

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VASO DE SUJECCIÓN DE BOTELLAS, PARA MÁQUINAS ENCAJONADORAS

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por los Bachilleres:
Esparis P., Jesús A.
Torres B., Honorio A.
Para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Caracas 2005

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VASO DE SUJECIÓN DE BOTELLAS, PARA MÁQUINAS ENCAJONADORAS

Tutor Académico: Prof. Gustavo Delfino
Tutor Industrial: Ing. Alberto Montcourt

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por los Bachilleres:
Esparis P., Jesús A.
Torres B., Honorio A.
Para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Caracas 2005

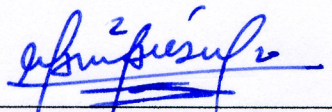
Caracas, junio de 2005

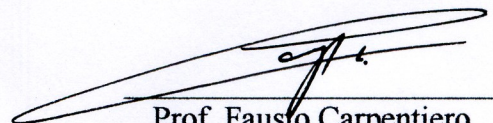
ACTA

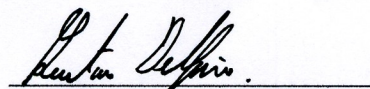
Los abajo firmantes, miembros del jurado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los bachilleres: Torres Honorio y Esparis Jesús.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VASO DE SUJECIÓN DE BOTELLAS,
PARA MÁQUINAS ENCAJONADORAS

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico.


Prof. Manuel Martínez
Jurado


Prof. Fausto Carpentiero
Jurado


Prof. Gustavo Delfino
Tutor



AGRADECIMIENTOS

A mi papá gracias por todos sus sabios consejos tanto a lo largo de mi vida como de mi carrera universitaria y por brindarme tantas facilidades.

A mi mamá gracias por estar ahí siempre y ayudarme en todo momento.

A ambos mi padre y madre por quererme tanto y saber que es recíproco.

A Honorio, del cual he aprendido mucho.

A Alberto Montcourt por su ayuda invaluable en la realización de esta tesis.

A Crisanto Villalobos por buen ser humano y excelente amigo.

A Annyflor Acero por su ayuda y cariño incondicional.

A Almaru y Jesús Antonio por ocupar un espacio en mi vida.

Jesús Esparis

A mi esposa e hijos por las largas horas que he dejado de dedicarles durante mis cinco años de estudio y aun así me han dado un apoyo incondicional.

A mi mamá por ser mi suplente en la oficina y ser siempre entusiasta de mis estudios.

A Tina siempre presente alentándome.

A Rubén por su paciencia y amistad.

A mis suegros que me han ayudado tanto con mis hijos.

Al Ing. Alberto Moncourt por su amistad y por poner a nuestro servicio todos sus conocimientos referentes al caucho.

A Jesús Esparis que me esperaba con constancia desde las 6 a.m. en la puerta de mi oficina.

Al Ing. Crisanto Villalobos por darnos su apoyo en el momento más crítico de nuestra tesis, sacando tiempo de donde no tiene.

Al Ing. Gustavo Delfino porque siempre nos brindó su ayuda cuando la necesitamos.

Honorio Torres

Esparis P., Jesús A. y Torres B., Honorio A.

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VASO DE SUJECIÓN
DE BOTELLAS, PARA MÁQUINAS ENCAJONADORAS**

Tutor Académico: Profesor Gustavo Delfino. Tutor Industrial: Ing. Alberto Montcourt. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2005. 116 pág.

Palabras claves: Diseño, Construcción, Vaso de Sujeción, Vulcanización, Botellas, Polímero, Caucho Natural.

En el presente trabajo se diseñó y construyó un vaso de sujeción de botellas para máquinas encajonadoras, mejorando el rendimiento del mismo, a través, de una formulación química la cual permitió manipular sus propiedades mecánicas.

Por medio de una metodología de diseño, como lo es la matriz de decisiones, se evaluaron distintas alternativas de solución, y se seleccionó la opción más favorable al caso de estudio. El diseño se basó en la mayor disponibilidad del material base en Venezuela, en conjunto con experiencia técnica de la empresa.

El material base que se utilizó para la construcción del vaso fue el caucho natural, un elastómero con propiedades útiles y cuyo resultado mecánico una vez vulcanizado es el incremento de su resistencia y dureza. Con la adición de otros componentes, se logró la formulación necesaria para el diseño del vaso de sujeción, el cual estuvo restringido a las dimensiones de la pieza original.

Dicho vaso de sujeción cumplió con los objetivos establecidos y satisfizo los parámetros necesarios para garantizar el buen funcionamiento dentro de los cabezales de carga y descarga de la máquina encajonadora. Estos parámetros son tales como, aguantar un valor de presión establecido por la empresa embotelladora, garantizar que la nueva formulación no contenga componentes que alteren tanto el color de la botella como el sabor del contenido de la misma y evitar cualquier tipo de emanaciones nocivas para el ambiente.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
1.1.- Antecedentes.....	3
1.2.- Objetivos.....	4
1.2.1.- Objetivo General.....	4
1.2.2.- Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2.- Marco Teórico.....	5
2.1.- Caucho natural bruto.....	5
2.1.1.- Recolección y composición de látex recién extraído.....	5
2.1.2.- Orígenes históricos.....	6
2.1.3.- Las plantaciones de caucho.....	7
2.1.4.- Caucho Crepé.....	8
2.1.5.- Hoja ahumada.....	9
2.1.6.- Estructura química.....	11
2.1.7.- El efecto del calor.....	12
2.1.8.- Propiedades físicas.....	12
2.1.9.- Preparación del látex del caucho natural.....	14
2.2.- Látex normal.....	15
2.2.1.- Látex centrifugado.....	15
2.2.2.- Látex cremificado.....	16
2.2.3.- Consumo de látex.....	16
2.3.- Caucho Guayule.....	17
2.4.- Gutapercha.....	17
2.5.- Aceleradores de la vulcanización.....	18
2.5.1.- Teoría sobre la acción de los aceleradores.....	19
2.5.2.- Clasificación química.....	19
2.6.- Técnicas de la acción antioxidante.....	20

2.6.1.- Clasificación química.....	20
2.7.- Diversos productos químicos para el caucho.....	20
2.7.1.- Parafinas.....	21
2.7.2.- Agentes gasógenos.....	21
2.7.3.- Activadores orgánicos.....	21
2.7.4.- Plastificantes químicos.....	22
2.7.5.- Agentes de regeneración.....	22
2.7.6.- Agentes de vulcanización.....	22
2.7.7.- Retardadores.....	23
2.8.- Caucho y cauchos sintéticos.....	24
2.8.1.- Caucho.....	24
2.8.2.- Caucho natural y cauchos sintéticos.....	24
2.9.- Diolefinas o alkadienos.....	25
2.10.- Elastómeros.....	27
2.11.- Polimerización de dienos por radicales libres.....	28
2.11.1.- Caucho y sustitutos del caucho.....	28
2.11.2.- Isopreno y la regla isoprenica.....	30
2.12.- Procesos modernos de fabricación.....	30
2.12.1.- Ingredientes.....	31
2.12.2.- Máquinas de masticar.....	32
2.12.3.- Máquinas mezcladoras.....	32
2.12.4.- Calendering.....	33
2.12.5.- La expulsión.....	33
2.12.6.- Vulcanización.....	34
2.13.- Procesos de moldeo.....	34
2.14.- Dureza.....	36
2.14.1.- Durómetro shore A.....	36
CAPÍTULO III.....	37
3.- Marco metodológico.....	37
3.1.- Formulación del problema.....	37

3.2.- Descripción del proceso operativo del vaso de sujeción.....	37
3.3.- Análisis del problema.....	37
3.4.- Árbol de objetivos.....	39
3.5.- Diagrama de flujo del proceso de manufactura del vaso de sujeción.....	40
3.6.- Búsqueda de soluciones.....	41
3.6.1.- Propuesta N° 1.....	41
3.6.2.- Propuesta N° 2.....	42
3.6.3.- Propuesta N° 3.....	43
3.6.4.- Propuesta N° 4.....	44
3.6.5.- Propuesta N° 5.....	44
3.6.6.- Propuesta N° 6.....	45
3.6.7.- Propuesta N° 7.....	46
3.7.- Fase de decisión.....	48
3.7.1.- Parámetros de la matriz de decisión.....	48
3.7.2.- Matriz de decisiones.....	50
3.7.3.- Selección de las decisiones.....	51
3.8.- Especificaciones de la propuesta seleccionada.....	51
CAPÍTULO IV.....	52
4.- Formulación.....	52
4.1.- Propiedades del vaso original.....	52
4.2.- Formulación de caucho.....	53
4.2.1.- Formulación seleccionada.....	53
4.2.2.- Propiedades de los componentes de la formulación.....	54
4.3.- Cálculo de la densidad teórica.....	56
4.3.1.- Cálculo del volumen geométrico de la pieza.....	57
4.3.2.- Cálculo de la masa a introducir en el molde.....	61
4.3.3.- Cálculo de la densidad experimental.....	62
CAPÍTULO V.....	64
5.1.- Diseño del molde.....	64
5.2.- Mecanizado de los cilindros para la fabricación del molde.....	65

5.2.1.- Mecanizado de la parte superior del molde.....	66
5.2.2.- Mecanizado del inserto del molde superior.....	74
5.2.3.- Mecanizado de la parte inferior del molde	76
HOJA DE PROCESO.....	81
CAPÍTULO VI.....	88
6.- Cálculos.....	88
6.1.- Cálculo de la presión en la prensa para la operación de moldeo.....	88
6.2.- Punto de burbuja para determinar el tiempo de vulcanización.....	89
6.3.- Esfuerzos en el vaso de sujeción.....	90
6.4.- Esfuerzos debidos al peso de la botella llena.....	91
6.5.- Fuerzas de roce en la botella sin chapa.....	92
CAPÍTULO VII.....	94
7.- Costo del vaso de sujeción.....	94
7.1.- Costo de la materia prima.....	94
7.2.- Costo de los moldes.....	95
CONCLUSIONES.....	98
RECOMENDACIONES.....	99
APÉNDICE.....	100
PLANOS.....	105
BIBLIOGRAFÍA.....	114
ANEXOS.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.- Clasificación de caucho según su país de producción y características de vulcanización.....	11
Tabla 3.1.- Características del caucho natural.....	42
Tabla 3.2.- Características del caucho natural sintético.....	42
Tabla 3.3.- Características del SBR.....	43
Tabla 3.4.- Características del EPDM.....	44
Tabla 3.5.- Características del cloropreno.....	45
Tabla 3.6.- Características del silicón.....	45
Tabla 3.7.- Características del poliuretano.....	46
Tabla 3.8.- Clasificación por propiedades de los elastómeros.....	47
Tabla 3.9.- Valor porcentual de los parámetros de la matriz de decisiones.....	50
Tabla 3.10.- Matriz de decisiones.....	50
Tabla 4.1.- Propiedades conocidas del vaso de sujeción original.....	52
Tabla 4.2.- Formulación de caucho para la fabricación del vaso de sujeción.....	53
Tabla 4.3.- Propiedades mecánicas de la formulación de caucho.....	53
Tabla 4.4.- Densidad y volumen teórico.....	57
Tabla 4.5.- Pesada de diez vasos de sujeción.....	62
Tabla 5.1.- Composición química del acero AISI-1045.....	64
Tabla 5.2.- Propiedades mecánicas del acero.....	64
Tabla 5.3.- Dimensiones y precios de los tochos de acero AISI – 1045.....	66
Tabla 6.1.- Determinación del tiempo de vulcanización.....	89
Tabla 7.1.- Precio del caucho y aditivos.....	94
Tabla 7.2.- Costos del vasos de sujeción contra número de molde.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.- Árbol de caucho “Hevea brasiliensis” proceso de sangrado.....	5
Figura 2.2.- Plantación de “Hevea brasiliensis”.....	8
Figura 2.3.- Preparación del caucho crepé.....	9
Figura 3.1.- Árbol de objetivos.....	39
Figura 3.2.- Diagrama de flujo del proceso de manufactura del vaso de sujeción.....	40
Figura 3.3.- Diagrama del establecimiento de funciones.....	41
Figura 4.1.- Vaso de sujeción original.....	52
Figura 4.2.- Sección N° 1 del vaso de sujeción.....	58
Figura 4.3.- Sección N° 2 del vaso de sujeción.....	58
Figura 4.4.- Sección N° 3 del vaso de sujeción.....	59
Figura 4.5.- Sección N° 4 del vaso de sujeción.....	59
Figura 4.6.- Sección N° 5 del vaso de sujeción.....	60
Figura 4.7.- Sección N° 6 del vaso de sujeción.....	60
Figura 4.8.- Sección N° 7 del vaso de sujeción.....	61
Figura 5.1.- Partes de la broca.....	67
Figura 7.1.- Gráfica comparativa de costos del vaso de sujeción vs número de moldes.....	97

INTRODUCCIÓN

Una de las etapas críticas en el proceso de embotellado es la extracción y colocación de las botellas en las gaveras, por lo que es de suma importancia para las empresas del rubro, contar con un suministro continuo de los insumos necesarios (vasos de sujeción) para mantener la línea de producción operativa. La mayor parte de las máquinas encajonadoras son importadas, trayendo como consecuencia que el flujo de repuestos se vea amenazado debido al control de cambio existente en el país en estos momentos.

El asesoramiento y la visita de especialistas extranjeros responsables de la fabricación de los vasos de sujeción, no está disponible cuando se presentan fallas críticas. Las visitas son planeadas y los asesores en pocos días visitan a todos sus clientes en el país. En el momento de lanzar un nuevo producto o botella, y se requiera un nuevo diseño del vaso de sujeción, no se cuenta en el país con un especialista para facilitar las tareas de modificación necesarias.

Tomando en cuenta estos hechos, se podría solucionar temporalmente el problema, con grandes inventarios de vasos de sujeción (aumento de los costos), que garantizaran la continuidad de las operaciones de la planta, o desarrollar una metodología para el diseño y fabricación de los vasos de sujeción en el país, generando seguridad en los usuarios con un producto de alta calidad y adicionalmente colaborando con el desarrollo de Venezuela.

Estas son las principales razones por las que se desarrolló y construyó un vaso de sujeción, basado en caucho natural, capaz de cumplir con todas las solicitudes operativas, de fácil fabricación y con materias primas de bajo costo y alta disponibilidad en el país.

Las páginas a continuación describen el procedimiento que se siguió desde la concepción de la idea de desarrollar el vaso de sujeción, hasta la materialización y experimentación del mismo, pasando por la tormenta de ideas, evaluación de posibles propuestas, determinación de la mejor formulación al más bajo costo, construcción y evaluación de la pieza.

CAPÍTULO I

1.1.-Antecedentes

La empresa PREMA, C.A. ha desarrollado vasos de sujeción para distintas aplicaciones contando con la práctica y la experiencia de años. Quiere contar con metodología normalizada que le permita fabricar las piezas ajustadas a las necesidades y disminuir los errores en diseño, fabricación y aumentar su productividad. Hay registros en la empresa de la cantidad de trabajos mal hechos en la fabricación de moldes y productos, por no contar con la planificación inicial apropiada. Como un ejemplo de esta situación tenemos el caso siguiente:

Una experiencia particular en el rediseño de un vaso de sujeción para botellas de cloro, se presentó debido a la presión ejercida sobre la goma cruda dentro de la cavidad del molde, trayendo como consecuencia un desplazamiento en un inserto del molde, daño sobre el mismo y piezas con defectos. Por un error en la fabricación del molde se colocó este inserto, el cual no era necesario si se contara con el planeamiento previo.

La empresa embotelladora para la cual se quiere desarrollar el vaso de sujeción no tiene experiencia en la compra local del producto y está interesada en que proveedores nacionales lo desarrollen. Quiere contar con el respaldo técnico y el compromiso de una empresa que le garantice el suministro y la calidad del producto en el tiempo.

1.2.-Objetivos

1.2.1.-Objetivo General.

- Diseñar y ejecutar la construcción de un vaso de sujeción, que cuente con las mismas características, geométricas y mecánicas, que las del vaso original, basado en goma, de fabricación sencilla y que sea capaz de igualar o superar el desempeño de la pieza original.

1.2.2.-Objetivos Específicos.

- Determinar cada una de las variables a intervenir en el proyecto.
- Determinar los requerimientos de diseño implicados.
- Desarrollar un diseño que cumpla con los requerimientos impuestos satisfactoriamente.
- Evaluar las variables específicas, antes determinadas, del diseño escogido, en las áreas de: materiales, formulación química.
- Elaborar el prototipo.
- Obtener datos experimentales de las variables de diseño antes seleccionadas, con la colocación del prototipo en un cabezal de pruebas.
- Comparar los datos experimentales del punto anterior, con la teórica antes calculada.
- Estimar la eficiencia o mejora del prototipo, comparándolo con el original.

CAPÍTULO II

2.-Marco Teórico

2.1.-Caucho natural bruto

2.1.1.-Recolección y composición de látex recién extraído

El caucho se obtiene del árbol por medio de un tratamiento sistemático de “sangrado”, que consiste en hacer un corte en forma de ángulo a través de la corteza profundizando hasta el cambium. Una pequeña vasija que cuelga en el tronco del árbol para recoger el látex, jugo lechoso que fluye lentamente de la herida del árbol. El látex contiene 30 a 36% del hidrocarburo del caucho, 0.3-0.7% de cenizas, 1-2% de proteínas, 2% de resina y 0.5% de quebrachitol. La composición del látex varía en las distintas partes del árbol; generalmente el porcentaje de caucho (hidrocarburo) decrece del tronco a las ramas y hojas. La época del año afecta a la composición del látex, así como el tipo de suelo y la línea o casta del árbol. El caucho es una secreción irreversible o producto de desecho del árbol, y cuanto más se extrae, tanto más la planta regenera. El caucho es producido en el protoplasma por reacciones bioquímicas de polimerización catalizadas por enzimas.



Figura 2.1 Árbol de caucho “*Hevea brasiliensis*” proceso de sangrado

Fuente: Revista Hevea, CAVEGO N°3 1998.

El látex fresco es transformado en caucho seco tan pronto como sea posible luego de la recolección. Primeramente, se cuele por un tamiz de lámina perforada para eliminar partículas de hojas y corteza. En seguida se diluye de su concentración de 30-35% de caucho a un título aproximado de 12%. Algunas plantaciones usan un hidrómetro especial llamado Metralac, que determina el contenido sólido del látex sin realizar el ensayo por evaporación. Después de la dilución, se deja el látex en reposo un corto tiempo para que las materias no separadas por el tamiz (arena y cieno) se sedimenten. Entonces está dispuesto para la coagulación.

El ácido fórmico está considerado como el mejor de los coagulantes para el caucho natural, pero el ácido acético se usó también mucho. Otros ácidos, el alumbre ordinario y el alumbre de amonio han sido usados como coagulantes. La cantidad de ácido requerida, depende del estado de los árboles y de las condiciones climáticas. Los árboles jóvenes dan un látex inestable y durante la sangría ha de añadirse al mismo algo de amoníaco para asegurar su estabilidad hasta su manufactura. Este amoníaco ha de tomarse en cuenta al determinar la cantidad de ácido necesario. El látex de árboles grandes, que no ha recibido amoníaco, necesita 40ml de ácido fórmico (90%) por cada 100litros de látex (con 12% de sólidos). El ácido de 90% se diluye en agua hasta una concentración de 4% y se mezcla muy bien con el látex. El volumen de ácido debe controlarse cuidadosamente, pues el exceso impide la coagulación. En intervalo de pH de 5.05 a 4.77 está el punto iso-eléctrico en que se efectúa la coagulación del caucho. Dicho intervalo se denomina también primera zona de sólido.

2.1.2.-Orígenes históricos

Algunas de las propiedades y usos del caucho fueron descubiertos por los Indios tropicales de Sudamérica mucho antes de las travesías de Colón. Durante muchos años, los españoles trataron de duplicar los productos resistentes al agua (calzado, revestimientos, y cuerdas) de los Indios, pero ellos fracasaron. El caucho

llegó a ser meramente una curiosidad de museo en Europa durante los siguientes dos siglos.

En 1731 el gobierno Francés envió al geógrafo matemático Charles Marie Condamine (1701-74) a Sudamérica a una expedición geográfica. En 1736 él envió a Francia varios rollos de caucho crudo, junto con una descripción de los productos fabricados por los Indios del Valle del Amazona. El interés científico general en la sustancia y sus propiedades se revivió, y se buscaron las maneras para disolver el látex el cual endurece rápidamente después de ser extraído para poder trabajarse a distancia de su fuente natural. Muchos científicos trabajaron sobre el problema, y en 1770 el químico Británico Joseph Priestley descubrió que ese caucho puede usarse para borrar marcas de lápiz refregando, propiedad de la cual deriva el nombre de la sustancia. En 1791 se inició la primera aplicación comercial del caucho cuando un fabricante Inglés, Samuel de Repiqueteo, patentó un método para impermeabilizar un paño al tratarlo con una solución de caucho en trementina. El químico e inventor Británico Charles Macintosh, en 1823, estableció una planta en Glasgow para la fabricación de paño impermeable y los vestidos impermeables que han sostenido su nombre.

