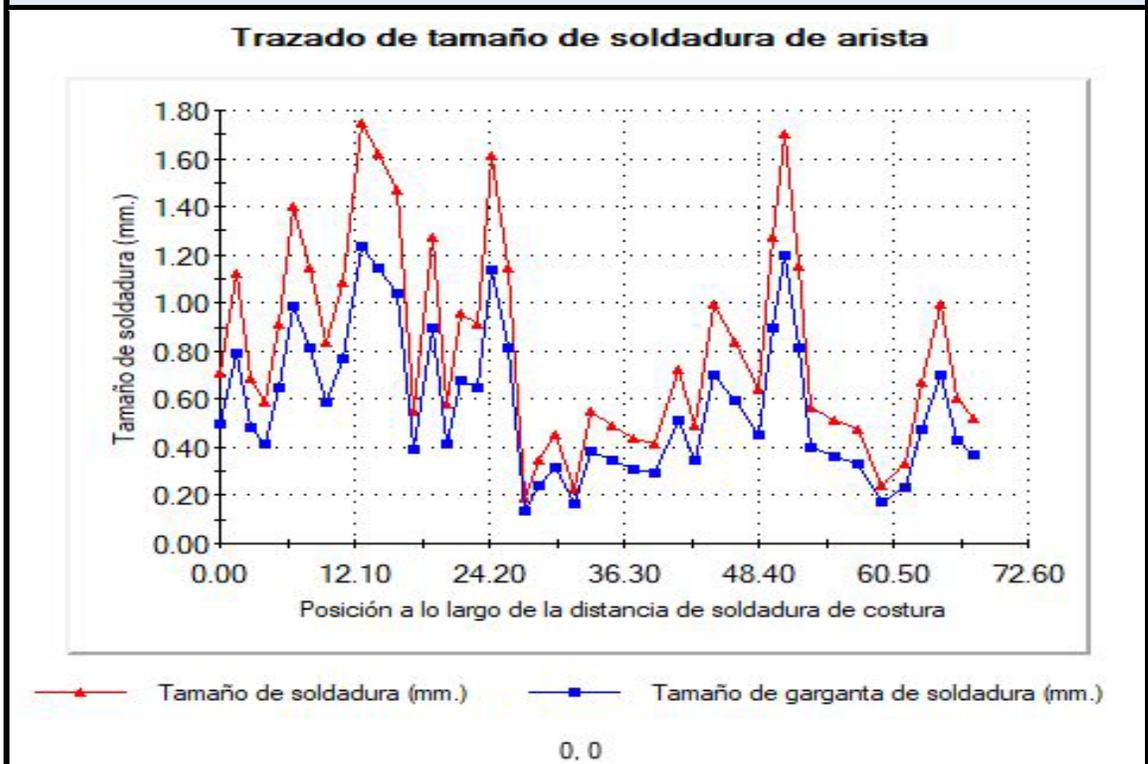


Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades:	2 cara(s)	
		Tipo:	Geometría fija	
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción, N	-283.869	719.899	-4.432e-05	773.845
Momento de reacción, N·m	-3.270e-06	-7.941e-07	0.043	0.043
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Bisagra fija-2		Entidades:	2 cara(s)	
		Tipo:	Bisagra fija	
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción, N	774.199	-719.899	4.411e-05	1057.18
Momento de reacción, N·m	0	0	0	1e-33

Referencia de modelo	Detalles del conector		
 <p>Conector de soldar por aristas-5.</p>	Tipo:	Redondeo, de un único lado	
	Estándar:	Estándar norteamericano	
	Factor de seguridad:	3	
	Electrodo:	E60	
	Fuerza de soldadura:	2.730e+08 N/m ²	
	Tamaño de soldadura:	0.25 pulg	
	Terminando pieza:	MANGO-1	
	Pieza con relación de posición:	BIELA L-2	
Gráfico de tamaño de soldadura de arista			
<p style="text-align: center;">Trazado de tamaño de soldadura de arista</p>  <p style="text-align: center;">0.0</p>			
Fuerzas del conector			
Tipo	Mín.	Máx.	Media
Tamaño de soldadura, mm	0.18057	1.852	0.908
Tamaño de garganta de soldadura, mm	0.12768	1.310	0.642
Fuerza conjunta normal, N	-2660.1	2786.2	66.592
Fuerza del eje de corte-soldadura, N	-9062.4	10284	330.81
Fuerza normal de corte-superficie, N	-416.56	627.57	7.300
Momento flector, N·m	-21.771	25.342	-1.182

Referencia de modelo	Detalles del conector	
 <p>Conector de soldar por aristas-6.</p>	Tipo:	Redondeo, de un único lado
	Estándar:	Estándar norteamericano
	Factor de seguridad:	3
	Electrodo:	E60
	Fuerza de soldadura:	2.730e+08N/m ²
	Tamaño de soldadura:	0.25 pulg
	Terminando pieza:	MANGO-1
	Pieza con relación de posición:	BIELA L-3

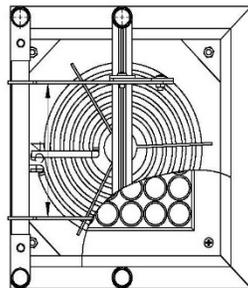
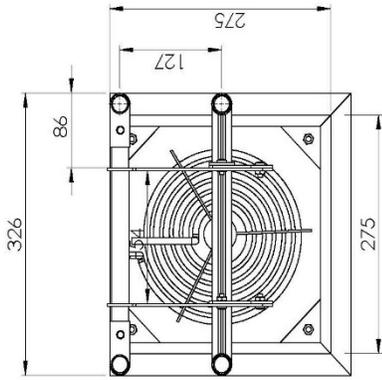
Gráfico de tamaño de soldadura de arista



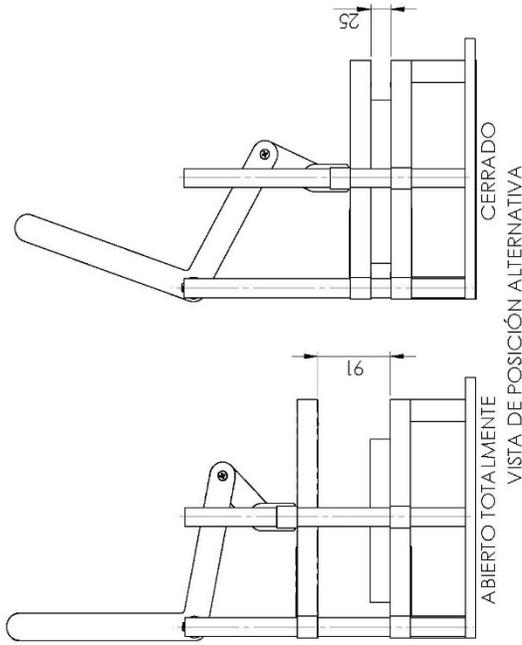
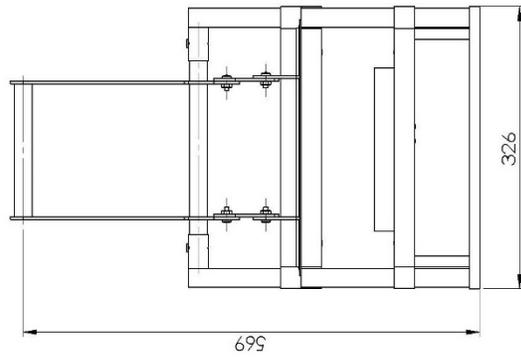
Fuerzas del conector

Tipo	Mín.	Máx.	Media
Tamaño de soldadura, mm	0.1902	1.7501	0.822
Tamaño de garganta de soldadura, mm	0.135	1.2375	0.581
Fuerza conjunta normal, N	-3548.8	2407.5	-61.337
Fuerza del eje de corte-soldadura, N	-9747.3	6543.3	-585.46
Fuerza normal de corte-superficie, N	-907.41	789.5	4.055
Momento flector, N·m	-23.154	19.551	-0.442

ANEXO B: PLANOS



VISTA DE SECCIÓN PARCIAL



13	0.25-Clevis Pin	2
12	HJNUT 0.2500-20-D-N (Tuerca perno M5)	4
11	CR-BHMS 0.216-24x0.5625x0.5625-N (Perno M5)	4
10	HJNUT 0.2500-28-D-N (Tuerca perno M6)	8
9	CR-PHMS 0.25-28x0.625x0.625-N (Perno M6)	8
8	Aluminio 1060	Detalle 1.1
7	Mango	Detalle 1.2
6	BIELA 1	Detalle 1.3
5	BIELA 1	Detalle 1.4
4	ESTRUCTURA PLACA SUPERIOR	Detalle 1.5
3	ESTRUCTURA DE EJES	Detalle 1.6
2	PLACA CON RESISTENCIA	Detalle 1.7
1	ESTRUCTURA BASE	Detalle 1.8
ITEM	Descripción	Especificaciones