2.1.3.-Las Plantaciones de Caucho

Los árboles silvestres de caucho de las selvas sudamericanas continuaron siendo la fuente principal de caucho crudo para la mayoría del siglo XIX. En 1876 el Británico explorador Henry Wickham (1846-1928) obtuvo más de 70,000 semillas de *Hevea brasiliensis*, y, a pesar de un rígido embargo, las contrabandearon fuera de Brasil. Las semillas se germinaron exitosamente en los invernaderos de los jardines botánicos Reales en Londres, y se usaron para establecer la primera de las plantaciones en Ceylon (ahora Sri Lanka) y en otras regiones tropicales del hemisferio oriental.



Figura 2.2 Plantación de “*Hevea brasiliensis*”

Fuente: Revista Hevea, CAVEGO N°3 1998.

2.1.4.-Caucho crepé

Como otro tipo de plantación, para la separación del caucho rizado o caucho crepé se usa el bisulfito de sodio, NaHSO_3 , que retarda la acción de las oxidasas e impide la coloración y el ablandamiento. Los mercaptanes líquidos (como un preparado que contiene xilil-mercaptán en un hidrocarburo inerte) han tenido recientemente cierta aceptación para el mismo fin. Para 100kg de caucho seco en el látex, se necesitan alrededor de 0.5kg de bisulfito sódico. Después que se han añadido el ácido y el retardador, se deja escurrir el coágulo húmedo durante dos horas. Se hace pasar el coágulo por una máquina de rizado que consta de dos cilindros provistos de surcos longitudinales sobre los que se pulveriza agua. Los cilindros operan con distintas velocidades angulares, y cuando el caucho húmedo pasa entre ellos, la acción de cortadura y masticación expone nuevas capas a la acción del agua. Varias máquinas de éstas se usan en serie, y cuando la lámina sale de la última, presenta una superficie rugosa que recuerda el crespón o el papel crepé. Algunos

productores usan máquinas de cilindros lisos para el acabado, que dan a la superficie un aspecto más uniforme.

Un crepé de inferior calidad se obtiene del látex cuyo color ha sido alterado y de la membrana de látex seco arrancada de la corteza del árbol. Este látex se lava muy bien con agua, en las máquinas de rizado, y se elabora como el de calidades superiores.



Figura 2.3 Preparación del caucho crepé

Fuente: Revista Hevea, CAVEGO N°3 1998.

2.1.5.-Hoja ahumada

En la preparación de la hoja ahumada, la coagulación se efectúa en tanques largos de 90cm de ancho por 30cm de profundidad. El tanque tiene en los costados unos surcos verticales espaciados a distancias de unos 38mm, en los que ajustan planchas metálicas que atraviesan la anchura del tanque. El látex diluido se echa en el tanque (quitadas las láminas metálicas), se añade ácido fórmico y se agita muy bien para mezclarlo con el látex. Se insertan las láminas divisoras y se deja todo en reposo 16 horas. Al cabo de este tiempo se han formado planchas firmes de coágulo de látex de 39mm de grueso, las cuales se hacen pasar entre cilindros lisos que giran con la

misma velocidad mientras sobre ellas cae agua pulverizada. De ordinario se usan tres o cuatro máquinas de esta clase. La separación entre los cilindros decrece de una máquina a la siguiente, y los de la última tienen costillas que forman en la lámina de caucho acanaladuras. Éstas aumentan la superficie de la lámina para facilitar el secamiento y evitar que las láminas se adhieran unas a otras formando una masa sólida. Las láminas de caucho acanaladas se tienen colgadas algunas horas al aire libre y después se cuelgan en un cobertizo de secamiento por el humo, donde la temperatura se mantiene entre 40° y 50° C. Al cabo de diez días, las láminas están secas y dispuestas para el empaquetado. Por el secado, el caucho toma color ambarino y se vuelve traslúcido.

La hoja ahumada, si se compara con el crepé, tiene ventajas y desventajas. El ahumado del caucho fue ideado por los indígenas del Brasil, que en un principio secaban el caucho de Pará sobre un fuego para hacerlo más tenaz. Por la relativamente baja velocidad de deshidratación del caucho se necesitaban tiempo y calor. Esta práctica se ha extendido al caucho de las plantaciones. La acción antiséptica del humo evita la descomposición bacteriana de los componentes del suero que activan la maduración del caucho, y por esta razón aumenta la velocidad de vulcanización. No obstante, se ha visto que la prolongación del ahumado tiende a despolimerizar el caucho con perjuicio de sus propiedades de esfuerzo/deformación y de sus caracteres de envejecimiento. El uso de láminas más delgadas, menores temperaturas, mejor circulación de aire, menor tiempo de secado y de un procedimiento de secado en dos etapas, ha mejorado las propiedades físicas de las láminas de caucho.

Además del color y la calidad, se emplea un modo de clasificación por el módulo y velocidad de curado. Se vulcaniza una muestra de caucho por un procedimiento normalizado, se cura y se determina la resistencia a la tracción con alargamiento de 600%. El valor hallado es el módulo. Una marca roja en la bala de caucho indica un módulo bajo; una marca amarilla, denota módulo medio, y una azul, módulo alto.

En el Reino Unido los consumidores prefieren la clase amarilla; en los Estados Unidos son preferidas la amarilla y la azul; pocos consumidores han indicado preferencia por el caucho de curado lento, marcado con el color rojo. Un modelo de distribución del caucho clasificado técnicamente es el siguiente:

País	Módulo y velocidad de vulcanización		
	Rojo	Amarillo	Azul
Malaya	29%	68%	3%
Indochina	3%	54%	43%
Indonesia	44%	53%	3%

Tabla 2.1 Clasificación de caucho según su país de producción y características de vulcanización

Las diferencias observadas en la distribución se deben a las variantes en el proceso de producción en las haciendas y en la técnica de preparación.

2.1.6.-Estructura química

Disolventes del caucho natural. La solubilidad del caucho bruto en sus disolventes más comunes no es muy elevada. Para hacer una solución de 10% es necesaria cierta disociación, ya por medios químicos, empleando un oxidante, ya por medio físicos, utilizando un molino. Los cementos y soluciones de caucho comerciales se hacen por los métodos citados. En la práctica, los disolventes más usados son el benceno y la nafta. Otros buenos disolventes son el tricloroetileno, tetracloroetano, pentacloroetano, tetracloruro de carbono, cloroformo, tolueno, xileno, keroseno y éter. En contacto con el disolvente, el caucho se hincha primero poco a poco hasta la consistencia de gel y después éste se dispersa formando una solución. El caucho bruto aumenta de 10 a 40 veces su propio peso en disolventes que a la temperatura ordinaria forman gel con el caucho. El efecto Tyndal, propio de las dispersiones coloidales, se produce en las soluciones de caucho.

La viscosidad de la solución del caucho bruto es grande.

2.1.7.-El efecto del calor

El caucho bruto calentado hasta 200° C se ablanda y sus soluciones tienen menor viscosidad, pero el número de dobles enlaces se conserva sin alteración. Cuando la temperatura se eleva hasta 250° C, los enlaces dobles se separan y tiene lugar la formación de anillos. El cambio a caucho cíclico eleva la densidad y la solubilidad, el producto obtenido es una dura y frágil resina.

2.1.8.-Propiedades físicas

Las propiedades físicas del caucho bruto varían con la temperatura. A bajas temperaturas, se vuelve rígido, y cuando se congela en estado de extensión adquiere estructura fibrosa. Calentando a más de 100° C, se ablanda y sufre alteraciones permanentes. El caucho bruto adquiere gran deformación permanente debido a su naturaleza plástica. La plasticidad del caucho varía de un árbol a otro y también depende de la cantidad de trabajo hecho al caucho desde el estado látex, de las bacterias que lo acompañan e influyen en su oxidación y de otros factores. La plasticidad puede modificarse dentro de ciertos límites por la acción de productos químicos.

La densidad del caucho a 0° C es de 0.950 a 20° C es de 0.934. El caucho bruto deshelado después de la masticación por cilindros fríos no varía de densidad. Cuando el caucho bruto ha sido estirado y deformado durante algún tiempo, no vuelve completamente a su estado original. Si entonces se calienta, la recuperación es mayor que a la temperatura ordinaria. Este fenómeno se denomina deformación residual o estiramiento permanente y es propio del caucho.

El caucho bruto absorbe agua. Los coagulantes usados en el látex al preparar el caucho afectan al grado de absorción de agua; usando ácido clorhídrico, sulfúrico o alumbre se obtienen cauchos con poder de absorción relativamente elevado. El poder de absorción de agua del caucho purificado es muy bajo.

Gran variedad de sustancias son solubles o pueden dispersarse en caucho bruto, tales como el azufre, colorantes, ácido esteárico, N-fenil-2-naftilamina, mercaptobenzotiazol, pigmentos, aceites, resinas, ceras, negro de humo y otras.

El efecto deteriorante de la luz y el calor sobre el caucho se reconoció mucho antes del descubrimiento de la vulcanización. En una discusión de algunos problemas encontrados con mercaderías de caucho en 1826, Hancock comenzó en su "Narrativa personal del origen y progreso del Caucho de la India": "El efecto injurioso del sol sobre películas delgadas de caucho fue descubierto por nosotros y advertido antes de que se produzcan muchos daño".

El látex está disponible hoy en varias formas y diferentes concentraciones. Cuando el látex apareció por primera vez en grandes cantidades era preservado en amoníaco, en proporciones menores al 1 %, el caucho contenido variaba del 29 al 40 %, de acuerdo a las condiciones de los árboles, y especialmente a los métodos de extracción y recolección en las plantaciones. Debido a las diferentes condiciones de recolección, preservación y transporte, los procesos se vieron limitados por muchos años. Gradualmente la calidad se uniformó y aumentó más allá del estándar. Más recientemente, las concentraciones de látex disponibles en el mercado se clasificaron por su preparación:

- Por evaporación.
- Por separación parcial de sueros sólidos por métodos mecánicos.

El mejor ejemplo del primer tipo es el Revertex, preparado por evaporación del látex en presencia de un mineral alcalino (hidróxido de potasio), u otro agente estabilizante, como el jabón de potasio o alguna sal de carácter coloidal. Este posee una consistencia cremosa y contiene cerca del 75 % de los sólidos totales, de los cuales un 7 al 8 % consiste en sueros sólidos y sustancias estabilizantes agregadas.

En la segunda categoría hay dos importantes ejemplos de concentración. El primero, comercializado bajo varias denominaciones, como por ejemplo Utermark látex, Jatex o Dunlop, posee una concentración del 60 % de caucho seco, obtenido por centrifugación del látex original. Este látex concentrado tiene una ligera

consistencia cremosa, y contiene sólo una fracción de los componentes que no son caucho presentes en el látex original. Está estabilizado con amoníaco (en una concentración de aproximadamente 0,5 % de NH_3 en peso), y es capaz de dar un color pálido característico.

Los usos del látex en la industria son:

Adhesivos y cementos: es un hecho interesante del látex-caucho, que es ventajoso porque es fibroso y posee plasticidad, por lo que posee aplicación comercial en los adhesivos y cementos.

El látex posee dos particulares virtudes, la primera de ellas es su gran resistencia aún sin vulcanizar, y la segunda es que es un excelente adhesivo en instancias en las que el material a pegar está mojado con agua.

El caucho se utiliza en la fabricación de cubiertas para automóviles. Esta es la aplicación más importante del caucho, aunque actualmente la mayor parte del caucho utilizado en la fabricación de cubiertas para automóviles es caucho sintético, ya que las propiedades de este caucho son más adecuadas para este tipo de productos.

2.1.9.-Preparación del látex del caucho natural

Hasta 1930, el látex de caucho natural, aparte de su empleo para fabricar el crepé y la lámina ahumada, tenía pocas y pequeñas aplicaciones industriales. El contenido de sólidos del caucho fresco de árboles de media edad oscila entre 32 y 38%. En los árboles jóvenes desciende hasta 20%, y en árboles viejos y en los que no han sido sangrados mucho tiempo, la cifra se eleva hasta 45%. Aunque, aproximadamente, 90% de los sólidos son de hidrocarburo del caucho, se hallan también enzimas, proteínas, azúcares, tanino, alcaloides, sales minerales y algunos componentes de la corteza. Algunas de estas sustancias distintas del hidrocarburo del caucho son las que motivan a la estabilización de las partículas coloidales del mismo en el agua. Otras afectan el color y otras cooperan a los caracteres físicos del caucho contenido en el látex.

Cuando fluye del árbol, el látex es casi neutro, pero la acción de enzimas y bacterias lo vuelve ácido y entonces el látex tiende a coagularse. Para evitar la coagulación y conservar el látex en su estado coloidal estable, se le añaden bactericidas y conservadores lo antes posible después que ha sido obtenido del árbol. El preservativo más común es el amoníaco, pero se usan también el formaldehído, hidróxido de sodio, jabón y ciertos productos químicos bactericidas, como las sales de pentaclorofenol. En las plantaciones se suele colocar una pequeña cantidad de amoníaco acuoso en la vasija en la que se recoge el látex fresco. El látex obtenido se lleva a la estación, donde se le añade amoníaco en estado gaseoso.

2.2.-Látex normal

Se llama látex normal al látex que ha sido estabilizado convenientemente y del cual se ha separado parte del lodo por sedimentación. Sufre también una ligera cremificación que aumenta el número de sólidos disueltos hasta el 40%.

Por reposo, el látex que contiene amoníaco precipita en forma de lodo algunos de los componentes de las cenizas en cantidad aproximada de 0.08% de un total de 35% de sólidos. El látex húmedo contiene 0.4% de cenizas, o sea 1.154 g/100 g de sólidos.

El color del látex del hevea, según las condiciones climáticas y la estación del año es gris, amarillo o rosado. El látex de los árboles que han tenido un período de descanso es amarillo y da caucho de ese color. Después de algunos días de sangrado, vuelve a su color natural.

2.2.1.-Látex centrifugado

Por razones del costo de transporte y facilidad de aplicación, todo el látex usado en la industria esta en forma concentrada. El más usado es el látex centrifugado, el cual se obtiene tratando el látex fresco con un agente estabilizador, como el amoníaco, y después haciéndolo pasar por una máquina centrífuga. El látex se estabiliza con 0.3% de amoníaco, se centrifuga y después se ajusta a 0.6% para asegurar mayor vida de almacenaje. Variando la operación de centrifugación, la

cantidad relativa de concentrado y de suero puede ajustarse a un nivel económico. Aproximadamente 80% del contenido de sólidos del látex fresco queda en el concentrado y 20% en el suero o la nata.

2.2.2.-Látex cremificado

Otro método para concentrar el látex de hevea es la cremificación. El látex normalmente amoniacado se cremifica mediante prolongado reposo, pero así no se concentra mucho en sólidos. Distintas sustancias caracterizadas por su peso molecular relativamente elevado, gran viscosidad y limitada solubilidad en agua se emplean para cremificar el látex, entre ellas la gelatina, metilcelulosa, goma arábiga, ácido algínico y sales del ácido algínico. No obstante, los procedimientos industriales de cremificación se basan casi todos en el empleo de sales sódicas o amoniacaes del ácido algínico.

En las plantaciones se toma el látex como se obtiene del árbol, se le añade amoníaco y se le quita el lodo dejándolo en reposo varios días o por centrifugación. Se añade al látex el agente de cremificación en solución de 1.5-2.5% o más alta, y se agita. Durante varios días se deja reposar la mezcla, sin agitarla, hasta que se separa en dos capas. El suero se saca por el fondo, el concentrado se agita de nuevo y después de cierto tiempo se realiza una nueva separación y se saca una segunda porción de suero. Se añade amoníaco al concentrado hasta 1.6% o más, basado en el agua del látex, y el látex cremificado, con un total de sólidos comprendido entre 62 y 68%, queda así preparado para su expedición.

2.2.3.-Consumo de látex

Se estima que más de 65% del látex natural usado en los Estados Unidos se emplea en la industria de la producción de espuma o esponja de caucho (hule-espuma). El resto se emplea en objetos formados por inmersión, revestimiento de telas, impregnación y artículos moldeados. Las propiedades físicas del látex de

caucho natural son muy superiores a las de cualquiera de los látex sintéticos experimentados hasta el presente.

2.3.-Caucho guayule

El arbusto guayule, perteneciente a la familia de las compuestas, es una fuente de caucho natural en América del norte. El guayule es indígena en el norte y centro de México y se extiende hasta Texas. El cultivo de este arbusto, que habita en un ambiente semidesértico, comenzó en 1942, año en que, a causa de la segunda guerra mundial, se cortó el suministro de los principales países productores de caucho natural.

Lo contrario que el árbol del hevea, en el cual el látex circula por un sistema de canales, el caucho en el guayule está encerrado en células. Para obtener el caucho del guayule se deshoja el arbusto en agua hirviendo. Se corta el arbusto en trozos de unos 3mm, se muelen con piedras de pedernal en un molino parcialmente lleno de agua, se deja flotar el caucho, se sedimentan los residuos de la planta en un tanque de flotación con agua, se hierven para extraer el material ocluido, se hace nueva flotación y se seca el caucho bruto.

Puesto que el caucho guayule crudo es susceptible de oxidación en mayor grado que el caucho bruto del hevea, se le añade un antioxidante. El 4,4-diaminofenilmetano es un antioxidante eficaz.

El caucho de guayule es químicamente idéntico al del hevea como polímero cis del isopreno. Pero su peso molecular es algo menor y el porcentaje de impurezas es mayor.

2.4.-Gutapercha

La gutapercha se obtiene de ciertos árboles pertenecientes a la familia de las sapotáceas. La gutapercha silvestre se obtenía en un principio, cortando el árbol y despojándolo de su corteza; el tronco exudaba entonces la goma, que se arrancaba del mismo por rascado en masas coaguladas. Hoy la mayor producción de gutapercha se

obtiene de plantaciones formadas por híbridos de especies de *palaquium*. Las hojas maduras se recogen periódicamente y se trituran en molinos que liberan las fibras de gutapercha con poca desintegración del polímero. La masa se trata entonces con agua a unos 70° C durante 30 minutos para que los tejidos de las hojas se ablanden. Esta masa se sumerge en agua fría y la gutapercha asciende a la superficie donde es recogida. Por el lavado se obtiene un producto de mayor pureza. Además de la extracción de la gutapercha de las hojas, los árboles pueden ser sangrados sistemáticamente como se hace con el hevea. El látex se coagula por acción del agua caliente y la gutapercha es recuperada. Para obtener una gutapercha más pura, se extraen con unos disolventes las resinas y gomas insolubles en el agua. La gutapercha se comprime finalmente en bloques que se envían al mercado.

La gutapercha tiene la misma fórmula empírica que el hidrocarburo del caucho del hevea, pero mientras el caucho del hevea es el isómero *cis*, la gutapercha es el isómero *trans*.

La balata, que tiene la misma composición química que la gutapercha, es un producto de América del sur. Se recolecta de un árbol silvestre por un procedimiento similar al de la digestión de las hojas de la gutapercha.

2.5.-Aceleradores de la vulcanización

Los aceleradores de la vulcanización son sustancias que, añadidas en cantidades pequeñas a la mezcla de caucho, que contiene otras materias accesorias, aumentan considerablemente la rapidez de vulcanización. Su utilidad se extiende más allá de este efecto, pues mejoran notablemente la calidad del producto. La industria moderna del caucho no podría subsistir sin el empleo de los aceleradores de la vulcanización.

Con anterioridad al descubrimiento de los aceleradores orgánicos, se usaban compuestos inorgánicos de carácter básico; blanco de plomo, litárgiro, cal y magnesia, que han sido sustituidos casi completamente por los aceleradores orgánicos. El primero de estos fue la anilina. La anilina era superior a los óxidos de

metales no solo en la aceleración sino también en el mejoramiento de las propiedades del producto final. Como la anilina es demasiado tóxica para uso general, se experimentaron varios derivados, la tiocarbanilida, producto de la reacción de la anilina y el sulfuro de carbono, fue adoptada y usada por más de veinte años. Las aldehídoaminas y las guanidinas dieron todavía mejores resultados y tuvieron extenso uso.

Los tiazoles han reemplazado en gran medida a los aceleradores de otros grupos. Los sulfuros de tiouram se emplean también como aceleradores.

2.5.1.-Teoría sobre la acción de los aceleradores

Algunos autores suponen que la aceleración obra por catálisis, convirtiendo el azufre elemental en una forma más activa que actúa como agente vulcanizador. Según otros, la descomposición térmica del acelerador proporciona radicales que quitan átomos de hidrogeno a las moléculas de isopreno e inician la reacción en cadena entre el azufre y el caucho. Según ciertas teorías, en forma activa se une a las moléculas de caucho en los dobles enlaces o sustituye átomos de hidrógeno butil-metilénico durante la vulcanización formando puentes o enlaces cruzados de sulfuro y disulfuro. Los aceleradores se consumen parcialmente o por completo durante la vulcanización y pueden funcionar en las etapas iniciales y terminales de la misma.

2.5.2.-Clasificación química

Los aceleradores se dividen en cuatro grupos químicos: mercaptotiazoles y sus derivados, diotiocarbamatos y sulfuros de bis(tiocarbamoílo), guanidinas y productos de reacción de aldehidos y aminas.

Antioxidantes

Los antioxidantes usados en el caucho son sustancias que retardan el deterioro del caucho natural, ya sea bruto o vulcanizado, causado por la oxidación. Algunas de las sustancias usadas para este fin son estabilizadores del caucho sintético (principalmente de los polímeros de butadieno) en el momento de la preparación, y

cuando se usan de este modo se denominan estabilizadores. También se han llamado antioxidígenos. Sin embargo, el uso ha consagrado los nombres de antioxidantes y estabilizadores, antes definidos.

Con el empleo de aceleradores orgánicos, se mejora la maduración de las composiciones de que formaban parte. Entonces comenzó la busca de materiales retardadores del deterioro que no afectasen apreciablemente el grado de vulcanización.

El uso industrial de antioxidantes en escala relativamente grande comenzó hacia 1930. De los primeros que se emplearon fueron la aldol-1-naftilamina y el acetaldehído-anilina. Estas sustancias están casi libres de acción aceleradora y su aparición señala una época en el progreso de las composiciones de caucho. Actualmente el consumo anual de estos materiales en los cauchos naturales y sintéticos es de unos veintidós millones de kilogramos.

2.6.-Técnica de la acción antioxidante

Los cambios en las propiedades físicas del caucho durante la deterioración se atribuyen a varias reacciones, principalmente la formación de enlaces cruzados y la escisión del polímero. El oxígeno ataca el caucho vulcanizado.

2.6.1.-Clasificación química

Los antioxidantes de uso industrial se dividen en tres grupos: diarilaminas; productos de reacción de acetonas y arilamina; fenoles.

2.7.-Diversos productos químicos para el caucho

Hay otros materiales, además de los ya descritos, que se consideran como productos químicos para el caucho:

2.7.1.-Parafinas

Las parafinas añadidas al caucho evitan el agrietamiento debido a la acción del ozono sobre el caucho estirado. La parafina sólo obra cuando una parte de ella contenida en el material aparece en la superficie cubriéndola con una capa continua. Se cree que la película de parafina no es impermeable al ozono, y es desconocido el modo en que da protección. La película es útil en la exposición a cargas eléctricas. La película de parafina se destruye fácilmente, y si no se regenera la reserva existente en el interior del protecto, sobreviene el agrietamiento.

2.7.2.-Agentes gasógenos

Para obtener productos de estructura celular, ya sea de celdillas abiertas o cerradas, se utiliza un gas que puede ser generado en el interior del material durante la vulcanización o disuelto en éste a presión alta.

El clásico agente gasógeno es el bicarbonato sódico. También se usa el bicarbonato amónico, que se descompone más rápidamente. El proceso de inyección de gas consiste en saturar el material de gas carbónico o nitrógeno a gran presión y seguidamente reducir la presión en el momento apropiado de la vulcanización para que se produzca el esponjamiento.

2.7.3.-Activadores orgánicos

Diversas sustancias orgánicas se venden en calidad de activadores de la vulcanización. Algunas no son aceleradoras cuando se usan solas; pero asociadas a un acelerador primario aumentan la velocidad de vulcanización sobre el valor obtenido con el acelerador solo. Con esta asociación se obtiene una rápida vulcanización más económicamente que si se usa mayor concentración de acelerador sin el activador. El sistema de vulcanización con azufre, acelerador y óxido metálico es sensible al pH.

Un pH bajo retarda la vulcanización y un pH elevado la activa. Por esta razón, la mayoría de los activadores son sustancias que elevan el pH del sistema.

2.7.4.-Plastificantes químicos

Los plastificantes químicos son sustancias que aceleran la reducción de la viscosidad del caucho durante la masticación o molinado. Se usan principalmente con el caucho natural, el cual en estado bruto es demasiado viscoso para su empleo inmediato y requiere el reblandecimiento previo.

Los plastificantes químicos actúan sólo en la zona de elevadas temperaturas, pero no se conoce su modo de acción. La mayoría son mercaptanes o compuestos de azufre capaces de formar mercaptanes y cabe suponer que en presencia del oxígeno estas sustancias (o sus radicales) atacan a los dobles enlaces y dejan grupos terminales R-S al final de las cadenas rotas.

2.7.5.-Agentes de regeneración

Entre las sustancias usadas en las operaciones de regeneración del caucho están los agentes de desfibración, como el hidróxido sódico o el cloruro de cinc; los agentes de hinchazón, como aceites y plastificantes, y cierto número de productos químicos preparados especialmente para activar los procesos de regeneración. Los productos químicos especiales se distinguen de los dos primeros grupos de sustancias en que producen mucho mayor efecto y se usan en menos concentración.

2.7.6.-Agentes de vulcanización

El azufre, el agente de vulcanización del caucho casi universal, se usa generalmente en la forma de azufre molido comercial. Una variedad que contiene 90% de azufre en forma insoluble en el sulfuro de carbono se usa en cierta extensión allí donde es inconveniente la eflorescencia de azufre del material no vulcanizado. Durante la vulcanización, la forma insoluble se convierte en azufre ordinario y la operación avanza normalmente.

Las combinaciones orgánicas sulfurosas capaces de liberar azufre a las temperaturas de vulcanización sirven también para esta operación. Los elementos

selenio y telurio y el monocloruro de azufre se usan también algo como agentes de vulcanización.

El requisito principal que debe cumplir un agente vulcanizador es que efectúe la vulcanización después de ser expuesto a temperatura conveniente. Las principales transformaciones producidas por la vulcanización son la represión de la plasticidad, aumento de la elasticidad y aumento de la resistencia. Un agente vulcanizador debe ser soluble en el caucho o estar dividido en partículas finas para que pueda dispersarse con facilidad y uniformidad en el caucho. Debe ser preferentemente no tóxico y no teñir.

2.7.7.-Retardadores

El retardador ideal sería una sustancia que retardase el comienzo de la vulcanización y que no afectase el curso subsiguiente de la vulcanización. Frecuentemente se afirma que los retardadores o un retardador particular reprimen el comienzo de la vulcanización a las temperaturas de elaboración, pero no retarda e incluso activa el curado a las temperaturas de vulcanización.

Los retardadores comerciales más aceptados para las vulcanizaciones con azufre son el ácido salicílico, ácido benzoico, anhídrido ftálico, y la tricloromelamina. Las sales de plomo y cadmio son retardadores de sistemas que emplean los sulfuros de bis (tiocarbamoílo) como aceleradores.

Un retardador verdaderamente eficaz debe aumentar el tiempo requerido para el comienzo de la vulcanización (a cualquier temperatura), pero no debe retardar la subsiguiente velocidad de vulcanización. Una sustancia que retarda ambos procesos produce el mismo efecto que una reducción de la dosis de acelerador, lo que significa un consumo inútil. Un retardador debe ser capaz de dispersarse fácilmente en el caucho y por esta razón debe ser soluble en el mismo o estar en partículas sumamente finas. Conviene que sea no tóxico e inodoro; no debe teñir, y ha de ser estable en almacenamiento.

2.8.-Caucho y cauchos sintéticos

2.8.1.-Caucho: (materia prima); látex producido por varias moráceas y euforbiáceas intertropicales, entre las que se destaca la *Hevea brasiliensis*.

Cuando por cortes o incisiones se rompen los conductos lactíferos de los árboles productores de caucho, estos segregan un líquido lechoso y turbio que contiene el caucho en suspensión y dividido en pequeñas gotitas de aspecto emulsionado. Como la secreción es relativamente abundante la misma se recoge en recipientes especiales en forma de pequeños baldes que se cuelgan al termino de las incisiones; luego el jugo recolectado es sometido a un tratamiento para solidificarlo por evaporación o coagulación, ahumado, etc. en el mismo lugar de la cosecha.

El caucho es el cuerpo sólido que tiene el mayor coeficiente de dilatación conciso y que aumenta considerablemente con la vulcanización. Un corte reciente de caucho crudo, o sea sin vulcanizar se puede volver a unir soldándose entre sí con sólo presionar uno contra otro. Una vez vulcanizado pierde esta propiedad pero adquiere una mayor elasticidad, pudiendo alargarse hasta seis veces su longitud primitiva.

El alargamiento del caucho vulcanizado es acompañado de una elevación de temperatura y en cambio se produce un enfriamiento cuando retorna a su estado normal. Por síntesis se han elaborado diferentes productos de propiedades físicas parecidas a las del producto vegetal.

2.8.2.-Caucho natural y cauchos sintéticos

El caucho es un hidrocarburo de gran importancia que se obtiene del látex de ciertos árboles de la zona tropical. Cuando se calienta el látex o se le añade ácido acético, los hidrocarburos en suspensión, con pequeñas cantidades de otras sustancias se coagulan y pueden extraerse del líquido. El producto obtenido es el caucho bruto del comercio, viscoso y pegajoso, blando en caliente y duro y quebradizo en frío. Al estirarlo, no vuelve a adquirir después la forma primitiva.

El producto, observado ya por Colón en las indias occidentales, permaneció prácticamente sin valor hasta que en 1839, Charles Goodyear descubrió que amasando bien el caucho con azufre y calentándolo a una temperatura superior a 100° C, el azufre se combina químicamente con el caucho y el producto que resulta tiene propiedades mucho más útiles; no se deforma por el calor, no es quebradizo en frío y sobre todo, no es pegajoso. Además, si se estira un trozo, recupera después de la tensión su forma primitiva. Los anillos del S₈ se abren y se combinan con los dobles enlaces de las moléculas de caucho formando puentes de cadenas de azufre de una molécula de caucho a otra y dando lugar a una trama total. Este proceso se llama vulcanización. Distintas sustancias como el negro de humo y óxidos de zinc y plomo, y muchos productos orgánicos, actúan de acelerantes de la vulcanización, dando además un caucho más tenaz y duradero. El caucho natural se considera como un polímero del isopreno.

La formación de los distintos cauchos sintéticos se basa en la polimerización del butadieno o de homólogos (isopreno) o derivados (cloropreno) que tiene la misma estructura.

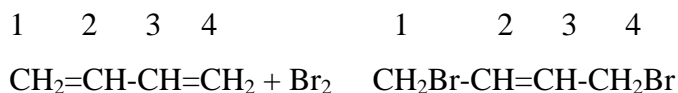
Se conocen gran variedad de cauchos sintéticos, algunos de cualidades mecánicas mejores que el caucho natural. El “buna 85” esta formado por polimerización del butadieno, el “neopreno” por polimerización del cloropreno, el “perbunan N” a partir del butadieno y el cianuro de vinilo, el “buna S” a partir del butadieno y el estirolo, así como otros muchos de composición más o menos conocidas y patentados con nombres que no guardan relación con los monómeros que los integran (“ameripol”, “koroseal”, “thincol”, “chemigum”, etc).

2.9.-Diolefinas o alkadienos

Existen muchos hidrocarburos con dos dobles enlaces que son isómeros de los correspondientes de la serie del acetileno.

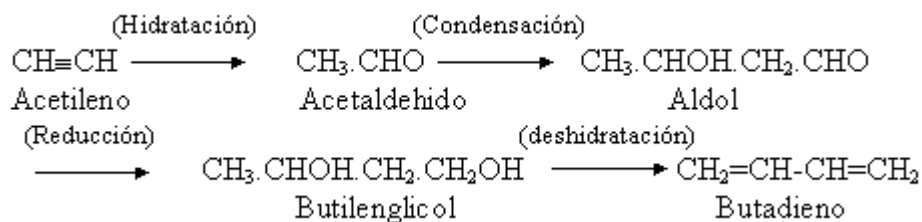
Así, por ejemplo, el 1 butino o etil acetileno, CH=C-CH₂-CH₃, es isómero del CH₂=CH-CH=CH₂ denominado 1,3 butadieno. La presencia de los dobles enlaces

viene indicada por la terminación dieno. Cuando los dobles enlaces se encuentran separados por un enlace sencillo dan lugar a una configuración estable y constituyen un llamado doble enlace conjugado, que se comporta especialmente porque en ocasiones reacciona como un solo doble enlace adicionándose en los carbonos extremos 1 y 4 y formándose un doble enlace entre los carbonos 2 y 3:

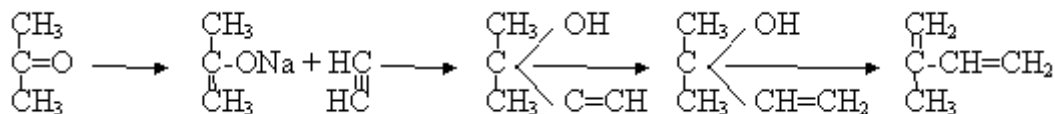


Los dos alkadienos más importantes son el butadieno ya citado y el isopropeno o 2 metil 1,3 butadieno, que constituye uno de los productos de descomposición del caucho natural. Estos dos hidrocarburos junto con el 2 cloro 1,3 butadieno, constituyen los productos básicos que por polimerización dan lugar al caucho sintético.

El butadieno se obtiene por deshidrogenación del buteno que se forma en la refinación del petróleo o sintéticamente a partir del acetileno mediante los procesos correspondientes a las siguientes transformaciones:



El isopreno se obtiene a partir de los pentanos del petróleo y se forma como subproducto en la preparación catalítica del butadieno a partir de las fracciones del petróleo consiguientes. Puede también obtenerse por síntesis a través de la acetona y el acetileno mediante los procesos que esquematizan las transformaciones siguientes:



El cloropreno se obtiene polimerizando el acetileno a vinil acetileno, el cual adiciona después cloruro de hidrogeno.

2.10.-Elastómeros

Un elastómero posee un alto grado de elasticidad que es característico del caucho: puede ser deformado considerablemente, para, sin embargo, volver a su forma original. Como en el caso de las fibras sus moléculas son alargadas y delgadas, y se alinean cuando se estira el material. La gran diferencia es esta: cuando se elimina la fuerza de estiramiento las moléculas de un elastómero no permanecen extendidas y alineadas; vuelven a sus conformaciones desordenadas originales favorecidas por la entropía. No permanecen alineadas, porque las fuerzas intermoleculares necesarias para sujetarlas en este ordenamiento son más débiles que la de las fibras. En general, los elastómeros no tiene grupos muy polares o lugares muy aptos para puentes de hidrogeno: las cadenas extendidas no se ajustan muy bien entre si por lo que no pueden operar eficientemente las fuerzas de Van Der Waals. En un elastómero la entropía derrota a la entalpía.

Un requisito adicional: las cadenas largas de un elastómero se conectan entre si por enlaces cruzados ocasionales: deben ser suficientes para evitar el deslizamiento de las moléculas, pero no privar a las cadenas de la flexibilidad necesaria para extenderse con facilidad y volver nuevamente al desorden.

El caucho natural ilustra estos requisitos estructurales de un elastómero; cadenas largas y flexibles; fuerzas intermoleculares débiles y enlaces intermoleculares ocasionales. El caucho es cis-1,4-polisopreno. Al no tener sustituyentes fuertemente polares, la atracción intermolecular queda limitada a las fuerzas de Van Der Waals, débiles por la configuración cis en todos los dobles enlaces. La configuración trans permite cadenas extendidas muy regularmente zigzagueantes que pueden juntarse bien, cosa que no es posible para la configuración cis. El estéreo-isómero totalmente trans se encuentra en la naturaleza en forma de gutapercha; es altamente cristalino y carece de elasticidad.

Los enlaces cruzados del caucho se logran por medio de la vulcanización, que establece puentes de azufre entre las moléculas, reacción que implica las posiciones alílicas muy reactivas por lo que depende del doble enlace en el polímero.

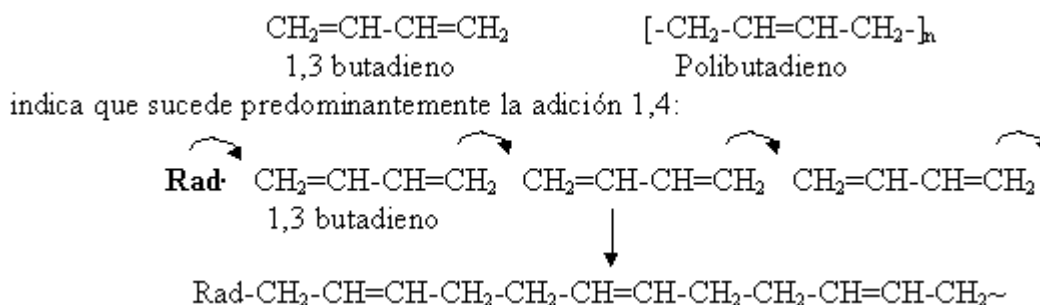
De los elastómeros sintéticos el más importante es el SBR un copolímero del butadieno (75%) y estireno (25%) que se produce por medio de radicales libres; compite con el caucho en el uso mayor de los elastómeros, o sea, la manufactura de neumáticos para automóviles. Puede obtenerse polibutadieno y polisopreno totalmente cis por medio de la polimerización Ziegler-Natta.

Un elastómero completo o mayormente polidiénico es, por supuesto, altamente no saturado. Sin embargo, lo único que se exige de un elastómero es una insaturación suficiente para permitir la formación de enlaces cruzados: por ejemplo, en la manufactura del caucho butílico solo se copolimeriza un 5% de isopreno con isobutileno.

2.11.-Polimerización de dienos por radicales libres

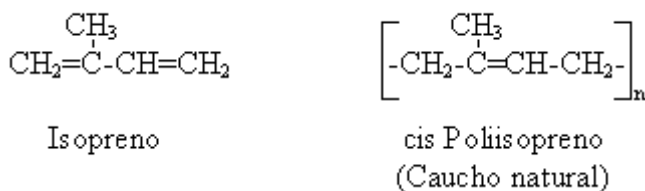
2.11.1.-Caucho y sustitutos del caucho

Al igual que los etilenos sustituidos, los dienos conjugados también pueden polimerizarse con radicales libres. Por ejemplo, del 1,3 butadieno se obtiene un polímero cuya estructura

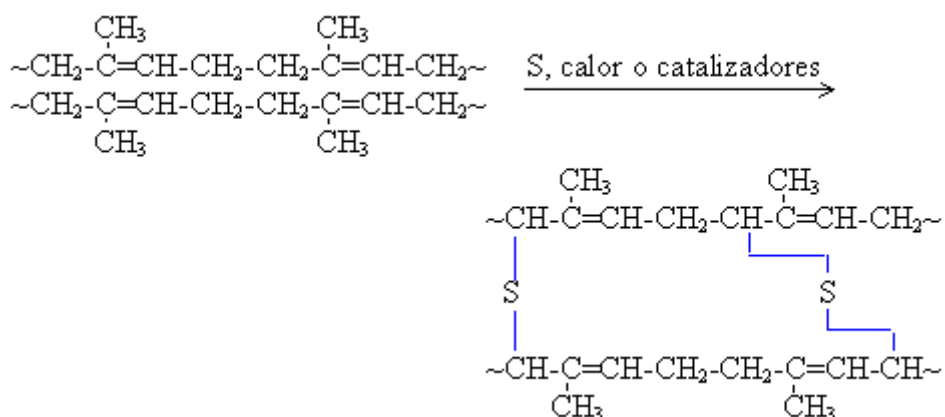


Este polímero difiere de los obtenidos de alquenos simples en un aspecto muy importante: cada unidad aun tiene un doble enlace.

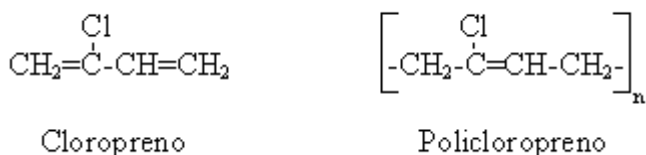
En el caucho natural tiene una estructura muy semejante a la de estos polidienos sintéticos. Podemos considerarlo un polímero del dieno conjugado 2 metil 1,3 butadieno, o isopreno.



Los dobles enlaces de la molécula del caucho son de gran importancia porque permiten su vulcanización -aparentemente proporcionando hidrógenos alílicos reactivos-; es decir la formación de puentes de azufre entre cadenas diferentes. Estos enlaces cruzados endurecen y dan mayor resistencia al caucho, y eliminan la pegajosidad del caucho no tratado.



La polimerización de dienos para obtener sustitutos del caucho fue la precursora de la desarrollada industria actual de plásticos. El policloropreno (Neopren, Dupren) fue el primer sustituyo del caucho de éxito comercial en Estados Unidos.



En parte, las propiedades de los sustitutos del caucho -como las de otros polímeros- están determinadas por la naturaleza de los grupos sustituyentes. El policloropreno, por ejemplo, es inferior al caucho natural en algunas de sus

propiedades, pero superior en su resistencia a aceites, gasolina y otros disolventes orgánicos.

También pueden obtenerse artificialmente polímeros del isopreno; contienen la misma cadena no saturada y el mismo sustituyente (el grupo $-\text{CH}_3$) que el caucho natural. Pero el polisopreno obtenido por el proceso de radicales libres, era -en relación con las propiedades que realmente importan- muy inferior al natural. Su estereo-química era distinta: el caucho natural tiene la configuración cis en (casi) todos sus dobles enlaces; el material artificial era una mezcla de cis y trans. No pudo lograrse un caucho sintético verdadero hasta 1955; lo que se necesitaba era un tipo de catalizador totalmente nuevo, además de un mecanismo de polimerización enteramente diferente. Con ellos se hizo posible la polimerización estereo-selectiva del isopreno, obteniéndose un material virtualmente idéntico al caucho natural: el cis 1,4 polisopreno.