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO
 DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA
 DE SOPORTES DE HULE

ESCALA:
 1:5

DOCENTE ASESOR:
 Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berríos Ortiz

ESTUDIANTE:
 Carlos Alonso Serrano Medrano

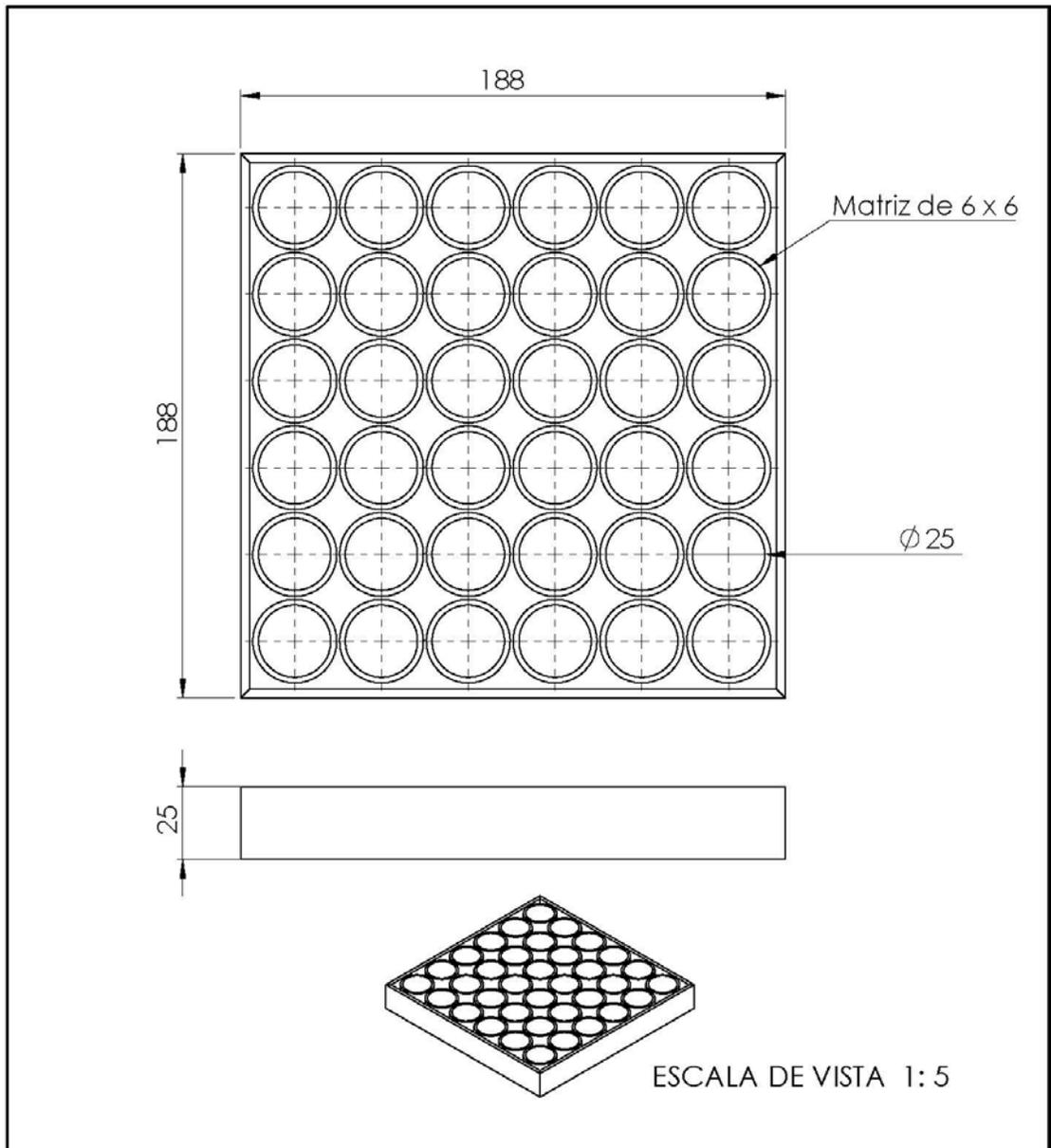
UNIDADES:
 mm



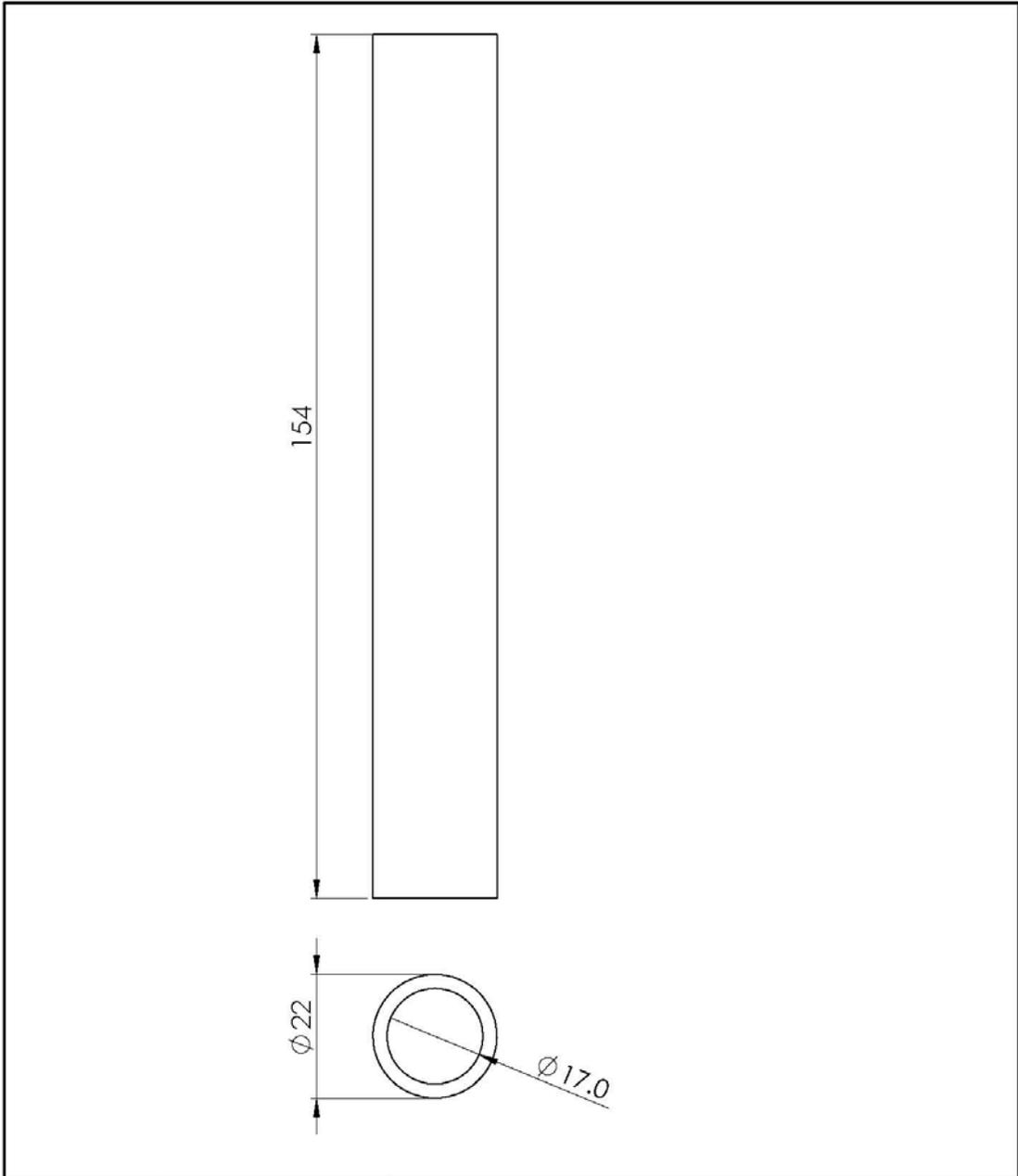
Nº PLANO:
 Plano A 1

FECHA:
 8/2/2022

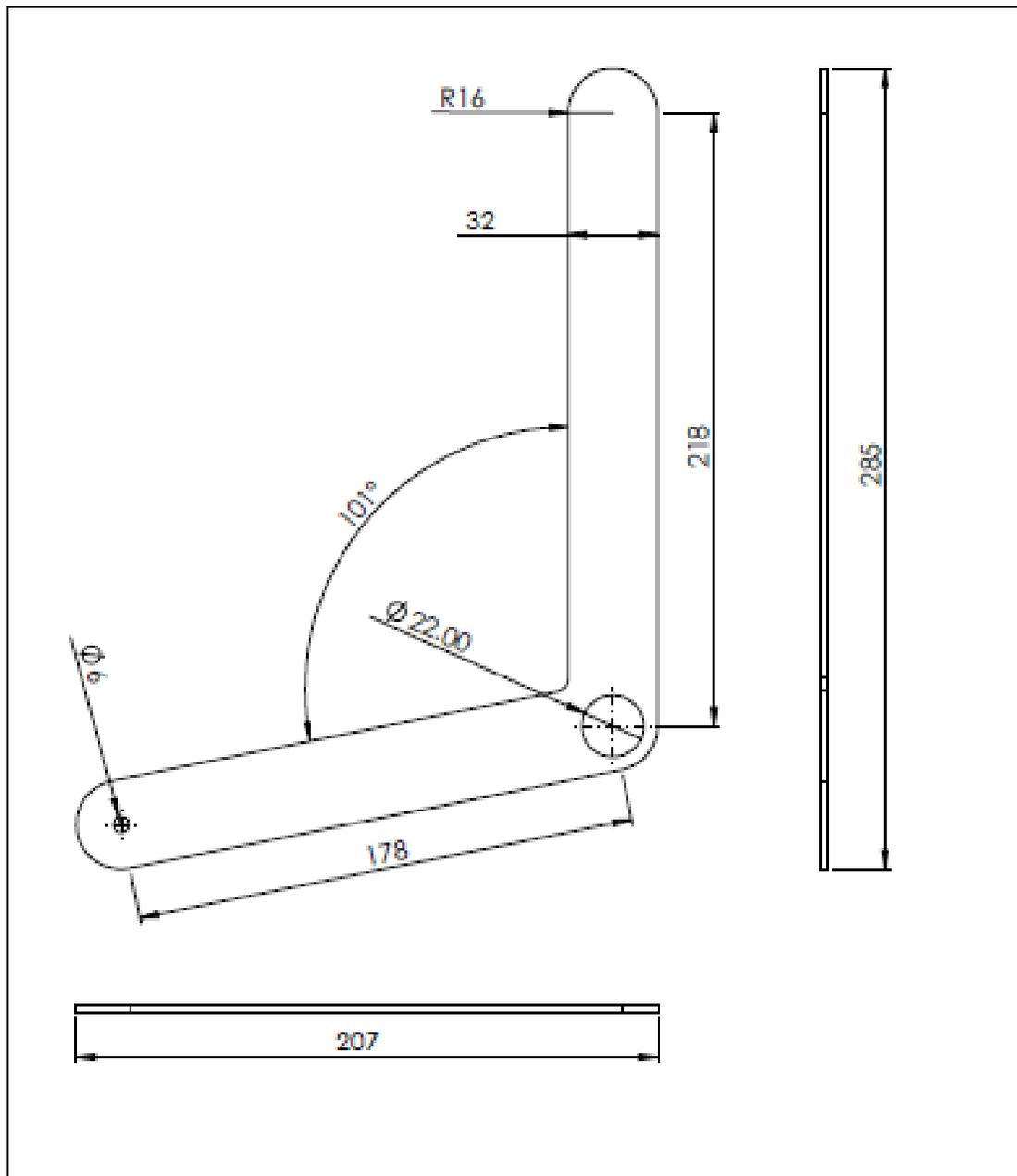
Conjunto máquina
 vulcanizadora



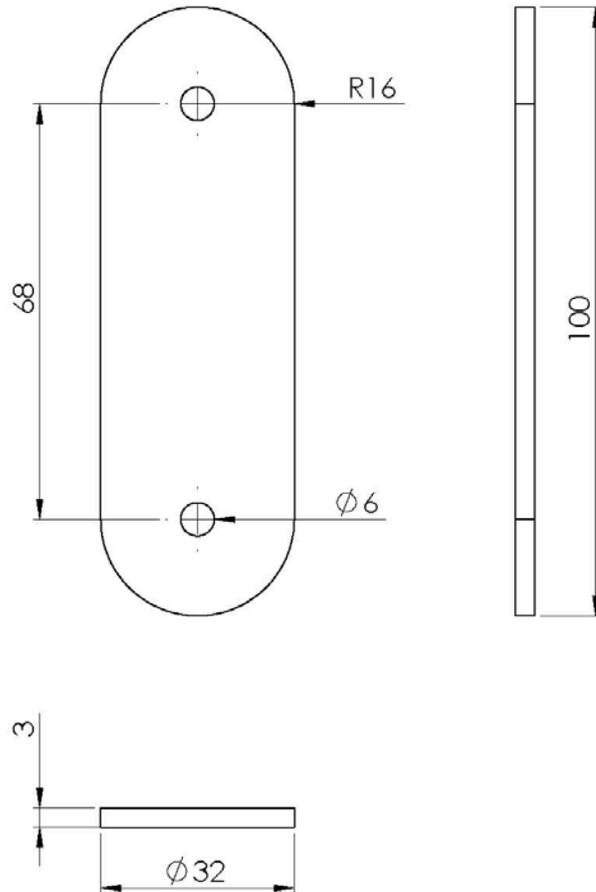
36	Aluminio 1060	36 tubos de 25 mm de diámetro por 25 mm de altura y 2 mm de espesor
1	Hierro dulce	4 Pletina de hierro de 1 pulg por 188 mm y 3.175 mm
Cantidad	Material	Especificaciones
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano
N° PLANO: A1		FECHA: 21/1/2022
Detalle 1.1 , Tubos con marco		ESCALA: 1:2 UNIDADES: mm



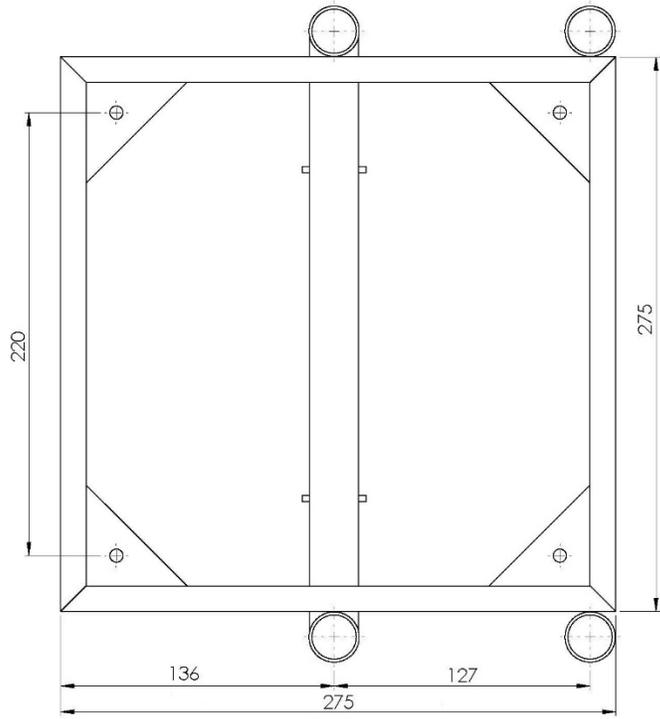
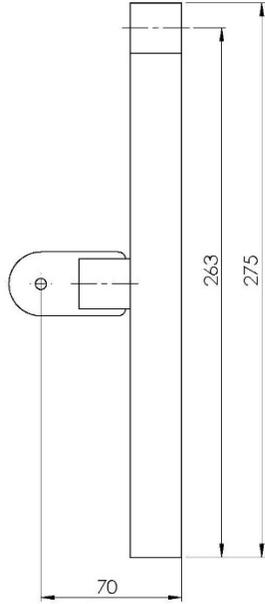
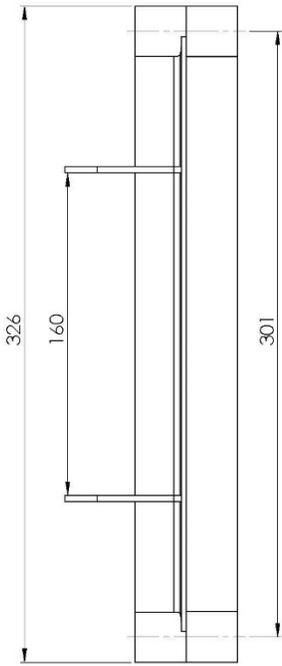
1	Hierro dulce	Tubo de 22 mm por 154 mm de largo y 2.5 mm de espesor	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE	ESCALA: 1:1
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano	UNIDADES: mm
N° PLANO: A2	FECHA: 21/1/2022	Detalle 1.2 , Mango	