2.11.2.-Isopreno y la regla isoprénica

La unidad isoprénica es uno de los bloques constructivos favoritos de la naturaleza. No solo aparece en el caucho, sino también en una variedad de compuestos que se aíslan de fuentes vegetales y animales. Por ejemplo, casi todos los terpenos (se encuentran en los aceites esenciales de muchas plantas) tienen esqueletos carbonados constituidos con unidades de isopreno unidas entre si de un modo regular de “de pies a cabeza”. El reconocimiento de este hecho -la llamada regla isoprénica- ha sido de gran ayuda en la comprensión de las estructuras de los terpenos.

2.12.-Procesos Modernos de Fabricación

En la fabricación moderna de artículos de caucho natural, el caucho crudo se trata con varios compuestos mezclándolos en máquinas. La mezcla se aplica entonces mecánicamente a una base o molde, y el objeto revestido o formado de la mezcla se pone en moldes y vulcaniza.

Las principales fuentes de caucho crudo son las planchas, porciones, o las tortas producidas en plantaciones de caucho desde el látex de árboles de Hevea, en operaciones seguras de fabricación. El caucho crudo se usa como embarcado; los grados secundarios se lavan para quitar arena, la corteza, y el otro material extraño, y se tratan para quitar excesiva resina. El caucho reclamado, tratado calentando con álcali por 12 a 30 horas, puede usarse como un adulterante de caucho crudo para rebajar el precio del artículo terminado. Las cantidades de caucho reclamado que se usa dependen de la calidad del artículo a ser fabricado.

2.12.1.-Ingredientes

Para la mayoría de aplicaciones, el caucho crudo se mezcla con una variedad de ingredientes para modificar sus características. Fillers que endurecen el caucho en el producto final, pero que no aumentan su fortaleza, se incluye agentes como pescadillas, o carbonato de calcio, y bario, o sulfato de bario. Los fillers para reforzar agregan carga material y fortaleza al producto acabado; se incluyen el negro de carbón, óxido de zinc, carbonato de magnesio, y diversas arcillas. Los pigmentos incluyen óxido de zinc, litopones, y un número de tinturas orgánicas. Los suavizadores, que son necesarios cuando la mezcla es demasiado yerta para la incorporación apropiada de los diversos ingredientes, consiste comúnmente en productos del petróleo, tales como petróleos o ceras, de brea, o de ácidos pingüe.

El principal agente vulcanizante continúa siendo el azufre; el selenio y el telurio se usan también, pero generalmente con proporciones grandes de azufre. En el proceso de vulcanización en caliente, que es usada para la mayoría de las mercaderías de caucho, el azufre se utiliza en polvo y se mezcla con el caucho a la vez que los otros ingredientes secos. La proporción de azufre-caucho varía desde 1:40 en mercaderías de caucho suave, a como mucho como 1:1 en el caucho duro. La vulcanización fría, usada principalmente para el caucho delgado y suave en mercaderías tales como los guantes y sheeting, es realizado por exponer los artículos sin tratar al vapor de cloruro de azufre, S_2Cl_2 . Los aceleradores de la vulcanización

primero óxidos metálicos únicos incluidos, tal como lima y delantera blanca. Desde los descubrimientos de Oenslager, sin embargo, se incluyen una variedad amplia de aminas orgánicas. Los agentes de resistencia al paso del tiempo y la corrosión son compuestos de aminas mayormente secundarias.

2.12.2.-Máquinas de masticar

Antes que los ingredientes se mezclen con el caucho crudo, se someten al proceso molienda mecánica llamado masticación, para hacer al caucho suave, plástico, y viscoso. En tales condiciones, se mezcla más fácilmente y completamente con los diversos fillers, pigmentos, agentes vulcanizantes, y los otros ingredientes secos, o con los diversos solventes para su uso en la producción de cementos. Los masticadores son de dos tipos. Un tipo es el molino de caucho, el cual consiste de dos rodillos de acero, que rotan a velocidades diferentes en un recipiente para esquilarse y amasar el caucho hasta que sea estropeado a una condición suave y flexible. Los rodillos poseen una cavidad para permitir la circulación de vapor o agua fría para controlar la temperatura de la operación. Después del decenio de 1920 el molino de caucho fue reemplazado en su mayor parte por el "Gordon plasticator", que consiste de una poderosa hélice de velocidad variable atornillada (como las procesadoras alimentario familiar común) colocada en un cilindro recubridor. La acción de la hélice al batir genera sobre el caucho temperaturas de 182° C (360 F). El calor, más que la acción mecánica, estropea el caucho.

2.12.3.-Máquinas mezcladoras

Después del masticador, la próxima máquina en la línea de producción es el mezclador. Los mezcladores pueden parecerse a los masticadores en tener los dos rodillos, pero los rodillos de las mezcladoras rotan en direcciones opuestas, considerando que en los masticadores los rodillos rotan en la misma dirección a velocidades diferentes. Los cilindros mezcladores se usan también, especialmente en la preparación de cementos y soluciones de caucho en solventes. Tales preparaciones

líquidas de caucho se usan en la impermeabilización de telas y en la fabricación de artículos, tales como guantes de caucho, que se forman al sumergir una pieza en la solución. En la mayoría de los casos, sin embargo, los ingredientes mezclados son secos para luego almacenarlos, para la expulsión, u otra fabricación en la preparación de la vulcanización final.

2.12.4.-Calendering

Después del caucho crudo ha sido plastificado y mezclado con los diferentes ingredientes, experimenta un calendering o expulsión, dependiendo del uso para que se destine. Calenders son máquinas que consisten en un conjunto de tres a cinco rollos de igual diámetro, los cuales están preparados para ser ajustados para la autorización en diversos rollos, y para operar a la misma velocidad, o a velocidades diferentes, dependiendo del producto deseado. Calenders se usan para laminado (la producción de hojas compuestas de caucho crudo, con o sin diseños impresionados tales como la marca de huella de una llanta); para friccionar (el exprimidor de caucho en la textura de telas o acordona); o para cubrir, con una capa de caucho, telas o cordones que habían anteriormente sido revestidos. Los productos del calender son utilizados generalmente en la fabricación, como en los procesos involucrados en la fabricación de las llantas de automóvil, antes que se vulcanizan.

2.12.5.-La expulsión

Las prensas de expulsión se usan para forzar el compuesto de caucho mediante presión a formar planchas, tubos, o especialmente formar fajas, que se usan en la fabricación de la cámaras de caucho, mangueras, cámaras de aire, y los canales para colocar ventanas o sellar puertas. Las cabezas de expulsión, especialmente diseñadas, se usan para cubrir tela tubular en hacer la manguera de presión y mezclar colores en modelos jaspeados o rayados.

2.12.6.-Vulcanización

La vulcanización es el tratamiento que realiza el encadenamiento transversal de las moléculas del elastómero mediante el cual el caucho se vuelve más rígido y resistente, reteniendo su extensibilidad. Es un paso crítico en la secuencia del procesamiento del caucho. Las moléculas de cadena larga del caucho se unen en ciertos puntos de cruce cuyo efecto es reducir la disposición a fluir del elastómero. Un caucho suave típico tiene uno o dos encadenamientos transversales por cada mil unidades (meros). Al aumentar el número de encadenamientos transversales, el polímero se vuelve más rígido y se comporta más como un plástico termofijo (caucho duro).

Para el caucho natural hay un tiempo de curado (vulcanizado) óptimo y éste depende del criterio a seguir con respecto a la rigidez o resistencia a la tensión. El incremento en el tiempo de curado más allá del óptimo ocasiona que el efecto en el elastómero empiece a revertirse; es decir, que disminuya el encadenamiento transversal con una reducción correspondiente de las propiedades mecánicas. Ciertos cauchos sintéticos que se curan con azufre (SBR el más notable), no presentan esta propiedad de degradación.

En los procesos de moldeo de caucho, se realiza la vulcanización en el molde, la temperatura del molde se mantiene a un nivel apropiado para el curado.

2.13.-Procesos de Moldeo

Los principales procesos de moldeo para caucho son:

- Moldeo por compresión.
- Moldeo por transferencia.
- Moldeo por inyección.

En los tres procesos se realiza el curado en el molde, todos ellos requieren un paso de vulcanización. El moldeo por compresión es la técnica más importante debido a su uso en la manufactura de llantas. Con el moldeo por inyección de caucho

existe el riesgo de curado prematuro, sus ventajas radican en un mejoramiento de control dimensional, menos desperdicio y ciclos de tiempo más cortos.

El proceso de moldeo para un elastómero sigue la siguiente secuencia:

- Se coloca en la parte inferior del molde, una cantidad fija de moldeo llamada carga.
- Se unen las mitades del molde para comprimir la carga y forzarla a tomar la forma de la cavidad.
- Se calienta la carga a través del molde para que polimerice y cure el material, transformándose en una pieza sólida y
- Se abre el molde y se retira la parte de la cavidad.

La carga inicial del compuesto de moldeo puede estar en forma de polvos, pelets, líquido, o partes preformadas. La cantidad de polímero debe controlarse con toda precisión para obtener una consistencia uniforme en el producto moldeado.

Las prensas de moldeo por compresión están orientadas verticalmente y contienen dos placas a las cuales se sujetan las mitades del molde. El proceso involucra dos tipos de actuación: a) carrera ascendente de la placa del fondo o b) carrera descendente de la placa superior, pero esta última es la configuración más común. Un cilindro hidráulico acciona generalmente las placas, el cual puede diseñarse para suministrar fuerzas de sujeción de hasta varios cientos de toneladas.

No hay vertederos o sistemas de alimentación en un molde por compresión, y se procesan partes de formas más simples debido a que los materiales termofijos poseen una capacidad de flujo más baja. Sin embargo, se necesitan accesorios para calentar el molde, que puede hacerse mediante resistencia eléctrica, vapor o circulación de aceite caliente. Los moldes de compresión pueden clasificarse en moldes manuales, usados para corridas de ensayos; semiautomáticos, en los cuales a la etapa de prensado le sigue un ciclo programado, pero el operador carga y descarga manualmente la prensa; y automático, el cual opera bajo ciclos de prensado completamente automático (incluyendo la carga y la descarga automática).

Las resinas fenólicas, melamina, urea formaldehído, epóxicos, uretanos y elastómeros son materiales para moldeo por compresión. Son notables las ventajas de moldeo por compresión ya que es más simple, menos costoso y requiere bajo mantenimiento, genera poco desperdicio y deja bajos esfuerzos residuales en las partes moldeadas (este proceso se prefiere para partes delgadas y planas como los discos fonográficos). La principal desventaja es la mayor duración del ciclo y, por tanto, la velocidad de producción es más baja que la de moldeo por inyección.

2.14.-Dureza

Se define dureza de un material como su resistencia a la indentación permanente. Una buena dureza significa generalmente que el material es resistente al rayado y al desgaste. La resistencia a estos parámetros es una característica importante para muchas aplicaciones de ingeniería, incluyendo la mayoría de las herramientas que se emplean en manufactura.

2.14.1.-Durómetro shore A

El durómetro shore A es un dispositivo que mide la deformación elástica del caucho y materiales similares, al presionar un indentador sobre la superficie del objeto. El durómetro shore A es usado para pruebas de cauchos suaves, y el durómetro shore D es usado para productos más duros.

CAPÍTULO III

3.- Marco Metodológico.

3.1.-Formulación del problema

La empresa Simonazzi es la responsable del suministro de vasos de sujeción para los cabezales de la encajonadora. Esta empresa cerró sus oficinas en Venezuela, por ello la embotelladora C.A. Cervecería Regional, se vio obligada a tener que comprar los insumos necesarios para el funcionamiento de sus máquinas en la casa matriz de Simonazzi ubicada en Europa. La distancia limita que el fabricante brinde a su cliente asistencia técnica y respuesta inmediata a sus necesidades con un suministro regular de piezas.

3.2.-Descripción del proceso operativo del vaso de sujeción

La máquina encajonadora de botellas SIG Simonazzi consta de seis cabezales, los cuales están conformados por treinta y seis tulipas (dispositivo donde se instala el vaso de sujeción, ver Apéndice plano N° 8) cada uno, en las cuales están instalados los vasos de sujeción. Los cabezales bajan sobre las botellas colocando las tulipas sobre ellas, al finalizar el recorrido del pico de la botella dentro de la tulipa, se le aplica aire a una presión de 1,5 bar, entre la pared interna de la tulipa y la pared externa del vaso de sujeción. El mismo colapsa sobre la botella atrapándola, luego comienza el proceso de levantar las botellas, en el caso de estar entrando al sistema son izadas desde la gavera hasta la línea de lavado, y si están saliendo de la línea de llenado son levantadas de las carrileras en las que se ordenan según sea la distribución del cabezal y colocadas dentro de las gaveras. El proceso de carga o descarga tienen una duración de aproximadamente 11 s.

3.3.-Análisis del problema

Para lograr la disponibilidad de los vasos de sujeción de botellas requeridos por la empresa C.A. Cervecería Regional, tomando como base los materiales y la tecnología existente en Venezuela, se deben tomar en consideración las siguientes

restricciones para llegar a una solución que cumpla con las necesidades de la empresa:

- Los insumos para la construcción del vaso de sujeción, deberán ser de fácil adquisición en el mercado nacional.
- El costo de construcción deberá estar por debajo del precio de la pieza original.
- El uso de la maquinaria disponible en la compañía PREMA, C.A.
- La geometría del vaso de sujeción esta restringida a las dimensiones de la tulipa.
- Mantener dentro de un intervalo aceptable las propiedades físicas y químicas para el uso de la pieza como son:
 - Intervalo de dureza.
 - Durabilidad.
 - Resistencia y estabilidad química, bacteriológica y temperatura.

3.4.-Árbol de objetivos

Como resultado del análisis del problema, se ordena un conjunto de objetivos en forma jerárquica, que nos permita diferenciar los objetivos primarios y secundarios del problema, a través, del diagrama expuesto a continuación:

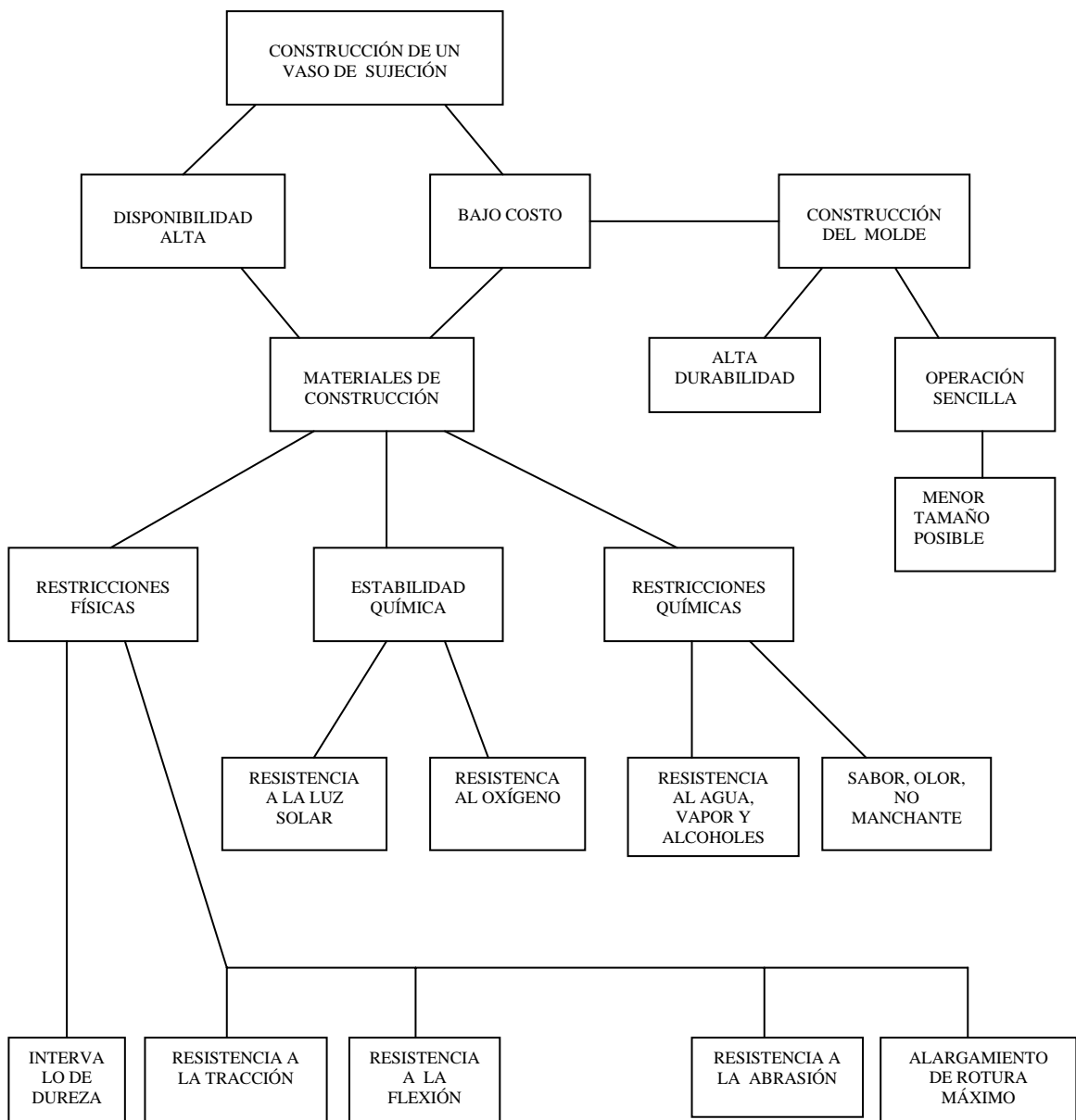


Figura 3.1.- Árbol de objetivos

3.5.-Diagrama de flujo del proceso de manufactura del vaso de sujeción

1. Mezclado:

Son las actividades correspondientes a pesar los ingredientes, mezclarlos en el molino y laminar la mezcla de caucho.

2. Preformado:

Es una actividad preparatoria de la mezcla de caucho en la cual se le da la forma que facilite la carga del molde, se utilizan plantillas, cuchillas y tijeras. Y las porciones así formadas se pesan para que todas tengan la misma cantidad de material.

3. Prensado:

Consiste en colocar una porción de mezcla de caucho en las cavidades de un molde, que se encuentra entre las platinas calientes de una prensa hidráulica. Se cierra la prensa para que el material tome la forma del molde, mientras la mezcla se calienta y vulcaniza. Al finalizar el tiempo de vulcanización se abre el molde y se retira la pieza.

4. Acabado:

Una vez que la pieza se enfría se retira toda la rebaba y se realizan las operaciones para acondicionar toda su superficie como lo especifica las características del producto.

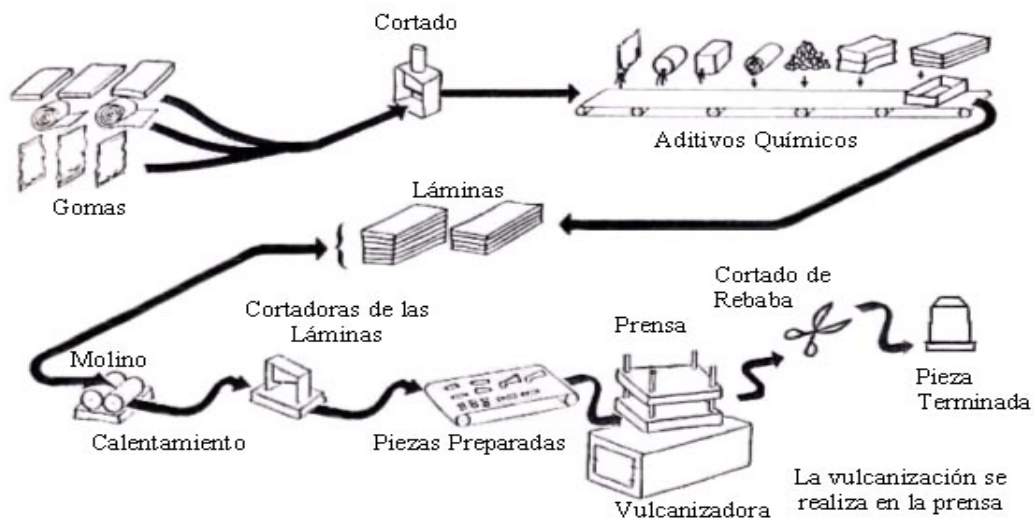


Figura 3.2.- Diagrama de flujo del proceso de manufactura del vaso de sujeción

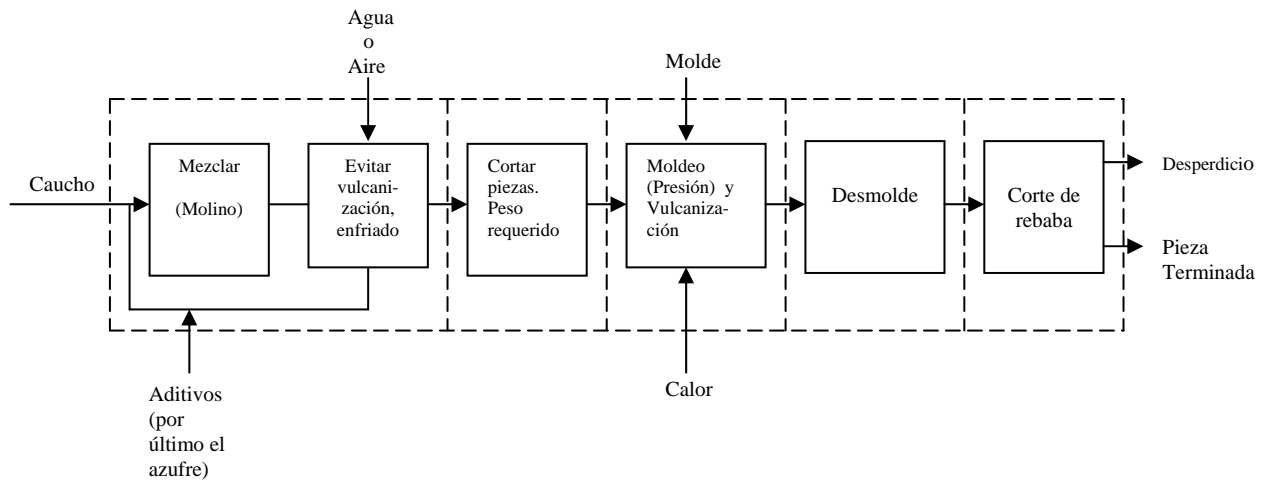


Figura 3.3.- Diagrama del establecimiento de funciones

3.6.-Búsqueda de soluciones

Mediante el método de lluvia de ideas; en el cual participaron: el Ing. Alberto Montcourt, el Lic. Pedro Bermúdez, el Br. Jesús Esparis y el Br. Honorio Torres, se presentan las siguientes alternativas para llegar a la solución más adecuada del problema planteado.

Las propuestas a evaluar cuentan con la utilización de los siguientes elastómeros en las mezclas para la elaboración de los vasos. Ellos son:

3.6.1.-Propuesta N° 1: Caucho natural (polisopreno)

El caucho natural consiste fundamentalmente en polisopreno, un polímero de alto peso molecular del isopreno (C_5H_8) el cual se extrae del látex que es una emulsión acuosa de polisopreno (cerca de una tercera parte en peso), más otros ingredientes. Para formar un elastómero con propiedades útiles, el caucho natural debe ser vulcanizado, y cuyo resultado mecánico es el incremento de su resistencia y dureza, también mantiene su extensibilidad.

Como material de ingeniería, el caucho vulcanizado es notable entre los elastómeros por su alta resistencia a la tensión, resistencia al desgarramiento, recuperación elástica (capacidad de recobrar su forma después de una deformación), y resistencia al desgaste y a la fatiga. Sus puntos débiles son: que se degrada cuando

es expuesto al calor, a la luz del sol, al oxígeno, al ozono y al aceite. Algunas de estas limitaciones pueden reducirse mediante el uso de aditivos y dependiendo de las condiciones de trabajo.

Características y propiedades típicas del caucho vulcanizado.
Polímero: Polisopreno (C ₅ H ₈) _n
Designación ASTM D -1418: NR
Módulo de elasticidad: 2500 lb/pulg ² (18 MPa)(a)
Resistencia a la tensión: 3500 lb/pulg ² (25 MPa)
Elongación: 700% a la ruptura
Gravedad específica: 0,93
Límite de alta temperatura: 180 °F (80 °C)
Límite de baja temperatura: -60 °F (-50 °C)
(a) A una elongación de 300%

Tabla 3.1.-Características del caucho natural

Fuente: R. T. Vandervilt Company Inc. The Vandervilt RUBBER handbook

3.6.2.-Propuesta N° 2: Caucho natural sintético (polisopreno)

El isopreno se puede polimerizar para sintetizar un equivalente químico del caucho natural. El polisopreno sintético sin vulcanizar es más suave y más fácil de moldear que el caucho natural. Las aplicaciones del material sintético son similares a las de su contraparte, el caucho natural, pero el mercado más grande de este producto son las llantas para automotores. Se usa también para calzado, bandas transportadoras y compuestos para calafatear. El costo por unidad de peso es alrededor de 35% más alto que el del caucho natural.

Características y propiedades típicas del caucho sintético vulcanizado
Polímero: Polisopreno (C ₅ H ₈) _n
Designación ASTM D-1418: IR
Módulo de elasticidad: 2500 lb/pulg ² (18 Mpa)(a)
Resistencia a la tensión: 3500 lb/pulg ² (25 MPa)
Elongación: 500% a la ruptura
Gravedad específica: 0,93
Límite de alta temperatura: 180 °F (80 °C)
Límite de baja temperatura: -60 °F (-50 °C)
(a) A una elongación de 300%

Tabla 3.2.-Características del caucho natural sintético

Fuente: R. T. Vandervilt Company Inc. The Vandervilt RUBBER handbook

3.6.3.-Propuesta N° 3: Caucho de estireno-butadieno.(SBR)

El más importante de los cauchos sintéticos es el caucho de estireno-butadieno, un copolímero aleatorio de estireno (C_8H_8 cerca del 25%) y butadieno (C_4H_6 cerca del 75%). Fue desarrollado originalmente en Alemania como caucho Buna-S antes de la Segunda Guerra Mundial. En la actualidad es el elastómero de más grande tonelaje, cerca del 40% del total de cauchos producidos (el caucho natural tiene el segundo lugar de producción en peso). Sus características más atractivas son: bajo costo, aunque el caucho natural mantiene su titularidad en ese rubro; resistencia a la abrasión y mejor uniformidad que la del caucho natural. Una comparación cercana de las características revela que la mayoría de sus propiedades mecánicas, excepto la resistencia al desgaste, son inferiores a las del caucho natural pero su resistencia al envejecimiento por calor, al ozono, al clima y a los aceites es superior.

Los diseños compuestos a base de SBR, mantienen los ingredientes esenciales aunque difieren sus cantidades. El azufre para la vulcanización es calculado sobre las porciones insaturadas del elastómero. Los requerimientos de aceleradores son generalmente mayores que los utilizados en el caucho natural, debido a que la vulcanización del SBR es inherentemente más lenta.

Aunque cierta cantidad de ácidos grasos están presentes en formas de pequeños jabones a lo largo de todo el elastómero de SBR, se acostumbra añadir ácido esteárico con óxido de cinc para activar la vulcanización.

Características y propiedades típicas del caucho estireno-butadieno.
Polímero: Copolímero de estireno (C_8H_8) y butadieno (C_4H_6)
Designación ASTM D-1418: SBR
Módulo de elasticidad: 2500 lb/pulg ² (18 MPa)(a)
Resistencia a la tensión: 3000 lb/pulg ² (25 MPa)
Elongación: 700% a la ruptura
Gravedad específica: 0,94
Límite de alta temperatura: 230 °F (110 C)
Límite de baja temperatura: -60 °F (-50 C)
(a) A una elongación de 300%

Tabla 3.3.-Características del SBR

Fuente: R. T. Vandervilt Company Inc. The Vandervilt RUBBER handbook

3.6.4.-Propuesta N° 4: Caucho etileno-propileno-dieno (EPDM)

La polimerización del etileno y el propileno con pequeñas porciones del monómero dieno (3 a 8%) produce el terpolímero etileno-propileno-dieno EPDM que es un caucho sintético muy útil. Sus aplicaciones son principalmente en la industria automotriz para partes diferentes a las llantas, también se usa como aislante para cables y alambres.

El EPDM es un terpolímero el cual necesita de aceleradores orgánicos o peróxidos para desarrollar tasas de vulcanización aceptables. Ciertos antioxidantes mejoran su resistencia al envejecimiento y son particularmente importantes a la hora de vulcanizar los peróxidos. Se pueden hacer formulaciones ricas en aceite, negro de humo y otros materiales de refuerzo.

Características y propiedades típicas del caucho etileno-propileno-dieno.
Polímero: Terpolímero de etileno (C ₂ H ₄), propileno (C ₃ H ₆) y un monómero de dieno (3 a 8%) para encadenamiento transversal.
Designación ASTM D-1418: EPDM
Resistencia a la tensión: 2000 lb/pulg ² (15 MPa)
Elongación: 300% a la ruptura
Gravedad específica: 0,86
Límite de alta temperatura: 300 °F (150 C)
Límite de baja temperatura: -60 °F (-50 C)

Tabla 3.4.-Características del EPDM

Fuente: R. T. Vandervilt Company Inc. The Vandervilt RUBBER handbook

3.6.5.-Propuesta N° 5: Caucho neopreno (Policloropreno)

El policloropreno fue uno de los primeros cauchos sintéticos que se desarrollaron desde la época de los treinta. Se le conoce comúnmente como neopreno y es un caucho importante para propósitos especiales, porque cristaliza cuando se le tensiona para obtener buenas propiedades mecánicas. El caucho cloropreno CR es más resistente a los aceites que el caucho natural, así como al clima, al ozono, al calor y a la llama (el calor hace de este caucho un material auto extingible), pero es

más costoso. Sus aplicaciones incluyen mangueras para combustibles y otras partes de automóviles, (excluidas las llantas), transportadores de banda, y empaques.

Características y propiedades típicas del caucho cloropreno (neopreno).
Polímero: Policloropreno (C ₄ H ₅ Cl) _n
Designación ASTM D-1418: CR
Módulo de elasticidad: 1000 lb/pulg ² (7 MPa)(a)
Resistencia a la tensión: 3500 lb/pulg ² (25 MPa)
Elongación: 500% a la ruptura
Gravedad específica: 1,23
Límite de alta temperatura: 250 °F (120 °C)
Límite de baja temperatura: -10 °F (-20 °C)
(a) A una elongación de 300%

Tabla 3.5.-Características del cloropreno

Fuente: R. T. Vandervilt Company Inc. The Vandervilt RUBBER handbook

3.6.6.-Propuesta N° 6: Caucho de silicón (Polisiloxano VMQ)

Los silicones como los poliuretanos pueden ser elastómeros o termoestables, dependiendo del grado de encadenamiento transversal. Los silicones elastómeros son notables por el amplio intervalo de temperaturas sobre el cual pueden usarse. Su resistencia a los aceites es pobre. Los silicones poseen varias composiciones químicas siendo la más común polisiloxano. Con objeto de obtener propiedades mecánicas aceptables, los elastómeros pueden reforzarse usualmente con polvos de sílice. Debido a su alto costo se consideran cauchos de propósitos especiales para aplicaciones como empaques, sellos, aislamiento de cables y alambres, prótesis y bases para materiales de calafateo.

Características y propiedades típicas del caucho de silicón.
Polímero: Polisiloxano [SiO(CH ₃) ₂] _n
Designación ASTM D-1418: PMQ-PVMQ
Resistencia a la tensión: 1500 lb/pulg ² (10 MPa)
Elongación: 700% a la ruptura
Gravedad específica: 0,98
Límite de alta temperatura: 450 °F (230 °C)
Límite de baja temperatura: -60 °F (-50 °C)

Tabla 3.6.-Características del silicón

Fuente: R. T. Vandervilt Company Inc. The Vandervilt RUBBER handbook

3.6.7.-Propuesta N° 7: Uretano (Poliuretano)

Los poliuretanos termoestables con un encadenamiento transversal mínimo son elastómeros y la mayoría de ellos se producen comúnmente con espumas flexibles. De esta forma se usan en una amplia gama como materiales para colchones, para muebles y asientos de automóviles.

El poliuretano no expandido se puede moldear en productos que van desde suelas de zapatos hasta parachoques de automóviles, y ajustando el encadenamiento transversal se pueden obtener propiedades deseables para estas aplicaciones. Sin encadenamiento, el material es un elastómero termoplástico que se puede moldear por inyección. Como es un elastómero termoestable se pueden usar métodos de moldeo por inyección y reacción, así como otros métodos de conformado.

Características y propiedades típicas del caucho poliuretano.
Polímero: Poliuretano (la composición química varía)
Designación ASTM D-1418: AU-EU
Módulo de elasticidad: 1200 lb/pulg ² (10 Mpa)(a)
Resistencia a la tensión: 8000 lb/pulg ² (60 MPa)
Elongación: 700% a la ruptura
Gravedad específica: 1,25
Límite de alta temperatura: 210 °F (100 °C)
Límite de baja temperatura: -60 °F (-50 °C)
(a) A una elongación de 300%

Tabla 3.7.-Características del poliuretano

Fuente: R. T. Vandervilt Company Inc. The Vandervilt RUBBER handbook

Para la comparación de las anteriores propuestas, se utilizará la tabla 3.8 propuesta por Schill Seilacher, en la cual se presentan la clasificación por propiedades de los elastómeros a considerar:

PROPUESTAS		1	2	3	4	5	6	7	
POLÍMERO BASE	CAUCHO NATURAL	CAUCHO SINTÉTICO	SBR	EPDM	NEOPRENO	SILICÓN	URETANOS		
NOMBRE QUÍMICO	Polisopreno	Polisopreno	Butadieno estireno	Etileno Propileno	Policloropreno	Polisiloxano	Poliuretano		
DESIGNACIÓN ASTM D1418	NR	IR	SBR	EPDM	CR	PMQ-PVMQ	AU-EU		
CLASIFICACIÓN ASTM D2000	AA	AA	AA-BA	CA-AA-BA	BC-BE	FE-FC-FG	BG		
COSTO EN (US \$/kg)	2,37	7,50	2,40	3,83	7,03	13,00	6,00		
PROPIEDADES GENERALES	COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA (10 °C)	66,6	66,6	66,6	57,6	61,2	81	48,6	
	ADECIÓN A METALES	E	E	E	P-B	E	B-E	E	
	SABOR	P-B	P-E	P-B	B	P-B	E	C	
	OLOR	B-E	B	B	B	P-B	E	E	
	NO MANCHANTE	E	E	P	B	B-E	E	B	
	INTERVALO TEMPERATURA DE TRABAJO (°C)	20-70	20-80	10-70	35-150	10-100	80-250	30-170	
PROPIEDADES FÍSICAS	INTERVALO DE DUREZA Sh	30-100	40-80	40-100	30-90	30-95	25-90	35-100	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN MAX.(kg/cm ²)	300	300	220	200	250	-	450	
	ALARGAMIENTO DE ROTURA MAX. (%)	650	650	600	600	600	900	750	
	DEFORMACIÓN PERMANENTE POR COMPRESIÓN	E	E	B	B	B	B-E	B	
	RECUPERACIÓN ELÁSTICA	E	E	B	B	E	B	P-B	
	PERMEABILIDAD A LOS GASES	P	P	P	P	B	N	C	
	RESISTENCIA ELÉCTRICA	E	E	E	E	P	E	B	
	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	B-E	B-E	B	N	B-E	N	N	
	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	E	B	B-E	B	B-E	P-B	E	
	RESISTENCIA AL DESGARRE	E	E	B	B	B	E	P-B	
	RESISTENCIA AL IMPACTO	E	E	E	B	B	C-B	E	
	RESISTENCIA QUÍMICO AMBIENTE	OXÍGENO	B	B	P	E	B-E	E	B
		AGUA	C	N	C	E	B-E	E	E
LUZ SOLAR		C	N	C	E	B-E	E	E	
AGUA/VAPOR		E/B	E/B	B/P	E/E	B/B	E/P	P-B/C	
ALCOHOLES		B-E	B	B	B-E	E	P-B	B	

Referencias: E: excelente, B: Bueno, P: pobre, C: usos casos especiales, N: no usar
 Tabla 3.8.- Fuente Schill Seilacher. Clasificación por propiedades de los elastómeros

3.7.-Fase de decisión

En esta parte de la metodología del diseño, se seleccionaran los parámetros más importantes del problema, para evaluar las diferentes propuestas planteadas en la lluvia de ideas.

3.7.1.-Parámetros de la matriz de decisión

Los siguientes parámetros nos permitirán evaluar las posibles soluciones, para poder compararlas y llegar a la solución más favorable. A continuación se explicará cada uno de los parámetros utilizados y el por qué de su valor porcentual evaluado sobre el cien por ciento.

1. Disponibilidad: se refiere a la adquisición de la materia prima en el mercado venezolano, se le asigna un valor de 25% ya que es la motivación principal de este trabajo y del cual depende la producción.
2. Costo: Se refiere a cuanto vale la materia prima y su proceso de transformación, se le asigna 20% debido a que se busca obtener el menor precio del producto, para hacerlo económicamente atractivo ante el vaso original.
3. Sabor, olor y no manchante: Se refiere a las posibles transferencias de estas propiedades a la botella. Debido a que la pieza de goma se mantiene en contacto directo con la superficie por donde se ingiere el líquido, esta propiedad adquiere el 15% ya que si no cumple con los parámetros arriba expuestos, el producto (en este caso cerveza), es rechazado por el cliente.
4. Dureza Shore A: Se refiere a la resistencia a la indentación permanente. Dentro de las propiedades mecánicas tanto exigidas por el cliente como necesarias para el buen desempeño de la goma, la dureza adquiere el 7% en la escala, debido a que representa la resistencia al rayado y al desgaste, y que adjunto la ayuda de una adecuada formulación puede mejorarse y así estirar los lapsos estipulados para la reposición del insumo, en la fábrica.
5. Resistencia química: Se refiere a la resistencia a los daños causados por exposición a alcoholes, agua y vapor. Al igual que a los parámetros 6 y 7, a

la resistencia química se le asigna un valor del 5% debido a que, y sin subestimar la labor de las resistencias expuestas en los parámetros 8, 9 y 10, estas tienen una mayor jerarquía en la pieza a utilizar ya que está en contacto directo con los tres fluidos arriba mencionados (cerveza la cual tiene un cierto grado de alcohol, agua y vapor para hacer el mantenimiento de la máquina encajonadora o al momento de esterilizar las botellas).

6. Resistencia a la flexión: Se refiere a la resistencia a movimientos repetitivos de flexión.
7. Resistencia a la tracción: Se refiere esfuerzo máximo a la tracción.
8. Resistencia al desgarre: Se refiere a la resistencia al crecimiento de una grieta o corte, cuando se le aplica tensión al espécimen. Este parámetro en conjunto con el 9, 10 y 11, se le asigna un valor del 4%.
9. Resistencia a la abrasión: Se refiere a la resistencia al desgaste producida por frotación o impacto en servicio.
10. Estabilidad química (Oxígeno, agua, luz solar): Se refiere a la resistencia del material a los efectos ambientales.
11. Recuperación elástica: Se refiere a la capacidad que tiene el material de retornar a su forma original luego de haber sido deformado.
12. Temperatura de trabajo: Es la temperatura a la cual opera el sistema.

Para la evaluación de las características de los materiales base propuestos se utilizará la siguiente escala numérica:

- No usar (1).
- Débil (2).
- Satisfactoria (3).
- Buena (4).
- Excelente (5).

A cada parámetro se le asignará un porcentaje de acuerdo a su importancia, este será multiplicado por la escala de evaluación asignada a cada diseño según el

parámetro en cuestión y se sumarán todos los resultados para obtener el valor a comparar entre las distintas propuestas.

El valor porcentual asignado a cada parámetro se presenta a continuación:

Parámetros	Valor Porcentual (%)
Disponibilidad en Venezuela	25
Costo de material	20
Sabor, olor, no manchante	15
Dureza Shore A	7
Resistencia química	5
Resistencia a la flexión	5
Resistencia a la tracción	5
Resistencia al desgarre	4
Resistencia a la abrasión	4
Estabilidad química	4
Recuperación elástica	4
Temperatura de trabajo	2

Tabla 3.9.- Valor porcentual de los parámetros de la matriz de decisiones

3.7.2.-Matriz de decisiones

Parámetros	Valor (%)	PROPUESTAS													
		1		2		3		4		5		6		7	
Disponibilidad en Venezuela	25	5	1,25	5	1,25	5	1,25	4	1	3	0,75	4	1	4	1
Costo de material	20	4	0,8	4	0,8	4	0,8	3	0,6	3	0,6	2	0,4	1	0,2
Sabor, olor, no manchante	15	4	0,6	4	0,6	4	0,6	4	0,6	4	0,6	4	0,6	4	0,6
Dureza Shore A	7	5	0,35	5	0,35	2	0,14	4	0,28	4	0,28	5	0,35	4	0,28
Resistencia química	5	4	0,2	4	0,2	3	0,15	5	0,25	4	0,2	4	0,2	3	0,15
Resistencia a la flexión	5	4	0,2	4	0,2	4	0,2	1	0,05	4	0,2	1	0,05	1	0,05
Resistencia a la tracción	5	4	0,2	4	0,2	3	0,15	3	0,15	3	0,15	1	0,05	5	0,25
Resistencia al desgarre	4	5	0,2	5	0,2	4	0,16	4	0,16	4	0,16	5	0,2	3	0,12
Resistencia a la abrasión	4	5	0,2	4	0,16	4	0,16	4	0,16	4	0,16	3	0,12	5	0,2
Estabilidad química	4	2	0,08	1	0,04	2	0,08	5	0,2	4	0,16	5	0,2	5	0,2
Recuperación elástica	4	5	0,2	5	0,2	4	0,16	4	0,16	5	0,2	4	0,16	3	0,12
Temperatura de trabajo	2	4	0,08	4	0,08	4	0,08	4	0,08	4	0,08	4	0,08	4	0,08
TOTAL	100	4,36		4,28		3,93		3,69		3,54		3,41		3,25	

Tabla 3.10.- Matriz de decisiones

3.7.3.-Selección de la solución

Después de analizar las propuestas planteadas en la matriz de decisiones y tomando en cuenta los parámetros de su evaluación, se observa que la propuesta con mayor puntuación es la N° 1, la cual cumple con todos los requisitos exigidos por el cliente a nivel físico, químico, mecánico y económico.