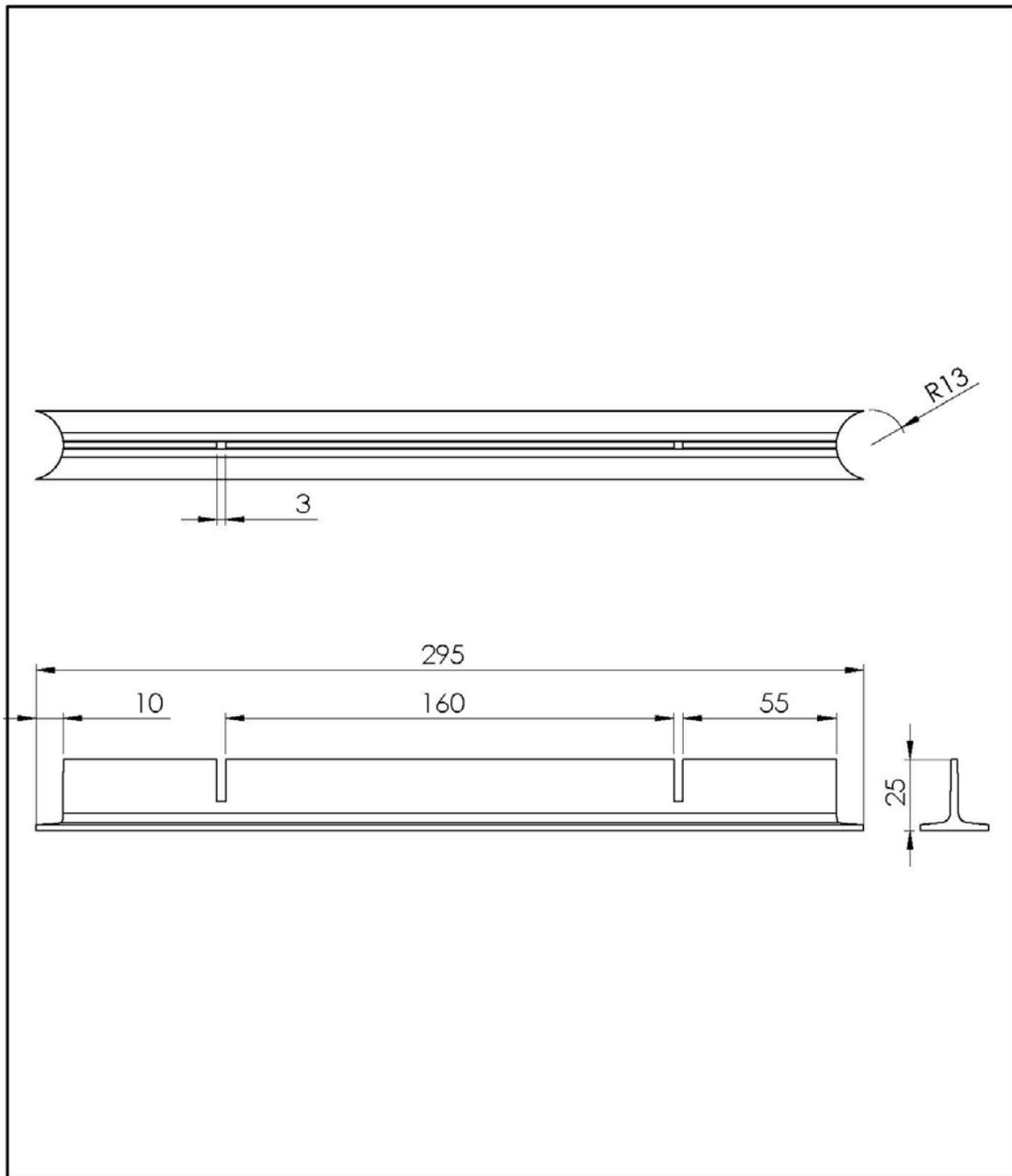
2	Hierro dulce	Pletina de 1 1/4 de pulg por 3.175 mm de espesor cortar dos secciones y unir a 130°		
Cantidad	Material	Especificaciones		
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE		ESCALA: 1:2
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano		UNIDADES: mm
N° PLANO: A3	FECHA: 2/2/2022	Detalle 1.3 , Biela L		



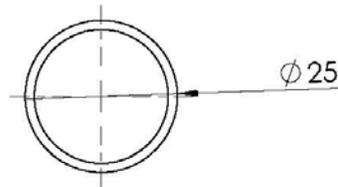
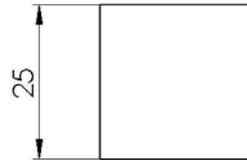
2	Hierro dulce	Pletina de 1 1/4 de pulg. por 3,175 mm de espesor cortar dos secciones de 100 mm	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE	ESCALA: 1:1
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano	UNIDADES: mm
N° PLANO: A4	FECHA: 21/1/2022	Detalle 1.4 , Biela 1	



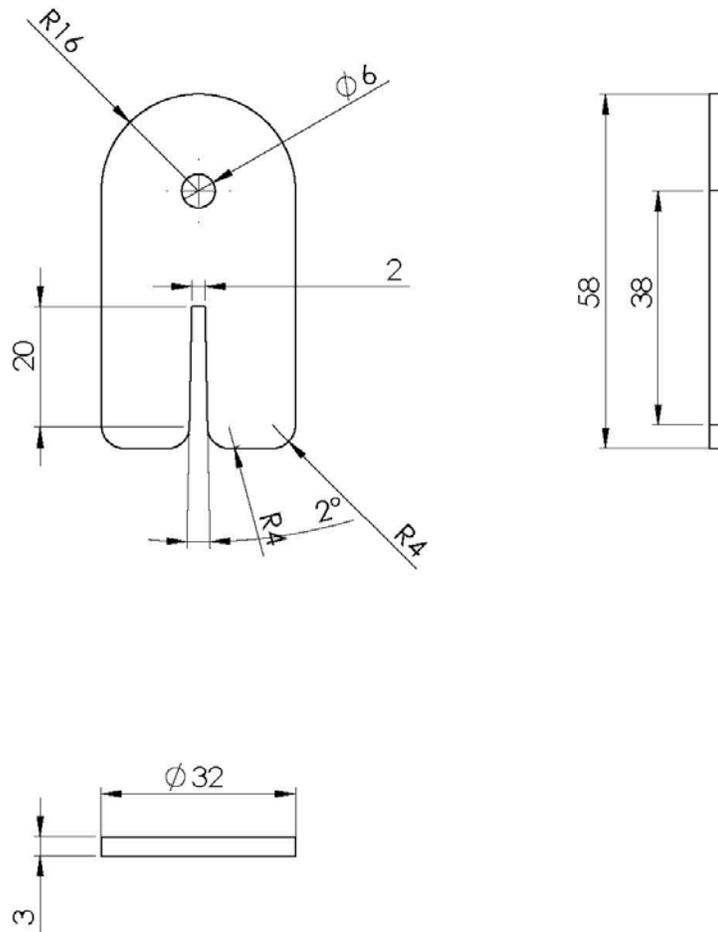
5	CARTELERA	Detalle 2.5
4	LATERAL 1	Detalle 2.4
3	UNION DE BIELA	Detalle 2.3
2	TUBO DE EJE	Detalle 2.2
1	BARRA PRINCIPAL	Detalle 2.1
ITEM	Descripción	Especificaciones
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE		
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano
N° PLANO: B2	FECHA: 21/11/2022	UNIDADES: mm