3.8.-Especificaciones de la propuesta seleccionada

El caucho natural cuenta con un buen balance de propiedades mecánicas y en muchos de los casos es superior a los demás materiales considerados.

La formulación establecida, en contacto con sustancias químicas se limita a agua, cuando se lava la máquina y gotas de cerveza que puedan estar en el exterior de la botella o a nivel de la chapa. En la Tabla N° 3.8 se observa que el comportamiento de este caucho es excelente en contacto con, agua, alcohol y vapor, tres sustancias a la cual estará sometida la pieza en cuestión.

Las piezas trabajan resguardadas del ambiente (luz solar y lluvia), por este motivo las restricciones ambientales no son determinantes en el diseño.

Los motores eléctricos del equipo embotellador están retirados del lugar de trabajo de las piezas, lo que descarta alta concentración de ozono que podría degradar la goma. Las mezclas de caucho natural se formulan con una combinación de ingredientes anti-degradantes, antioxidantes y anti-ozonantes.

El caucho natural es uno de los más vendidos en Venezuela y se adquiere en distribuidores locales que están mayoritariamente ubicados en las ciudades de Caracas y Valencia (ver Apéndice). Su disponibilidad y bajo costo lo hacen muy atractivo para satisfacer las expectativas del cliente, pudiendo de esta manera con ayuda de la tecnología existente en nuestro país, transformar la materia prima de una manera eficiente, que garantice el número de piezas requeridas por el cliente en el tiempo necesario y a un precio competitivo.

CAPÍTULO IV

4.-Formulación

4.1.- Propiedades del vaso original

Poder describir las propiedades del vaso original, se hace sumamente difícil, ya que no se conoce su composición química. Esto impide el estudio de sus propiedades mecánicas; sin embargo, es posible medir sobre la pieza original la dureza shore A, que es un factor primordial en su desempeño.

La dureza es importante, ya que de ella depende la resistencia a la abrasión producida por la chapa; también influye en la presión externa que debe aplicarse a la goma para obtener un buen agarre.

Se tomara en cuenta la geometría del vaso original, para realizar los cálculos de los esfuerzos, que permitan garantizar un buen desempeño de la formulación de caucho seleccionada.

	Vaso original
Dureza shore A	61,00
Geometría	(Ver Apéndice)
Material	Poliuretano

Tabla 4.1.- Propiedades conocidas del vaso de sujeción original

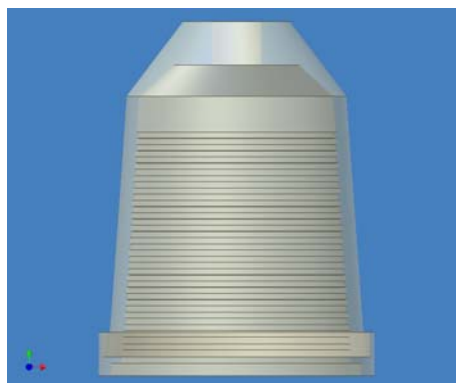


Figura 4.1.- Vaso de sujeción original

4.2.-Formulación de caucho

Se presenta a continuación la formulación del caucho seleccionado para la construcción del vaso de sujeción.

4.2.1- Formulación seleccionada

La siguiente composición esta dada en partes de componente por cada cien (100) partes de caucho natural:

FORMULACIÓN DE CAUCHO (PARTES x 100 PARTES de caucho natural)	
CAUCHO NATURAL	100,00
ÓXIDO DE CINC	5,00
ÁCIDO ESTEÁRICO	2,00
TMQ-AGERITE RESIN D	1,50
NEGRO DE HUMO	50,00
ACEITE C61-K STAY G	5,00
OBTS-AMAX	0,50
AZUFRE	2,50
TOTAL	166,50

Tabla 4.2.- Formulación de caucho para la fabricación del vaso de sujeción
Fuente: R. T. Vandervilt Company Inc. The Vandervilt RUBBER handbook

	Caucho Natural
Dureza shore A	61,00
Fluencia [MPa]	24,68
Elongación [%]	600,00
Stress a 300% [Mpa]	9,58

Tabla 4.3.- Propiedades mecánicas de la formulación del caucho
Fuente: R. T. Vandervilt Company Inc. The Vandervilt RUBBER handbook

4.2.2-Propiedades de los componentes de la formulación

Para modificar las características mecánicas de esta formulación base a los parámetros deseados expuestos en la matriz de decisión, se hace necesaria la adición de los siguientes compuestos:

- Para disminuir el tiempo de vulcanización se utilizan los llamados aceleradores de la vulcanización como:
 - OBTS-AMAX (N-oxidiethylenebenzothiazole-2-sulfenamide).

Este compuesto orgánico es catalogado como un acelerador del tipo sulfenamida. Generalmente, pequeñas cantidades de azufre (1% o menos) pueden ser usadas en compuestos acelerados para producir óptimas propiedades físicas en un lapso de tiempo vulcanizante más corto que los obtenidos con otra clase de aceleradores como los thiazoles.

- Para prevenir posibles deficiencias en el caucho crudo se utilizan los llamados activadores como:
 - Óxido de Cinc.
 - Ácido esteárico.

Todos los aceleradores requieren óxido de cinc para su activación en todos los tipos de gomas. La acción activadora de este óxido metálico se maneja en un intervalo de 3 a 5 partes por cada 100 partes de caucho, para conseguir el efecto deseado.

El ácido esteárico catalogado como activador, es un ácido graso. El caucho natural contiene pequeñas y variables cantidades de ácidos grasos, de los cuales el ácido esteárico es el más representativo. Es generalmente aceptado como práctico la inclusión de ácido esteárico en todas las bases compuestas de goma natural, desde que la deficiencia de ácido graso en los constituyentes sin presencia de hidrocarburos trae como consecuencia una disminución en la tasa de vulcanización o curado.

- Para disminuir la viscosidad y así facilitar el proceso de mezclado y el moldeo:
 - Aceite de proceso mineral C61.

El lubricante nafténico C61 mejora la viscosidad y el llenado de la formulación en el molde, aumenta la elasticidad y disminuye la dureza.

- Para aumentar las propiedades mecánicas:
 - Negro de humo (carbon black).

El negro de humo es el segundo material en crudo más crítico y ampliamente usado en la industria de la goma. Como un pigmento negro para tintas y pinturas, el negro de humo ha sido conocido por miles de años, pero el reconocimiento de su increíble habilidad de fortalecer y reforzar la goma data desde el año 1915. El negro de humo gradualmente reemplazó al más costoso y menos efectivo óxido de zinc que había sido aceptado como el relleno de refuerzo. El intervalo manejado para las formulaciones en la industria, oscila entre un 40 a 60 partes de negro de humo por cada 100 partes de caucho. El negro de humo, una forma coloidal de carbono de color negro, obtenido por la descomposición térmica de los hidrocarburos (hollín), incrementa la resistencia a la tensión, a la abrasión, al escurrimiento de los productos finales de caucho y también brinda protección contra la radiación ultravioleta. Debido al contenido de negro de humo, la mayoría de las partes hechas en caucho son de color negro.

- Como agente vulcanizante:
 - Azufre.

Catalogado como un agente vulcanizante primario, dos tipos principales de vulcanizadores pueden ser obtenidos dependiendo de la cantidad de azufre presente en la formulación: (1) gomas suaves con 3 partes de azufre o menos (nuestro caso) y (2) gomas duras con 25 partes o más del agente vulcanizante. El azufre para la vulcanización puede ser añadido en sus formas elementales, tanto en cristales rómbicos finamente enlazados, como azufre insoluble el cual no florecerá a la superficie de stocks incurados; o como un material transportador de azufre (sulfur-bearing material) del cual se desprende cuando es calentado. El azufre es un agente encadenante transversal ya que causa una reacción en cadena de encadenamiento transversal o actúa como catalizador para promover dicha reacción (vulcanización).

- Como antioxidante:

- TMQ (Polimerizado 1,2-dihydro-2,2,4-trimethylquinolina).

Además de los mismos elastómeros, los cuales tienen sus propias características, propiedades de envejecimiento y sistemas de curado que contribuyen a un buen servicio de vida, existen un gran número de materiales compuestos que son usados para impartir protección al envejecimiento. Esta clase de materiales incluyen aminas aromáticas, fenoles y fosfitas las cuales son usadas en prácticamente todos los elastómeros vulcanizables.

El TMQ protege al caucho natural contra el calor y la oxidación bajo severas condiciones de servicio y mejora la resistencia al ozono de la mayoría de los elastómeros.

4.3.-Cálculo de la densidad teórica.

Para calcular la densidad de la formulación de caucho preparada se seguirá la siguiente metodología:

- Cálculo de los volúmenes individuales.

$$Volumen = \frac{masa}{Densidad}$$

- Se suman los volúmenes parciales y el volumen total se divide entre la masa de la formulación obteniendo así la densidad teórica:

$$\rho_{teórica} = \frac{m_t}{\sum volumen}; \Rightarrow \rho_{teórica} = \text{Densidad teórica}$$

$$m_t = \text{masa total}$$

FORMULACIÓN DE CAUCHO (PARTES x 100 PARTES de caucho natural)		DENSIDAD [g/cm ³]	VOLUMEN [cm ³]
CAUCHO NATURAL	100,00	0,93	107,53
ÓXIDO DE CINC	5,00	5,57	0,89
ÁCIDO ESTEÁRICO	2,00	0,88	2,27
TMQ-AGERITE RESIN D	1,50	1,10	1,36
NEGRO DE HUMO	50,00	1,80	27,78
ACEITE C61-K STAY G	5,00	0,92	5,44
OBTS-AMAX	0,50	1,30	0,39
AZUFRE	2,50	2,00	1,25
TOTAL	166,50		146,91

Tabla 4.4.- Densidad y volumen teórico

Fuente: R. T. Vandervilt Company Inc. The Vandervilt RUBBER handbook

$$m_f = 166,50g \quad :m_f : \text{masa de la formulación}$$

$$V_f = 146,91cm^3 \Rightarrow V_f : \text{Volumen de la formulación}$$

$$\rho_{teórica} = \frac{166,50g}{146,91cm^3} = 1,13 \frac{g}{cm^3}$$

4.3.1.-Cálculo del volumen geométrico de la pieza.

Para calcular el volumen geométrico de la pieza, dividimos las piezas en formas geométricas sencillas:

Por medio de la siguiente fórmula calculamos el volumen de los conos truncados:

$$V_{cono} = \int_0^h \pi(f(y))^2 dy \quad V_{cono} : \text{Volumen del cono}$$

$$V_{cono} = \int_0^h \pi \left(\frac{y-b}{m} \right)^2 dy$$

$$V_{cono} = \int_0^h \pi \left(\frac{y^2}{m^2} - \frac{2yb}{m^2} + \frac{b^2}{m^2} \right) dy$$

Resolviendo la integral se tiene que:

$$V_{cono} = \pi \left(\frac{h^3}{3m^2} - \frac{h^2b}{m^2} + \frac{hb^2}{m^2} \right)$$

Si la pendiente de la recta es m y la altura de la curva en $x=0$ es b , entonces tenemos que:

$$b = \frac{h * R}{R - r}; \quad m = \frac{h}{r - R}$$

Sustituyendo b y m en la integral resuelta y simplificando queda:

$$V_{cono} = \frac{\pi}{3} \left[(R(mm) + r(mm))^2 - R(mm) * r(mm) \right] h(mm) = V_{cono} (mm^3)$$

R : Radio mayor; r : Radio menor; h : altura

Sección 1:

$$R=17,50 \text{ mm}$$

$$r=8,50 \text{ mm}$$

$$h=11,00 \text{ mm}$$

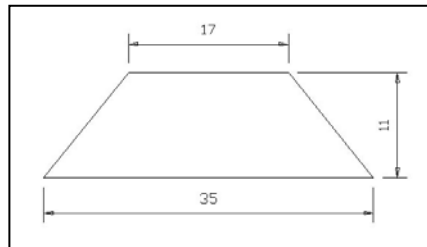


Figura 4.2.- Sección N° 1 del vaso de sujeción

$$V_{sec01} = \frac{\pi}{3} \left[(17,50 + 8,50)^2 - 17,50 * 8,50 \right] * 11,00$$

$$V_{sec01} = 6073,48 mm^3$$

Vsec01: Volumen de la sección 01

Sección 2:

$$R=16,00mm$$

$$r=10,25mm$$

$$h=5,00mm$$

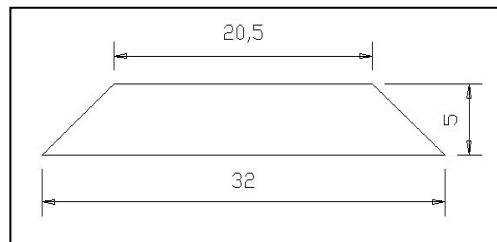


Figura 4.3.- Sección N° 2 del vaso de sujeción

$$V_{\text{sec 02}} = \frac{\pi}{3} [(16,00 + 10,25)^2 - 16,00 * 10,25] * 5,00$$

$$V_{\text{sec 02}} = 2749,22 \text{mm}^3 \quad \mathbf{V_{\text{sec02}}: \text{Volumen de la sección 02}}$$

Sección 3: (cilindro)

$$D=8,00\text{mm}$$

$$h=6,00\text{mm}$$

D=Diámetro mayor

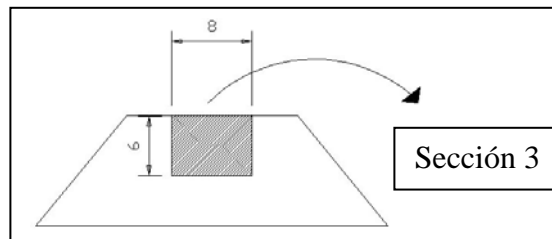


Figura 4.4.- Sección N° 3 del vaso de sujeción

$$V_{\text{sec 03}} = \frac{\pi}{4} * [D(\text{mm})]^2 * h(\text{mm}) = V_{\text{cono}} (\text{mm}^3)$$

$$V_{\text{sec 03}} = \frac{\pi}{4} * 8,00^2 * 6,00$$

$$V_{\text{sec 03}} = 301,59 \text{mm}^3 \quad \mathbf{V_{\text{sec03}}: \text{Volumen de la sección 03}}$$

Sección 4:

$$R=18,33\text{mm}$$

$$r=16,00\text{mm}$$

$$h=43,00\text{mm}$$

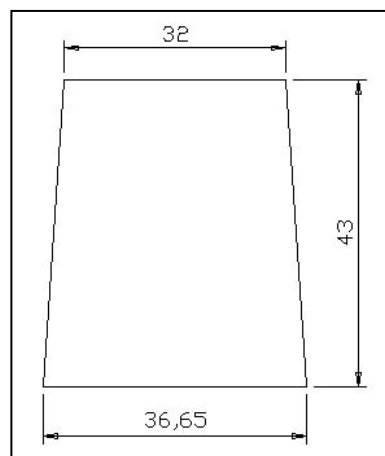


Figura 4.5.- Sección N° 4 del vaso de sujeción

$$V_{\text{sec 04}} = \frac{\pi}{3} [(18,33 + 16,00)^2 - 18,33 * 16,00] * 43,00$$

$$V_{\text{sec 04}} = 39851,36 \text{ mm}^3 \quad \mathbf{V_{\text{sec04}}: \text{Volumen de la sección 04}}$$

Sección 5:

$$R = 20,33 \text{ mm}$$

$$r = 17,50 \text{ mm}$$

$$h = 43,00 \text{ mm}$$

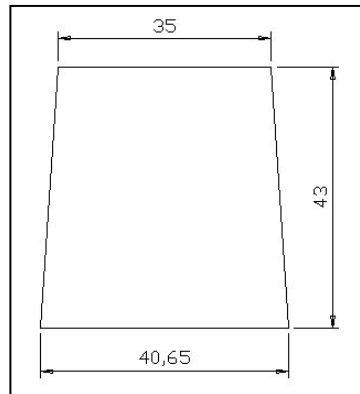


Figura 4.6.- Sección N° 5 del vaso de sujeción

$$V_{\text{sec 05}} = \frac{\pi}{3} [(20,33 + 17,50)^2 - 20,33 * 17,50] * 43,00$$

$$V_{\text{sec 05}} = 48408,65 \text{ mm}^3 \quad \mathbf{V_{\text{sec05}}: \text{Volumen de la sección 05}}$$

Sección 6: (Anillo)

$$D = 44,00 \text{ mm}$$

$$d = 40,00 \text{ mm}$$

$$h = 3,00 \text{ mm}$$

d: Diámetro menor

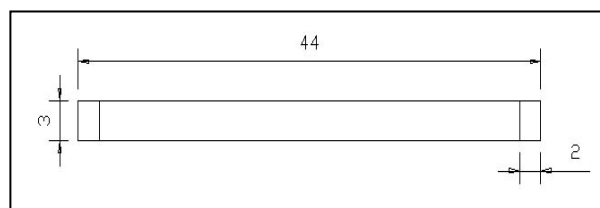


Figura 4.7.- Sección N° 6 del vaso de sujeción

$$V_{\text{sec 06}} = \frac{\pi}{4} * (D(\text{mm})^2 - d(\text{mm})^2) * h(\text{mm}) = V_{\text{sec 06}} (\text{mm}^3)$$

$$V_{\text{sec 06}} = \frac{\pi}{4} * (44,00^2 - 40,00^2) * 3,00$$

$$V_{\text{sec 06}} = 791,68 \text{ mm}^3$$

Vsec06: Volumen de la sección 06

Sección 7: (Anillo)

$$D=44,00\text{mm}$$

$$d=42,60\text{mm}$$

$$h=4,00\text{mm}$$

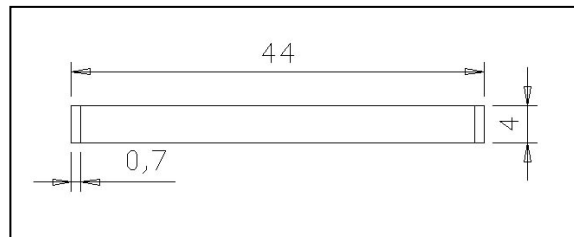


Figura 4.8.- Sección N° 7 del vaso de sujeción

$$V \text{ sec } 07 = \frac{\pi}{4} * (D^2 - d^2) * h$$

$$V \text{ sec } 07 = \frac{\pi}{4} * (44,00^2 - 42,60^2) * 4,00$$

$$V \text{ sec } 07 = 380,88\text{mm}^3$$

Vsec07: Volumen de la sección 07

Una vez calculado los volúmenes parciales de la pieza, se procede a calcular el volumen total de la siguiente manera:

$$V_{total} = V \text{ sec } 01 - V \text{ sec } 02 - V \text{ sec } 03 - V \text{ sec } 04 + V \text{ sec } 05 + V \text{ sec } 06 + V \text{ sec } 07$$

$$V_{total} = 6073,48 - 2749,22 - 301,59 - 39851,35 + 48408,64 + 791,68 + 380,88$$

$$V_{total} = 12752,52\text{mm}^3 \Rightarrow V_{total} = 12,75\text{cm}^3$$

Vtotal: Volumen del vaso de sujeción

4.3.2.-Cálculo de la masa a introducir en el molde

Conociendo la densidad de la formulación y el volumen geométrico de la pieza original, podemos calcular la masa de caucho necesaria a ser introducida en el molde de la pieza:

$$m_{\text{vaso}} = 12,75\text{cm}^3 * 1,13 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} ; \quad m_{\text{vaso}} = \text{Masa del vaso de sujeción}$$

$$m_{\text{vaso}} = 14,45 \text{ g}$$

Adicionalmente a esta masa se le agrega un 5% de caucho formulado para garantizar la formación de la rebaba, la cual es indispensable ya que ésta vulcaniza más rápido que la pieza debido a su pequeño espesor, y genera un sello, este hecho evita que la goma fluya fuera del molde.

$$m_{\text{total}} = 14,45 + 0,72 = 15,17 \text{ g} \approx 15,20 \text{ g}$$

m_{total} : Masa a ser cargada en el molde

4.3.3.-Cálculo de la densidad experimental

Para la masa de la pieza experimental tenemos que:

# de pesada	peso en [g]
1	14,26
2	14,65
3	14,93
4	14,98
5	14,72
6	14,30
7	14,25
8	14,12
9	14,45
10	14,86
Peso promedio	14,55

Tabla 4.5.- Pesada de 10 vasos de sujeción

El cálculo de la densidad experimental, permite la verificación de la formulación de caucho al ser comparada con la densidad teórica

$$\rho_{\text{exp}} = \frac{m_{\text{promedio}}}{V_{\text{geométrico}}} \quad m_{\text{promedio}} = \text{masa promedio} ; V_{\text{geométrico}} = \text{Volumen geométrico}$$

ρ_{exp} = Densidad experimental

$$\rho_{\text{exp}} = \frac{14,55\text{g}}{12,75\text{cm}^3} = 1,14 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Como se puede observar la densidad varia en menos de 1%, lo que garantiza que la cantidad de material a ser cargado en el molde, generará un mínimo de pérdidas.