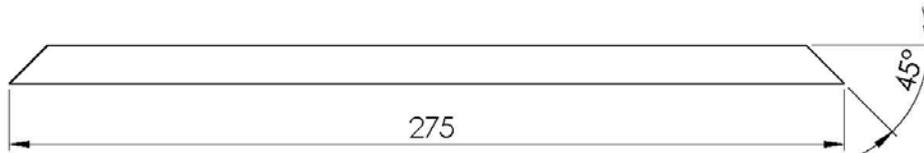
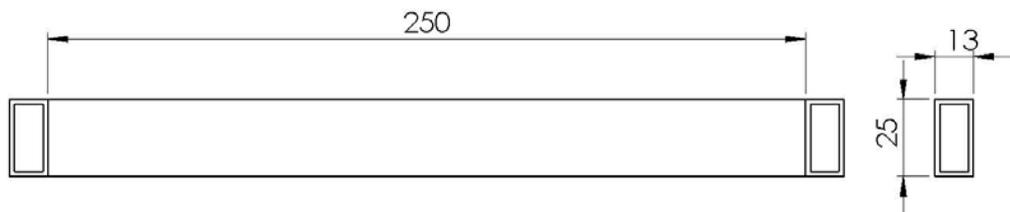
1	Aluminio 1060	Perfil T ASTM-A36 de 1 x 1 pulg y 3.175 mm de espesor cortar una sección de 295.4 mm
Cantidad	Material	Especificaciones
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano
N° PLANO: C1	FECHA: 21/1/2022	Detalle 2.1 , Barra principla Tubos con marco
		ESCALA: 1:2
		UNIDADES: mm



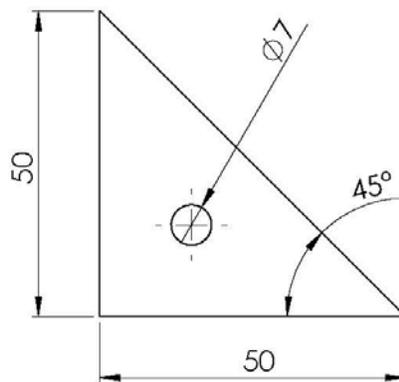
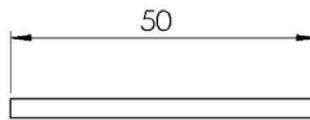
8	Hierro dulce	8 tubos de 25 mm de diámetro por 1 pulg de largo	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE	ESCALA: 1:1
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano	UNIDADES: mm
N° PLANO: C2	FECHA: 21/1/2022	Detalle 2.2 , Tubo de eje Tubos con marco	



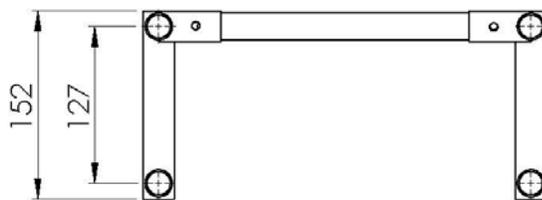
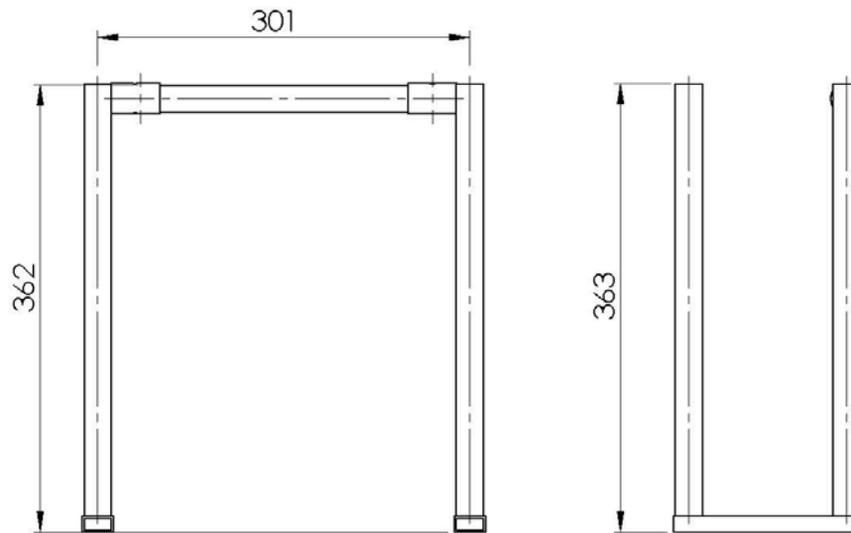
2	Hierro dulce	Pletina de 1 1/4 de pulg por 3.175 mm de espesor cortar secciones de 58 mm	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE	ESCALA: 1:1
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano	UNIDADES: mm
N° PLANO: C3	FECHA: 21/1/2022	Detalle 2.3 , Unión de biela Tubos con marco	



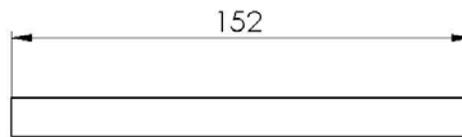
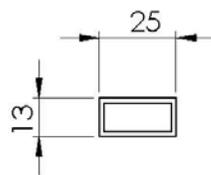
8	Hierro dulce	Tubo estructural de 1 x 1/2 pulg por 3.175 mm de espesor cortar secciones de 275.4 mm	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE	ESCALA: 1:1
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano	UNIDADES: mm
N° PLANO: C4	FECHA: 21/1/2022	Detalle 2.4 , Lateral 1	



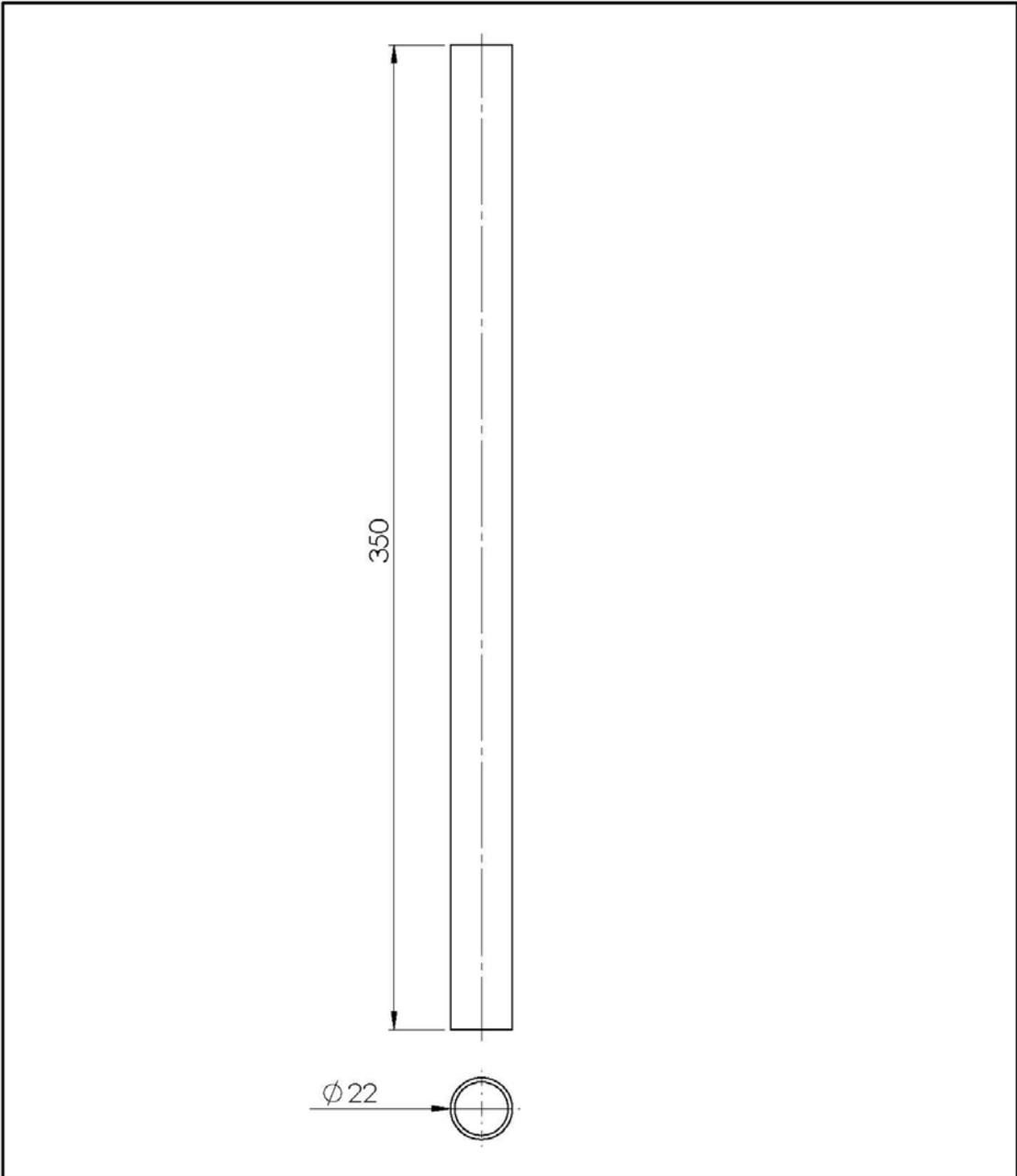
8	Hierro dulce	Pletina de 2 pulg por 3.175 mm de espesor cortar secciones de 50 x 50 mm	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE	ESCALA: 1:1
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano	UNIDADES: mm
N° PLANO: C5	FECHA: 21/1/2022	Detalle 2.5 , Cartelera	