CAPÍTULO V

5.1.-Diseño del molde

Se utiliza como metal base para la fabricación del molde un acero estructural de medio carbono, específicamente el acero AISI 1045, comúnmente utilizado en la fabricación de moldes, el cual posee una composición nominal de acuerdo a la siguiente tabla:

ACERO	COMPOSICIÓN [%]							
	C	Mn	Pmáx	Smáx	Si	Cr	Mo	Otros
AISI 1045	0,43-0,50	0,60-0,90	0,04	0,05	...	...	...	...

Tabla 5.1.- Composición química del acero AISI 1045

Fuente: Shigley, J. y Mischke, C. Diseño en Ingeniería Mecánica

En esta, se pueden observar los intervalos de la composición en [%] en peso de carbono (C) y manganeso (Mn), así como los límites de contenido máximos de fósforo (P) y azufre (S) de este acero. Como se puede observar, la composición de los demás elementos, no es significativa.

ACERO	PROPIEDADES MECÁNICAS			
	Resistencia a la tensión (MPa)	Resistencia a la fluencia (MPa)	Dureza Brinell	Índice de maquinabilidad (%)
AISI 1045	630	530	179	55

Tabla 5.2.- Propiedades mecánicas del acero

Fuente: Shigley, J. y Mischke, C. Diseño en Ingeniería Mecánica

Se puede decir de una manera general que bajo la denominación de “acero” se agrupan todas las aleaciones de hierro forjables.

La extraordinaria difusión del acero, se debe a sus notables propiedades a la existencia de numerosos yacimientos de minerales de hierro, y al desarrollo de procedimientos de fabricación, relativamente simples.

Una de las propiedades más importantes de los aceros es su gran plasticidad y maleabilidad a elevada temperatura, que permite transformar su forma o dimensiones por laminado o martillado en caliente, con gran facilidad. Además los aceros son dúctiles y por trabajo en frío se pueden laminar o estirar en forma de chapas, flejes, alambres o hilos de muy pequeño espesor o diámetro.

Otra de las propiedades de los aceros, es la facultad de adquirir con el temple una dureza extraordinaria.

Es ampliamente utilizado en el moldeo industrial debido a su increíble capacidad de maquinado pudiendo, de esta manera obtener piezas en donde las tolerancias son determinantes.

5.2.-Mecanizado de los cilindros para la fabricación del molde

Una vez determinadas las dimensiones geométricas de las piezas del molde, y plasmadas dichas medidas en los planos (ver Apéndice), se procede a efectuar los cálculos necesarios en la realización de la hoja de proceso de las partes, para su posterior mecanizado.

Los datos necesarios para los cálculos que se presentan a continuación se pueden verificar en el Apéndice de este trabajo, el cual contiene extractos de la bibliografía de la cual fueron tomados.

Para el mecanizado de estas piezas se dispuso de tres cilindros (tochos) de material con las siguientes dimensiones.

	AISI 1045	AISI 1045	AISI 1045
Dimensiones ϕ x L [mm]	76,2 x 70	76,2 x 90	15,875 x 80
Peso x Longitud [kg/m]	35,80	35,80	1,55
Peso del tocho [kg]	2,506	3,222	0,124
Precio [Bs./kg]*	4830,00	4830,00	3795,00
Precio del tocho[Bs.]	12103,98	15562,26	470,58

* Estos precios incluyen el i.v.a. (15%)

Tabla 5.3.- Dimensiones y precios de los tochos de acero AISI 1045

Fuente: FERRUM C.A., tasa de cambio oficial 1 us\$=2150,00 Bs.

Las ecuaciones para el maquinado del molde fueron tomadas del Mikell P. Groover. Fundamentos de Manufactura Moderna y las ecuaciones para realizar las operaciones de torneado cónico se utiliza el Casillas, A. L. Máquinas y Cálculos de Taller.

5.2.1.-Mecanizado de la parte superior del molde

Para la construcción de este elemento, se utiliza el tocho de 76,2mm de diámetro x 70mm de longitud, el cual viene calibrado de fábrica. (En las operaciones de taladrado y torneado se tomara la velocidad del torno inmediata inferior a la calculada. (ver Apéndice velocidades del torno)

Operación: Centrado

Agujero inicial para establecer con precisión donde se taladrará el agujero posterior, se utiliza una mecha centradora.

Operación: Desbaste del diámetro mayor

- Velocidad de corte con herramienta de acero rápido (VC):

$$VC = 33 \frac{m}{\text{min}} \Rightarrow n = \frac{VC}{\pi * D_0} = \frac{33}{\pi * 0,0762} \approx 138rpm$$

$$n = 125rpm; n: rpm$$

$$D_0: \text{Diámetro inicial [mm]}$$

- Distancia a desbastar en dirección radial(d):

$$d = \frac{D_0 - D_f}{2} = \frac{76,20 - 70,00}{2} = 3,10\text{mm}$$

Do: Diámetro inicial [mm]

Df: Diámetro final [mm]

- Número de pasadas(i):

$$i = \frac{d}{p_{\text{corte}}} = \frac{3,10}{0,50} = 6,20 \approx 7$$

Pcorte: Profundidad de corte

Se deben realizar 6 pasadas a 0,50mm de profundidad y 1 pasada de 0,10mm de profundidad para lograr el Df.

- Tiempo de la operación(t):

Avance (f): $f = 0,7 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$

$$t = \frac{L * i}{n * f} = \frac{63,80 * 7}{125 * 0,70} = 5,1 \text{ min}$$

L: Longitud

Operación: Taladrado (Agujero interno para colocación de inserto)

Con una broca de acero rápido de 5/16" (7,9375mm) y un avance de 0,10 mm/rev perforar una profundidad de trabajo= 70mm + A, donde:

- Tolerancia para la punta de la broca(A):

$\theta = 140^\circ$; θ : Ángulo de la punta de la broca; Dbroca: Diámetro de la broca

$$A = 0,50 * D_{\text{Broca}} * \tan\left(90^\circ - \frac{\theta}{2}\right) = 0,50 * 7,9375 * \tan(20^\circ) = 1,44\text{mm}$$

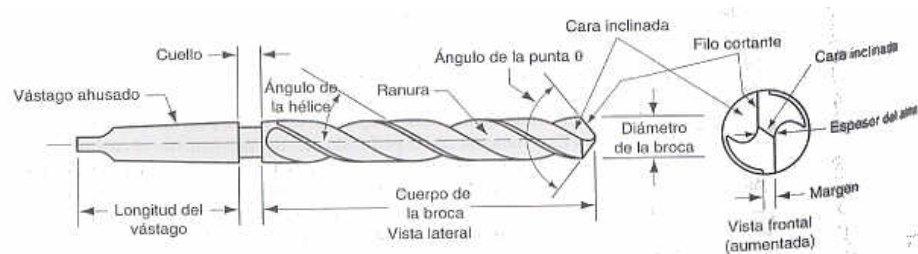


Figura 5.1.- Partes de la broca.

Fuente: Mikell P. Groover. Fundamentos de Manufactura Moderna

$$p_{trabajo} = 70,00 + 1,44 = 71,44mm \quad P_{trabajo}: \text{Profundidad de trabajo}$$

- Velocidad de corte con herramienta de acero rápido:

$$VC = 10 \frac{m}{\text{min}} \Rightarrow n = \frac{VC}{\pi * D_0} = \frac{10}{\pi * 0,007395} \approx 401rpm$$

$$n = 355rpm$$

- Tiempo de la operación:

$$\text{Avance:} \quad f = 0,1 \frac{mm}{rev}$$

$$t = \frac{p_{corte}}{n * f} = \frac{71,44}{355 * 0,1} = 2,01 \text{ min}$$

Previo a esta broca utilizar diámetros de 3, 5, 6.5 y 7,5mm.

Operación: Taladrado

Con una broca de acero rápido de 1/2" (12,7mm) y un avance de 0,12 mm/rev perforar una profundidad de trabajo= 42mm + A, donde:

- Tolerancia para la punta de la broca:

$$\theta = 140^\circ$$

$$A = 0,50 * D_{Broca} * \tan\left(90^\circ - \frac{\theta}{2}\right) = 0,50 * 12,70 * \tan(20^\circ) = 2,31mm$$

$$p_{trabajo} = 42,00 + 2,31 = 44,31mm$$

- Velocidad de corte con herramienta de acero rápido:

$$VC = 10 \frac{m}{\text{min}} \Rightarrow n = \frac{VC}{\pi * D_0} = \frac{10}{\pi * 0,0127} \approx 250rpm$$

- Tiempo de la operación:

$$\text{Avance: } f = 0,12 \frac{mm}{rev}$$

$$t = \frac{P_{corte}}{n * f} = \frac{44,31}{250 * 0,12} = 1,47 \text{ min}$$

Operación: Taladrado

Con una broca de acero rápido de 1" (25,4mm) y un avance de 0,16 mm/rev perforar una profundidad de trabajo= 42mm + A, donde:

- Tolerancia para la punta de la broca:

$$\theta = 140^\circ$$

$$A = 0,50 * D_{Broca} * \tan\left(90^\circ - \frac{\theta}{2}\right) = 0,50 * 25,40 * \tan(20^\circ) = 4,62mm$$

$$P_{trabajo} = 42,00 + 4,62 = 46,62mm$$

- Velocidad de corte con herramienta de acero rápido:

$$VC = 20 \frac{m}{min} \Rightarrow n = \frac{VC}{\pi * D_0} = \frac{20}{\pi * 0,0254} \approx 250rpm$$

- Tiempo de la operación:

$$\text{Avance: } f = 0,16 \frac{mm}{rev}$$

$$t = \frac{P_{corte}}{n * f} = \frac{46,62}{250 * 0,16} = 1,16 \text{ min}$$

Operación: Desbaste del diámetro interior

- Velocidad de corte con herramienta de acero rápido:

$$VC = 17 \frac{m}{\min} \Rightarrow n = \frac{VC}{\pi * D_f} = \frac{17}{\pi * 0,035} \approx 155rpm$$

$$n = 125rpm$$

Distancia a desbastar en dirección radial:

$$d = \frac{D_f - D_0}{2} = \frac{35,00 - 25,40}{2} = 4,80mm$$

- Número de pasadas:

$$i = \frac{d}{p_{corte}} = \frac{4,80}{0,50} = 9,60 \approx 10$$

Se deben realizar 9 pasadas a 0,5mm de profundidad y 1 pasada de 0,3mm de profundidad para lograr el Df.

- Tiempo de la operación:

$$\text{Avance: } f = 0,30 \frac{mm}{rev}$$

$$t = \frac{L * i}{n * f} = \frac{42 * 10}{125 * 0,30} = 11,20 \text{ min}$$

Operación: Abocardado

Se prepara una broca de acero rápido de 17mm de diámetro, se le corta la punta y se afila para lograr el abocardado, se le da un avance de 0,11 mm/rev perforar una profundidad de trabajo= 11mm – (A_(25,4mm)– A_(17mm)) donde:

- Tolerancia para la punta de la broca:

$$\theta = 140^\circ$$

$$A = 0,50 * D_{Broca} * \tan\left(90^\circ - \frac{\theta}{2}\right) = 0,50 * 25,4 * \tan(20^\circ) = 4,62mm$$

$$A = 0,50 * D_{Broca} * \tan\left(90^\circ - \frac{\theta}{2}\right) = 0,50 * 17 * \tan(20^\circ) = 3mm$$

$$p_{trabajo} = 11 - (4,62 - 3) = 9,38mm$$

- Velocidad de corte con herramienta de acero rápido:

$$VC = 10 \frac{m}{min} \Rightarrow n = \frac{VC}{\pi * D_0} = \frac{10}{\pi * 0,017} \approx 187rpm$$

$$n = 180rpm$$

- Tiempo de la operación:

$$\text{Avance: } f = 0,11 \frac{mm}{rev}$$

$$t = \frac{p_{corte}}{n * f} = \frac{9,38}{180 * 0,11} = 0,48min$$

Operación: Formado de cono con cuchilla de forma

Se prepara una herramienta de acero rápido, con un filo de 15mm de longitud, y se coloca en el porta herramientas de manera que el filo de corte forme un ángulo de 36,87°, y se le da un avance paralelo de forma manual, hasta lograr la forma cónica en el interior de la cavidad.

- Velocidad de corte con herramienta de acero rápido:

$$VC = 17 \frac{m}{min} \Rightarrow n = \frac{VC}{\pi * D_0} = \frac{17}{\pi * 0,035} \approx 155rpm$$

$$n = 125rpm$$

- Distancia a desbastar en dirección longitudinal:

$$L = 12mm$$

- Número de pasadas:

$$i = 1$$

- Tiempo de la operación:

$$\text{Avance: } f = 0,10 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$$

$$t = \frac{L}{n * f} = \frac{12}{125 * 0,10} = 0,96 \text{ min}$$

Operación: Torneado cónico

Por medio de la teoría fundamental de los conos adquirida por parte de la bibliografía, se procede a preparar el torno con el ángulo necesario para dar el avance en dicho sentido y así poder conformar el cono deseado.

- Conicidad(1:Z):

$$D_{\text{mayor}} = 41,00\text{mm}$$

$$d_{\text{menor}} = 35,00\text{mm}$$

$$1:Z = \frac{L}{D_{\text{mayor}} - d_{\text{menor}}} = \frac{42,00}{41,00 - 35,00} = 7$$

D_{mayor}: Diámetro mayor; d_{menor}: Diámetro menor; L: Longitud

- Porcentaje de conicidad(% Conicidad):

$$\% \text{Conicidad} = \frac{D_{\text{mayor}} - d_{\text{menor}}}{L} * 100 = \frac{41 - 35}{42} * 100 = 14,28\%$$

- Ángulo de inclinación en el carro del torno (α):

$$\text{tg}(\alpha) = \frac{\% \text{ de conicidad}}{200} = \frac{14,28}{200} = 0,0714$$

$$\alpha = \text{arctg}(0,0714) = 4^\circ$$

- Velocidad de corte con herramienta de acero rápido:

$$VC = 17 \frac{m}{\min} \Rightarrow n = \frac{VC}{\pi * D_0} = \frac{17}{\pi * 0,041} \approx 132rpm$$

$$n = 125rpm$$

- El avance se hace manual en el carro impulsando la cuchilla en el ángulo (α), cada operación de corte es continua hasta alcanzar el cono deseado.

Operación: Abocardado

Se prepara una broca de acero rápido de 12,7mm de diámetro, se le corta la punta y se afila para lograr el abocardado, se le da un avance de 0,12 mm/rev perforar una profundidad de trabajo= 8mm

- Velocidad de corte con herramienta de acero rápido:

$$VC = 10 \frac{m}{\min} \Rightarrow n = \frac{VC}{\pi * D_0} = \frac{10}{\pi * 0,0127} \approx 250rpm$$

- Tiempo de la operación:

$$\text{Avance: } f = 0,12 \frac{mm}{rev}$$

$$t = \frac{P_{corte}}{n * f} = \frac{8}{250 * 0,12} = 0,27 \text{ min}$$

Operación: Escariado

- Escariar orificio a 8mm.
- Escariar orificio a 13mm.

Operación: Cilindrado

- Velocidad de corte con herramienta de acero rápido:

$$VC = 25 \frac{m}{\min} \Rightarrow n = \frac{VC}{\pi * D_0} = \frac{25}{\pi * 0,070} \approx 114rpm$$

$$n = 90rpm$$

- Distancia a desbastar en dirección radial:

$$d = \frac{D_0 - D_f}{2} = \frac{70,00 - 42,60}{2} = 13,70mm$$

- Tiempo de la operación:

$$\text{Avance en dirección radial: } f = 0,10 \frac{mm}{rev}$$

$$t = \frac{d}{n * f} = \frac{13,70}{90 * 0,10} = 1,52 \text{ min}$$

5.2.2.-Mecanizado del inserto del molde superior

Para la construcción de este elemento, se utiliza el tocho de 15,875mm de diámetro x 80mm de longitud, el cual viene calibrado de fábrica.

Operación: Cilindrado

- Velocidad de corte con herramienta de acero rápido:

$$VC = 20 \frac{m}{min} \Rightarrow n = \frac{VC}{\pi * D_0} = \frac{20}{\pi * 0,015875} \approx 401rpm$$

$$n = 355rpm$$

- Distancia a desbastar en dirección radial:

$$d = \frac{D_0 - D_f}{2} = \frac{15,88 - 13}{2} = 1,44mm$$

Se deben realizar 9 pasadas a 0,50mm de profundidad y 1 pasada de 0,30mm de profundidad para lograr el Df.

- Número de pasadas:

$$i = \frac{d}{p_{\text{corte}}} = \frac{1,44}{0,50} = 2,88 \approx 3$$

Se deben realizar 2 pasadas a 0,5mm de profundidad y 1 pasada de 0,44mm de profundidad para lograr el Df.

- Tiempo de la operación:

$$\text{Avance: } f = 0,10 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$$

$$t = \frac{L * i}{n * f} = \frac{24 * 3}{355 * 0,10} = 2,02 \text{ min}$$

Operación: Cilindrado

- Velocidad de corte con herramienta de acero rápido:

$$VC = 20 \frac{\text{m}}{\text{min}} \Rightarrow n = \frac{VC}{\pi * D_0} = \frac{20}{\pi * 0,01} \approx 490 \text{ rpm}$$

$$n = 355 \text{ rpm}$$

- Distancia a desbastar en dirección radial:

$$d = \frac{D_0 - D_f}{2} = \frac{13 - 8}{2} = 2,50 \text{ mm}$$

- Número de pasadas:

$$i = \frac{d}{p_{\text{corte}}} = \frac{2,50}{0,20} = 12,50 \approx 13$$

Se deben realizar 12 pasadas a 0,2mm de profundidad y 1 pasada de 0,1mm de profundidad para lograr el Df.

- Tiempo de la operación:

$$\text{Avance: } f = 0,20 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$$

$$t = \frac{L * i}{n * f} = \frac{15 * 13}{355 * 0,20} = 2,74 \text{ min}$$

Operación: Corte y refrendado

Se corta la pieza a una longitud de 24mm y se refrenda la cara cortada, hasta llevarla a 23mm de longitud.

5.2.3.-Mecanizado de la parte inferior del molde

Para la construcción de este elemento, se utiliza el tocho de 76,20mm de diámetro x 90mm de longitud, el cual viene calibrado de fábrica.

Operación: Cilindrado

- Velocidad de corte con herramienta de acero rápido:

$$VC = 33 \frac{\text{m}}{\text{min}} \Rightarrow n = \frac{VC}{\pi * D_0} = \frac{33}{\pi * 0,0762} \approx 138 \text{ rpm}$$

$$n = 125 \text{ rpm}$$

- Distancia a desbastar en dirección radial:

$$d = \frac{D_0 - D_f}{2} = \frac{76,20 - 36,65}{2} = 19,77 \text{ mm}$$

- Número de pasadas:

$$i = \frac{d}{p_{\text{corte}}} = \frac{19,77}{1} = 19,77 \approx 20$$

Se deben realizar 19 pasadas a 1 mm de profundidad y 1 pasada de 0,77mm de profundidad para lograr el Df.

- Tiempo de la operación:

$$\text{Avance: } f = 0,70 \frac{mm}{rev}$$

$$t = \frac{L * i}{n * f} = \frac{43,40 * 20}{125 * 0,70} = 9,92 \text{ min}$$

Operación: Torneado cónico

Por medio de la teoría fundamental de los conos adquirida por parte de la bibliografía, se procede a preparar el torno con el ángulo necesario para dar el avance en dicho sentido y así poder conformar el cono deseado.

- Conicidad.

$$\begin{aligned} D_{mayor} &= 36,65mm \\ d_{menor} &= 31mm \end{aligned} \quad 1:Z = \frac{L}{D_{mayor} - d_{menor}} = \frac{38,40}{36,65 - 31} = 6,79$$

- Porcentaje de conicidad.

$$\%Conicidad = \frac{D_{mayor} - d_{menor}}{L} * 100 = \frac{36,65 - 31}{38,40} * 100 = 14,71\%$$

- Ángulo de inclinación en el carro del torno.

$$tg(\alpha) = \frac{\%_de_conicidad}{200} = \frac{14,71}{200} = 0,07$$

$$\alpha = arctg(0,07) = 4,2^\circ$$

- Velocidad de corte con herramienta de acero rápido:

$$VC = 17 \frac{m}{\min} \Rightarrow n = \frac{VC}{\pi * D_0} = \frac{17}{\pi * 0,03665} \approx 148rpm$$

$$n = 125rpm$$

- El avance se hace manual en el carro impulsando la cuchilla en el ángulo (α), cada operación de corte es continua hasta alcanzar el cono deseado.