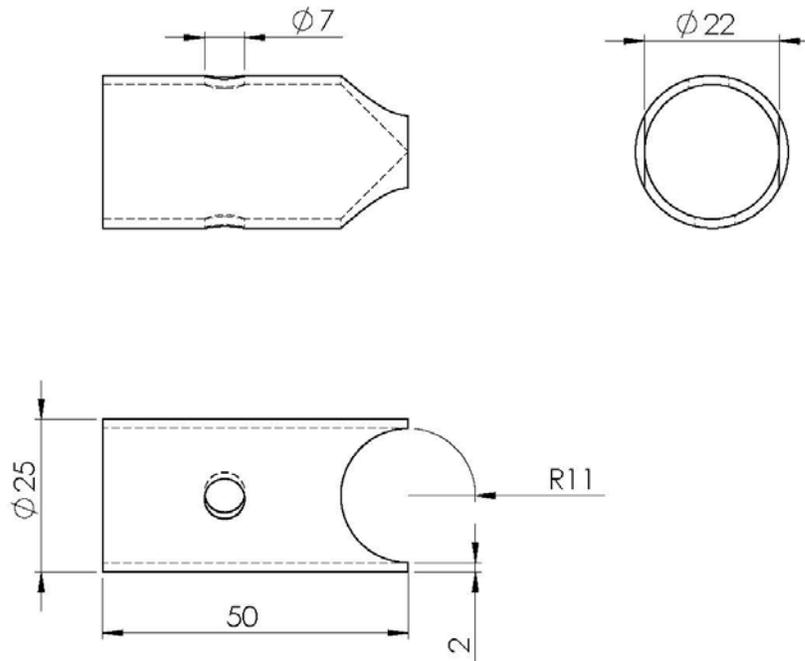
4	EJE	Detalle 3.4
3	UNION DE EJES	Detalle 3.3
2	TUBO EJE VERTICAL	Detalle 3.2
1	TUBO RECTANGULAR BASE	Detalle 3.1
ITEM	Descripción	Especificaciones
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano
N° PLANO: B3	FECHA: 21/1/2022	Detalle 1.6 , Sub ensamble de ejes
		ESCALA: 1:5
		UNIDADES: mm



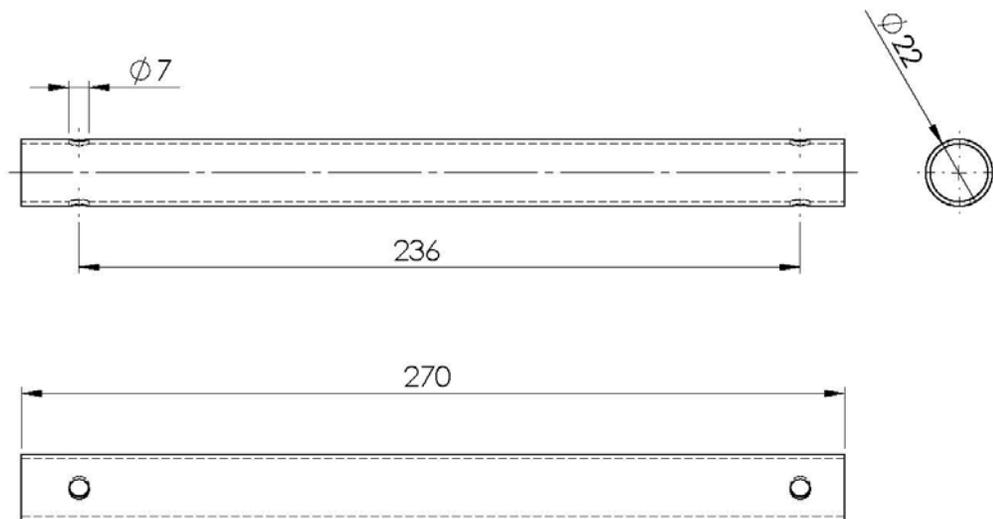
2	Hierro dulce	Tubo estructural de 1 x 1/2 pulg por 3.175 mm de espesor cortar secciones de 152 mm	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE	ESCALA: 1:2
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano	UNIDADES: mm
N° PLANO: D 1	FECHA: 21/1/2022	Detalle 3.1, Tubo rectangular base	



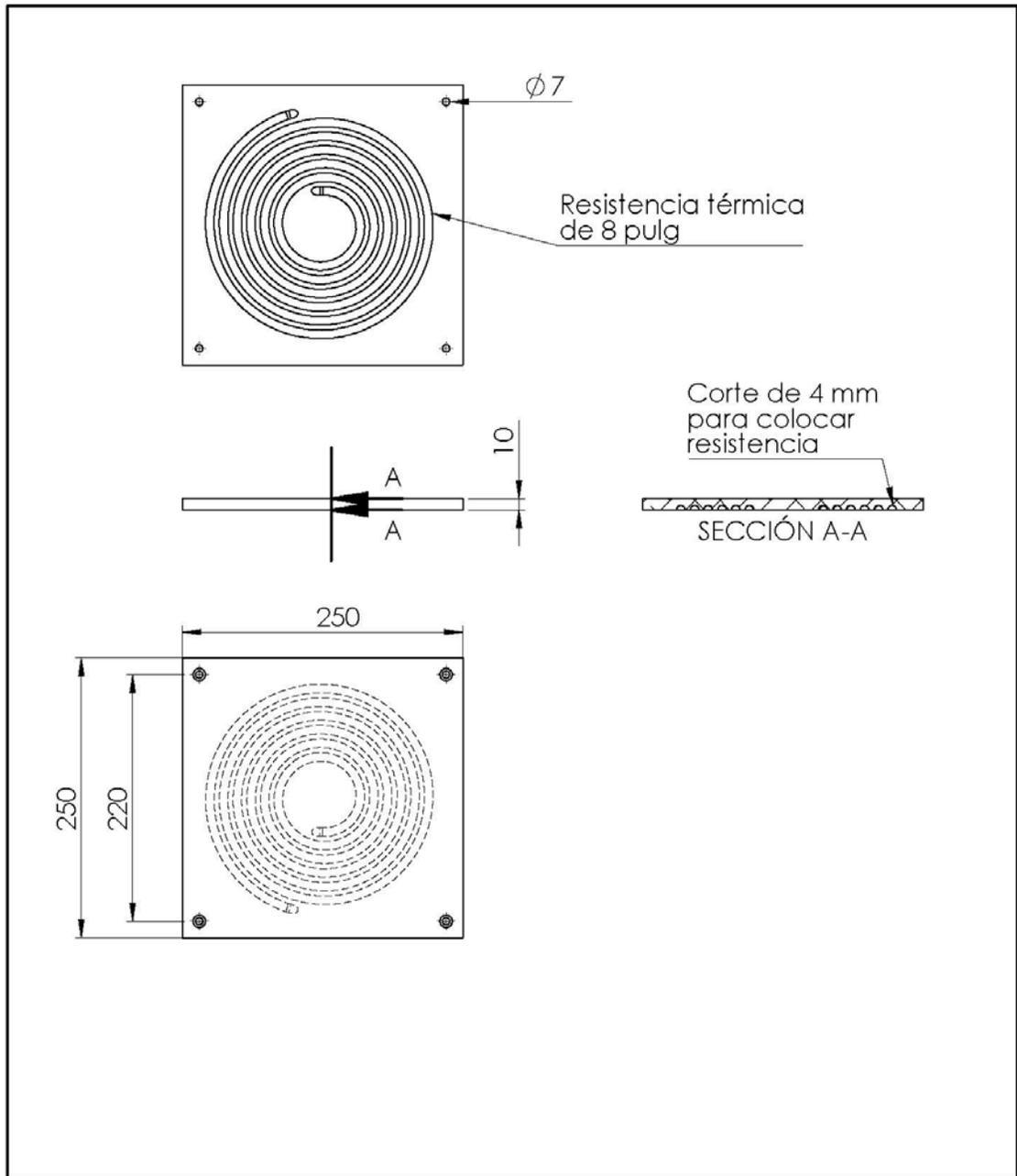
4	Hierro dulce	Tubo estructural de 22 mm de diámetro y 3 mm de espesor cortar secciones de 350 mm		
Cantidad	Material	Especificaciones		
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE	ESCALA: 1:2	
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano	UNIDADES: mm	
N° PLANO: D 2	FECHA: 21/1/2022	Detalle 3.2 , Tubo eje vertical		



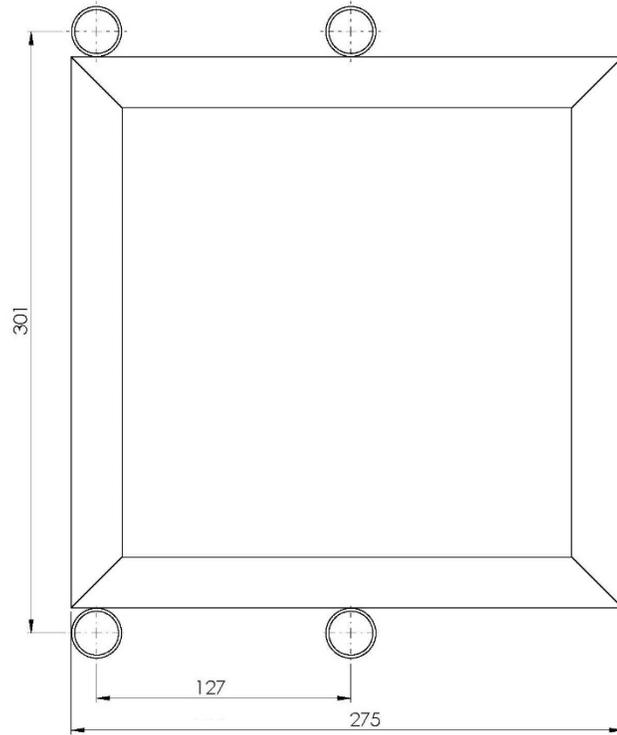
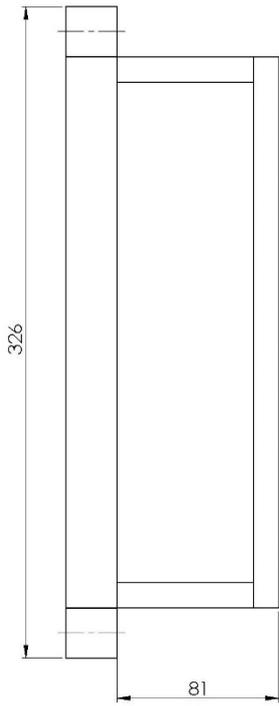
2	Hierro dulce	Tubo estructural de 25 mm de diámetro y 3 mm de espesor cortar secciones de 50 mm		
Cantidad	Material	Especificaciones		
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE	ESCALA: 1:1	
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano	UNIDADES: mm	
N° PLANO: D 3	FECHA: 21/1/2022	Detalle 3.3 , Unión de ejes		



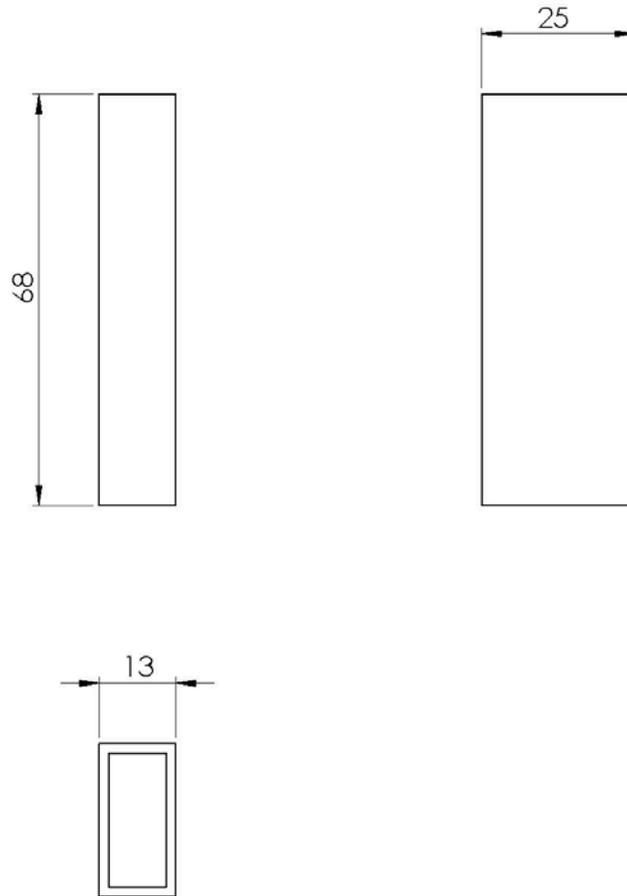
1	Hierro dulce	Tubo estructural de 22 mm de diámetro y 3 mm de espesor cortar secciones de 270 mm		
Cantidad	Material	Especificaciones		
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE		ESCALA: 1:1
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano		UNIDADES: mm
N° PLANO: D 4	FECHA: 21/1/2022	Detalle 3.4 , Eje		



1	Aluminio 1060	Fabricar a fundición con aluminio aleación 1060
Cantidad	Material	Especificaciones
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano
N° PLANO: A 5	FECHA: 21/1/2022	Detalle 1.7 , Placa con resistencia



4	Lateral 1	Detalle 2.4
3	VERTICALES	4.2
2	BASE	4.1
1	Tubo de eje	Detalle 2.2
ITEM	Descripción	Especificaciones
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano
N° PLANO: B 4	FECHA: 21/11/2022	UNIDADES: mm
		Detalle 1.8 , Sub ensamble Estructura base



4	Hierro dulce	Tubo estructural de 1 x 1/2 pulg por 3.175 mm de espesor cortar secciones de 68.25 mm	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN : DISEÑO DE UNA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE	ESCALA: 1:1
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Carlos Alonso Serrano Medrano	UNIDADES: mm
N° PLANO: E 1	FECHA: 21/1/2022	Detalle 4.1 Verticales	

ANEXO C: MANUAL DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE



Las advertencias en este manual estarán marcadas con este símbolo, para hacer ver al lector la importancia de tomarlas en consideración y con la seriedad necesaria.

Introducción

Previo a manipular la máquina vulcanizadora de soportes de hule, se debe informarse y entender todos los posibles riesgos al trabajar con dicha máquina, ya que la operación de dicha máquina debe tener ciertas precauciones para reducir cualquier riesgo a un accidente.

Con los manuales de servicio se garantiza el adecuado uso y mantenimiento de la máquina vulcanizadora de soportes de hule, ya que siendo una máquina que en su proceso conlleva altas temperaturas y palancas que podrían provocar quemaduras o lesiones al quedar atrapada alguna parte de la mano entre las partes móviles.



Normas de seguridad

La máquina vulcanizadora de soportes de hule sólo deberá ser utilizada según las indicaciones presentes en este manual.

Previo al funcionamiento de la máquina vulcanizadora de soportes de hule, se debe inspeccionar que todos sus elementos hayan sido instalados como el manual especifica.

Antes de poner en funcionamiento la máquina debe tomar en consideración todos los requisitos de seguridad desde la alimentación eléctrica y sus riesgos hasta el uso de protección para altas temperaturas.

El mantenimiento, limpieza y ajuste sólo se deberá llevar a cabo una vez que el equipo operativo se encuentre parado.

La máquina sólo puede ser usada por personas capacitadas previamente.

No introduzca las manos en la zona de compresión.

PICTOGRAMAS

¡Use gafas protectoras!	
¡Use guantes protectores!	
¡Use calzado de protección!	
Lea el manual de instrucciones antes de empezar a usar la máquina	
No manipule ninguna de las partes de la máquina hasta que esté completamente parada.	
No se acerque a las partes de la máquina que estén en movimiento.	
Alta temperatura	

DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES

Elemento	Descripción
Alimentación	La alimentación del material a ser vulcanizado se realizará de forma manual
Sistema de accionamiento mecánico	La máquina vulcanizadora se accionará de forma manual
Sistema de transmisión de potencia	La potencia mecánica se transmite por un sistema de palancas
voltaje	Funcionará a un voltaje de 110 V
Temperatura	La temperatura será provista por una resistencia térmica y regulada por un Dimmer.

Manual de operación máquina vulcanizadora de soportes de hule

A. Previo a la puesta en marcha se debe tener en consideración lo siguiente	
Pasos a seguir: 1) Utilizar equipo de protección 2) Inspeccionar el sistema de alimentación. 4) Inspeccionar el mecanismo de compresión. 5) Despejar el área alejando personas y objetos sobre todo que podrían ser inflamables. 6) Trabajar con iluminación adecuada.	
Utilizar equipo y vestimenta adecuada	Use siempre guantes de cuero para la manipulación de la máquina vulcanizadora. Use calzado adecuado, ya que, en caso de caerse algún elemento de la máquina no provoque algún daño personal. No use anillos o joyas que podrían atascarse en la máquina. Utilice camisa siempre con el cuidado que la manga no se puede atorar en alguna parte de la máquina. No use nunca joyas. En el caso de usar cabello largo, se debe recoger para evitar se atore en la máquina vulcanizadora.
Inspeccionar el sistema de compresión	Verificar que no haya presencia de objetos en el sistema deslizante que vaya a obstaculizar el movimiento de las placas porta resistencia.
Iluminación	Se debe hacer uso de la máquina en un ambiente muy iluminado para evitar cualquier inconveniente o accidente.
Sistema de alimentación para el sistema térmico	
Espacio de trabajo	Despejar los alrededores de la máquina vulcanizadora de personas y objetos que podrían ser inflamables.

B. Operar máquina vulcanizadora



Se debe haber leído y realizados los pasos del apartado A, así se puede proceder a operar la máquina vulcanizadora.

Para accionar la máquina vulcanizadora:

- 1) El operador de la máquina debe conectar la línea de alimentación.
- 2) El operador debe verificar que la temperatura se comience a elevar en las resistencias.
- 3) Controlar que la temperatura llegue a la adecuada
- 4) Ya que se trata de una máquina de acción manual, el operario debe ser el encargado de verificar del buen funcionamiento de la máquina vulcanizadora.



Advertencia:

Manténgase en la posición del operador. No se aleje de la máquina mientras está en funcionamiento.

C. Paro de la máquina vulcanizadora de soportes de hule

Siga estos pasos para parar la máquina vulcanizadora de soportes de hule. Sólo es necesario desconectar la alimentación eléctrica.



Advertencia: Después de haber parado la máquina vulcanizadora, no la manipule, ya que, la temperatura de las placas va a tardar en bajar.

D. Limpieza e inspección final

Al terminar el proceso de vulcanizado siga los siguientes pasos:

Inspeccionar el producto final, ya que de éste dependerá si es necesario realizar algún tipo de mantenimiento a la máquina o modificar los pasos de operación a fin de corregir los problemas.

Limpie toda la suciedad o materias extrañas que se encuentren en la máquina.

Limpie el exceso de caucho en los moldes.

ANEXO D: MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA VULCANIZADORA DE SOPORTES DE HULE

INTRODUCCIÓN MANUAL DE MANTENIMIENTO

La máquina vulcanizadora de soportes de hule ha sido desarrollada con un fin académico, con ello va implícito una larga durabilidad y aún más importante evitar accidentes con consecuencias hacia los operadores.

En las diferentes cátedras recibidas en el transcurso de la carrera de ingeniería mecánica se han estudiado conceptos teóricos y prácticos de los principios fundamentales con los que va a funcionar la máquina, también se ha estudiado los posibles riesgos de operación y los riesgos que al no darle el mantenimiento y uso específico podría acortarse la vida útil de dicha máquina.

MANTENIMIENTOS

Beneficios de dar un buen mantenimiento:

- a) Alarga la vida útil de los componentes de la máquina.
- b) Evitar fallas en el funcionamiento de la máquina. Aumento de tiempo medio de funcionamiento de la maquinaria sin paradas.
- c) Reducción de tiempo por parada de la máquina.
- d) Obtener los resultados esperados del producto final.

Ruta de mantenimiento	
Mantenimiento menor	Se deben realizar las acciones de mantenimiento preventivo sencillas, ya que la máquina no dispone de muchos sistemas complicados, lo primordial sería una revisión de apriete a las partes móviles.
Lubricación	Se debe lubricar las partes móviles, sobre todo a las barras de deslizamiento donde se desplazan las placas porta resistencias.
Resistencias	Se deben limpiar las resistencias que no tengan alguna suciedad y sobre todo alguna partícula que pueda incendiarse.
Alimentación eléctrica	Verificar que la conexión eléctrica se haga donde haya suministro y que no vaya a haber algún cable suelto a la entrada de la máquina vulcanizadora que podría provocar un corto circuito.
Temperatura	Revisar que la regulación de temperatura sea la adecuada, ya que, al variar no se obtendrían los resultados esperados.

Programa de mantenimiento				
 <p>Antes de cualquier mantenimiento se debe haber dejado de usar la máquina el suficiente tiempo hasta que se logre la temperatura ambiente.</p>				
Elemento a verificar	Siempre que se use	Semanal	Mensual	Anual
Apriete de pernos			X	
Resistencias			X	
Lubricación	X			
Conexión eléctrica	X			
Temperatura de trabajo	X			
<p>NOTA: Las resistencias van a cambiarse antes que los demás elementos, pero son de fácil acceso en ferreterías comunes.</p>				

INSTRUCTIVO DE USO DEL FORMATO DE CALENDARIZACIÓN DE MANTENIMIENTO A EQUIPOS

Con este formato se pretende programar los mantenimientos de acuerdo a su uso y necesidades de la máquina, considerando también las actividades del laboratorio y días festivos. Por lo tanto, su llenado es de la siguiente manera:

- 1) Período: Anotar el período actual en base a la clase. No entiendo o no está relacionada esta palabra
- 2) Mes: Se anota el mes a efectuar el mantenimiento.
- 3) Área: Especificar el área que recibirá el mantenimiento.
- 4) Responsable: Nombre de la persona responsable del área.
- 5) Cantidad: Especificar el número de equipos.
- 6) Descripción del equipo: Indicar una breve descripción del equipo.
- 7) Fecha: Anotar el período en que se realizará el mantenimiento.

Período (1)

Mes (2)	Área (3)	Responsable (4)	Cantidad (5)	Descripción del equipo (6)	Fecha (7)

Con el programa ya establecido se pretende hacer el mantenimiento al equipo en tiempo y forma.

FORMATO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO O CORRECTIVO

Llene el presente formulario cada vez que se realicen tareas de mantenimiento en la máquina. Sea claro y breve. Garantizar que todos los campos estén llenos al final de cada mantenimiento. Llene con una X los campos que así lo requieran.

- 1) N° de mantenimiento. Indicar el número de servicio
- 2) Tipo de mantenimiento. Especificar el tipo de mantenimiento correctivo o preventivo.
- 3) Fecha de inicio. Especificar la fecha de inicio del mantenimiento.
- 4) Fecha de finalización. Especificar la fecha de finalización del mantenimiento.
- 5) Nombre del encargo. Escribir el nombre del encargado de realizar el mantenimiento.
- 6) Traslado: Indicar si el bien será reparado fuera de la escuela de Ingeniería mecánica.
- 7) Lugar de traslado: Indicar si es el caso, el lugar de traslado de la máquina.
- 8) Descripción del servicio o falla. Describir la falla o el servicio a realizar.
- 9) Diagnóstico de la falla. Describir el diagnóstico de la falla. Elementos a realizar mantenimiento: Elementos que se verán afectados por el mantenimiento.
- 10) Descripción del mantenimiento: Descripción del proceso desarrollado en el mantenimiento.
- 11) Firma responsable. El responsable de dar el mantenimiento firmara el documento.
- 12) Observaciones. Cualquier imprevisto que surgiera durante la realización del mantenimiento.
- 13) A continuación, se presenta el formato que se usa para el mantenimiento preventivo o correctivo según sea el caso.

No. De mantenimiento (1):

Tipo de mantenimiento (2): Preventivo Correctivo

Fecha de inicio (3):

Fecha de finalización (4):

Traslado (6):

Lugar de traslado (7):

Descripción del servicio o falla (8):

Diagnóstico de la falla (9):

Elementos a realizar mantenimiento (10):

Descripción del mantenimiento (11):