Operación: Chaflán

- Se coloca una herramienta de filo recto el cual forma un ángulo con el eje longitudinal del torno de $\alpha = 47,72^\circ$.

- Velocidad de corte con herramienta de acero rápido:

$$VC = 17 \frac{m}{\min} \Rightarrow n = \frac{VC}{\pi * D_0} = \frac{17}{\pi * 0,031} \approx 175rpm$$

$$n = 125rpm$$

- Profundidad de corte:

$$P_{corte} = f = 0,10 \frac{mm}{rev}$$

Avance en dirección paralela al eje del torno.

- Tiempo de la operación:

$$\text{Avance: } f = 0,10 \frac{mm}{rev}$$

$$t = \frac{L}{n * f} = \frac{5,50}{125 * 0,10} = 0,44 \text{ min}$$

Operación: Formado de cono con cuchilla de forma

Se prepara una herramienta de acero rápido, con la forma descrita en la figura y se realiza el corte, con un avance en dirección paralela al eje del torno de forma manual hasta llegar a la profundidad de 7mm.

- Velocidad de corte con herramienta de acero rápido:

$$VC = 17 \frac{m}{\min} \Rightarrow n = \frac{VC}{\pi * D_0} = \frac{17}{\pi * 0,044} \approx 125rpm$$

- Distancia a desbastar en dirección longitudinal (L):

$$L = 7mm$$

Operación: Corte de canales en el cono

Se aplica la cuchilla de corte en dirección radial, abriendo canales de 0.3mm de profundidad.

- 19 canales desde 5mm por debajo del diámetro menor del cono, distanciados en 1mm.

Operación: Corte de canales en la base

Se aplica la cuchilla de corte triangular en dirección longitudinal con una profundidad de corte de 1mm. Y con los diámetros siguientes:

- D1=47mm D1: Primer diámetro
- D2=52mm D2: Segundo diámetro
- D3=57mm D3: Tercer diámetro

Operación: Cilindrado

- Velocidad de corte con herramienta de acero rápido:

$$VC = 33 \frac{m}{\min} \Rightarrow n = \frac{VC}{\pi * D_0} = \frac{33}{\pi * 0,0762} \approx 138rpm$$

$$n = 125rpm$$

- Distancia a desbastar en dirección radial:

$$d = \frac{D_0 - D_f}{2} = \frac{76,20 - 70}{2} = 6,20\text{mm}$$

- Número de pasadas:

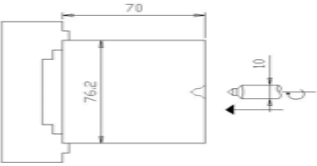
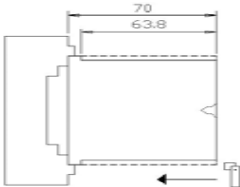
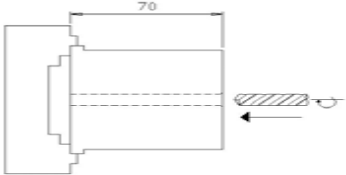
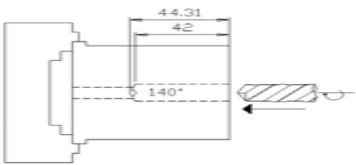
$$i = \frac{d}{p_{\text{corte}}} = \frac{6,20}{1} = 6,20 \approx 7$$

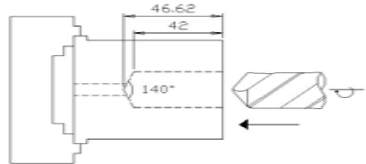
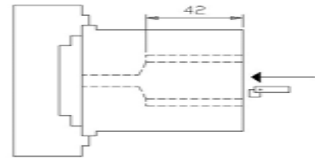
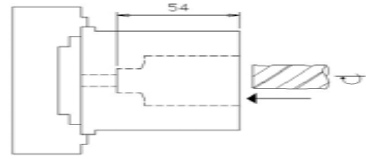
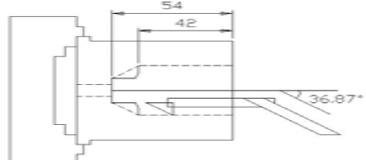
Se deben realizar 6 pasadas a 1 mm de profundidad y 1 pasada de 0,2mm de profundidad para lograr el Df.

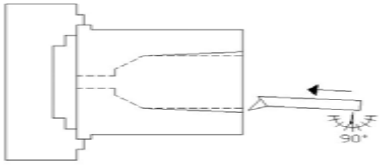
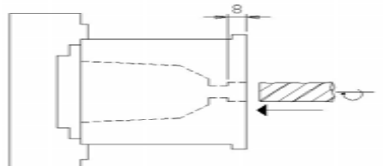
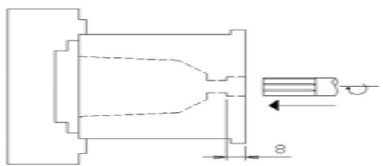
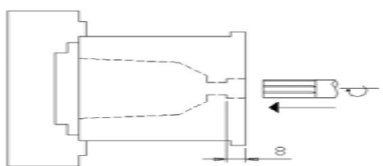
- Tiempo de la operación:

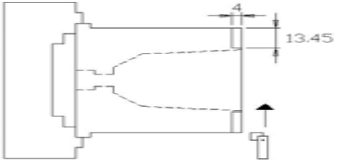
$$\text{Avance: } f = 0,70 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$$

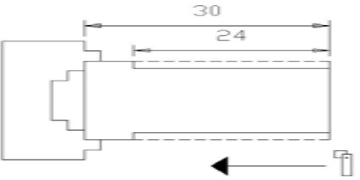
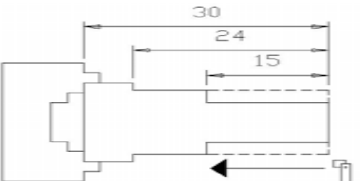
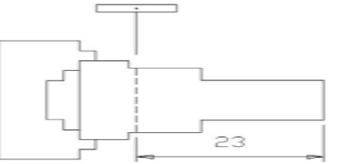
$$t = \frac{L * i}{n * f} = \frac{40,40 * 7}{125 * 0,70} = 3,23\text{min}$$

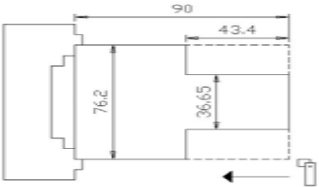
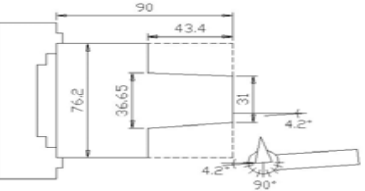

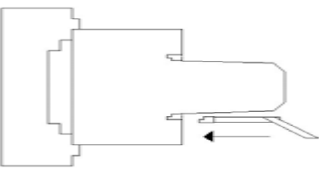
NOMBRE DE LA PIEZA: PARTE SUPERIOR DEL MOLDE		MATERIAL: AISI-1045			N° DE PARTE 1			CANTIDAD: 1
N°	MÁQUINA-OPERACIÓN-HERRAMIENTA	VC [m/min]	n [rpm]	f [mm/rev]	Df [mm]	t [min]	L [mm]	OBSERVACIONES
1		-	-	-	-	-	-	Centrado: Agujero inicial para establecer con precisión donde se taladrará el agujero posterior mecha centradora
2		33	125	0,7	70	5,1	63,8	Desbastado: Do=76,2mm Se realizan 6 pasadas a 0,5 mm de profundidad y una pasada a 0,1 mm de profundidad.
3		10	355	0,1	7,9375 (5/16")	2,01	71,44	Taladrado: Usar broca de 5/16". Usar previamente brocas de 3, 5,6,5 y 7,5 mm de diámetro. Ángulo de la broca= 140°
4		10	250	0,12	12,7 (1/2")	1,47	44,31	Taladrado: Usar broca de 1/2". Profundidad=44,31mm Ángulo de la broca= 140°

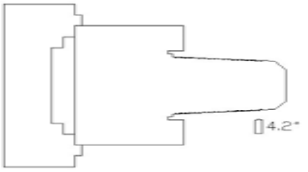
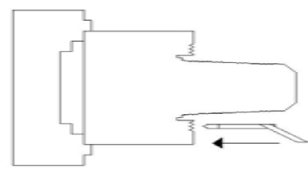
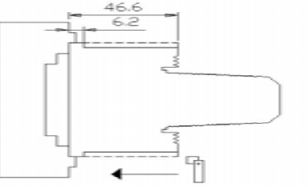
NOMBRE DE LA PIEZA: PARTE SUPERIOR DEL MOLDE		MATERIAL: AISI-1045			N° DE PARTE 1			CANTIDAD: 1
N°	MÁQUINA-OPERACIÓN-HERRAMIENTA	VC [m/min]	n [rpm]	f [mm/rev]	Df [mm]	t [min]	L [mm]	OBSERVACIONES
5		20	250	0,16	25,4 (1")	1,16	46,62	Taladrado: Usar broca de 1". Profundidad=46,62mm Ángulo de la broca= 140°
6		17	125	0,3	35	11,2	42	Corte de desbaste desde Do=25,4mm a Df=35 mm 9 pasadas a 0,5 mm prof. 1 pasada de 0,3mm de profundidad.
7		10	180	0,11	17	0,48	9,38	Abocardado
8		17	125	0,1	-	0,96	12	Se prepara una cuchilla recta de 15 mm de largo se coloca de forma que tenga un ángulo con el eje del torno de 36,87°

NOMBRE DE LA PIEZA: PARTE SUPERIOR DEL MOLDE		MATERIAL: AISI-1045			N° DE PARTE 1			CANTIDAD: 1
N°	MÁQUINA-OPERACIÓN-HERRAMIENTA	VC [m/min]	n [rpm]	f [mm/rev]	Df [mm]	t [min]	L [mm]	OBSERVACIONES
9		17	125	-	-	-	42	Conoicidad 1:7 % de conicidad=14,28% ángulo 4° avance manual
10		10	250	0,12	12,7 (1/2")	0,267	8	Abocardado Broca de 1/2"
11		10	250	-	13	-	8	Escariado Tolerancia -,07 0
12		10	250	-	8	-	8	Escariado Tolerancia -,07 0

NOMBRE DE LA PIEZA: PARTE SUPERIOR DEL MOLDE		MATERIAL: AISI-1045			N° DE PARTE 1			CANTIDAD: 1
N°	MÁQUINA-OPERACIÓN-HERRAMIENTA	VC [m/min]	n [rpm]	f [mm/rev]	Df [mm]	t [min]	L [mm]	OBSERVACIONES
13		25	90	0,2	42,6	1,52	4	Operación de desbaste Do=70mm avance radial

NOMBRE DE LA PIEZA: INSERTO MOLDE SUPERIOR		MATERIAL: AISI-1045			N° DE PARTE 1			CANTIDAD: 1
N°	MÁQUINA-OPERACIÓN-HERRAMIENTA	VC [m/min]	n [rpm]	f [mm/rev]	Df [mm]	t [min]	L [mm]	OBSERVACIONES
1		20	355	0,1	13	2,02	24	Desbastado Do=15,875mm profundidad de corte 0,5mm 3 pasadas a 0,5 mm 1 pasada 0,44 mm
2		20	355	0,2	8	2,74	15	Desbastado Do=13mm profundidad de corte 0,2mm 13 pasadas a 0,2 mm 1 pasada 0,1 mm
3		-	-	-	-	-	-	Corte a 23 mm y refrendado para el acabado de la cara

NOMBRE DE LA PIEZA: PARTE INFERIOR DEL MOLDE		MATERIAL: AISI-1045			N° DE PARTE 1			CANTIDAD: 1
N°	MÁQUINA-OPERACIÓN-HERRAMIENTA	VC [m/min]	n [rpm]	f [mm/rev]	Df [mm]	t [min]	L [mm]	OBSERVACIONES
1		33	125	0,7	36,65	9,92	43,4	Desbastado Do=76,2mm profundidad de corte 1 mm 19 pasadas a 1 mm 1 pasada 0,77 mm
2		17	125	-	-	-	43,4	Conoicidad 1:6,79 % de conicidad=14,71% ángulo 4,2° avance manual
3		17	125	0,1	20	0,44	5,5	Chafinado con ángulo de 47,72°, el avance puede ser paralelo o perpendicular
4		17	125	0,1	44	0,54	6,6	avance manual Cuchilla de forma

NOMBRE DE LA PIEZA: PARTE INFERIOR DEL MOLDE		MATERIAL: AISI-1045			N° DE PARTE 1			CANTIDAD: 1
N°	MÁQUINA-OPERACIÓN-HERRAMIENTA	VC [m/min]	n [rpm]	f [mm/rev]	Df [mm]	t [min]	L [mm]	OBSERVACIONES
5		-	125	-	-	-	-	19 canales de 0,3mm de profundidad separados 1mm comenzando 5 mm por debajo del diametro menor del cono
6		-	125	-	-	-	-	3 canales de 1 mm de profundidad a D1=47mm D2=52mm D3=57mm
7		33	125	0,7	70	3,23	40,4	Desbastado Do=76,2mm profundidad de corte 1mm 6 pasadas a 1 mm 1 pasada 0,2 mm

CAPÍTULO VI

6.-Cálculos

6.1.-Cálculo de la presión en la prensa para la operación de moldeo

Cálculo área proyectada (Aproyectada):

$$A_{proyectada} = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} (4,40cm)^2 = 15,21cm^2$$

Para lograr que la goma fluya dentro del molde se debe aplicar una presión entre (2,94MPa-5,88MPa), en este caso se utiliza P= 4,90MPa.

La fuerza (F) necesaria que se debe aplicar al molde será:

$$F = P * A_{proyectada} = 4,90MPa * 15,21cm^2 = 7455,50N ; \quad P: \text{Presión}$$

Para calcular la presión que debe tener el fluido hidráulico (Pfluido):

$$D_{pistón} = 8'' = 20,21cm ; \quad D_{pistón}: \text{Diámetro del pistón}$$

$$A_{pistón} = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} (20,21cm)^2 = 324,29cm^2 ; \quad A_{pistón}: \text{Área del pistón}$$

$$P_{fluido} = \frac{F}{A_{pistón}} = \frac{7455,50N}{324,29cm^2} = 229,90kPa \Rightarrow P_{fluido} = 229,90kPa (33,34psig)$$

Para lograr que se mantenga esta presión, se gradúa el regulador en la prensa a P=34psig, lo que evita que se exceda la presión sobre el molde. Luego de alcanzada la presión deseada, se cierra la válvula del fluido hidráulico, que proviene de la bomba y ésta se detiene. Al finalizar el proceso de vulcanizado se abre la válvula de

alivio al tanque del fluido, se libera la presión y el peso del pistón retorna la prensa a su posición inicial.

6.2.-Punto de burbuja para determinar el tiempo de vulcanización

Para hallar el tiempo de vulcanización se utiliza un método muy sencillo, que consiste en vulcanizar piezas con intervalos de tiempo de 30s y luego realizar cortes a la goma que expongan su interior.

El tiempo mínimo de vulcanizado es aquel en el que ya no se observen burbujas en la matriz del caucho. Para el vaso de sujeción tenemos que:

Punto de burbuja	
Tiempo [s]	Presencia de burbujas
30	presentes
60	presentes
90	presentes
120	presentes
150	muy pequeñas
180	ausentes

Tabla 6.1 Determinación del tiempo de vulcanización

Se determinó que el tiempo mínimo para una adecuada vulcanización ($t_{\text{vulcanización}}$) del caucho, en el proceso, es de:

$$t_{\text{vulcanización}} = 180s$$

Se debe hacer notar, que este tiempo de vulcanización, depende de la geometría del vaso de sujeción, lo que implica que no es válido para otras geometrías que utilicen la misma formulación del caucho.

Para estimar si la formulación del caucho es capaz de soportar el peso de la botella y el esfuerzo por la presión de operación de la encajonadora de botellas, se realizan los cálculos siguientes:

6.3.-Esfuerzos en el vaso de sujeción

Cálculo para verificar que el espesor de pared del vaso de sujeción fabricado con la formulación del caucho propuesta, resista las condiciones de operación, se utilizan las ecuaciones del libro “Diseño en Ingeniería Mecánica, Shigley, 6ta. Edición”.

Para utilizar estas ecuaciones se supondrá:

- Que la pieza es cilíndrica.
- Su pared permanece recta al aplicarse la presión.
- Los resultados son sólo aplicables en las zonas más alejadas de los concentradores de esfuerzos, a 22,50mm medidos desde la base.

Esfuerzo tangencial (σ_t):

$$\sigma_t = \frac{(p_i * r_i^2) - (p_o * r_o^2) - \frac{r_i^2 * r_o^2 * (p_o - p_i)}{r^2}}{r_o^2 - r_i^2}$$

Esfuerzo radial (σ_r):

$$\sigma_r = \frac{(p_i * r_i^2) - (p_o * r_o^2) + \frac{r_i^2 * r_o^2 * (p_o - p_i)}{r^2}}{r_o^2 - r_i^2}$$

Data:

$P_{0g}=0.15\text{Mpa}$; P_{og} : Presión externa

$P_i=0$; P_i : Presión interna

$r_i=18,335 \text{ mm}$ r_i : Radio interno

$r_o=20,335 \text{ mm}$ r_o : Radio externo

$$\sigma_t = \frac{(0 * (18,335E - 3)^2) - (150000 * (20,335E - 3)^2) - \frac{((18,335E - 3)^2 * (20,335E - 3)^2 * (150000 - 0))}{(18,335E - 3)^2}}{(20,335E - 3)^2 - (18,335E - 3)^2}$$

$$\sigma_t = -1,604MPa$$

$$\sigma_r = \frac{(0*(18,335E-3)^2) - (150000*(20,335E-3)^2) + \frac{((18,335E-3)^2*(20,335E-3)^2*(150000-0))}{(18,335E-3)^2}}{(20,335E-3)^2 - (18,335E-3)^2}$$

$$\sigma_r = 0MPa$$

Como se puede observar el esfuerzo más alto es el de la cara interna del vaso, y comparándolo con el esfuerzo permisible, obtenemos el siguiente margen de seguridad (η):

$$\sigma_t = -1,604MPa$$

$$S_y = 24,68MPa \quad S_y: \text{Fluencia}$$

$$\eta = \frac{24,68MPa}{1,60MPa} = 15,38$$

6.4.-Esfuerzos debidos al peso de la botella llena

Para verificar que la pieza puede soportar el peso de la botella de cerveza llena y con la chapa puesta, tendremos las siguientes consideraciones:

- La chapa se encaja en la goma, este hecho nos indica que la fuerza que sujeta la botella no es la de roce, sino la fuerza de contacto entre el filo inferior de la chapa y la goma, que se distribuye uniformemente en el anillo de contacto.

Área anillo de la goma en la zona de contacto ($A_{\text{anillo de goma}}$):

$$A_{\text{anillo de goma}} = \pi(r_0^2 - r_i^2) = \pi(15,5^2 - 13,5^2)$$

$$A_{\text{anillo de goma}} = 182,21mm^2$$

$$Peso_{botellallena} = 440 \text{ grf} * 0,00980665 \frac{N}{\text{grf}} = 4,315 N$$

Con estos datos podemos calcular el esfuerzo sobre el anillo de goma (σ):

$$\sigma = \frac{F_{botellallena}}{A_{anillo \text{ de goma}}} = \frac{4,315 N}{182,21 * 10^{-6} m^2} = 23,681 kPa$$

Al compararlo con el esfuerzo permisible de la goma obtenemos el siguiente factor de seguridad (η):

$$\eta = \frac{2468 kPa}{23,68 kPa} \approx 1042$$

Este valor es alto debido a que el peso de la

botella genera un esfuerzo muy pequeño que puede considerarse despreciable

6.5.-Fuerzas de roce en la botella sin chapa

Para verificar si la goma es capaz de sujetar la botella vacía y posiblemente mojada, en el momento de sacarla de la gavera, se realizan los siguientes cálculos:

Data:

Factor de fricción vidrio-caucho mojado (Fuente: Limpiaparabrisas federal mogul <http://www.blizzardblade.com/>)

$$\mu = 0,15$$

Anillo de contacto goma-vidrio:

$$r=25\text{mm}; \quad r: \text{Radio}$$

$$h=5\text{mm}; \quad h: \text{Altura}$$

Peso botella vacía ($P_{botellavacia}$):

$$P_{botellavacia} = 214 \text{ grf} * 0,00980665 \frac{N}{\text{grf}} = 2,098 N$$

Cálculo área anillo de goma ($A_{anillo\ de\ goma}$):

$$A_{anillo\ de\ goma} = \pi * d * h = \pi * 25 * 5 = 392,70\text{mm}^2$$

Fuerza normal que aplica la goma sobre la botella (F_{normal}):

$$F_{normal} = 150000\text{Pa} * 392,70\text{E} - 6\text{m}^2 = 58,91\text{N}$$

Fuerza de roce que se opone a que se caiga la botella (F_{roce}):

$$F_{roce} = \mu * F_{normal} = 0,15 * 58,91\text{N}$$

$$F_{roce} = 8,83\text{N}$$

Al comparar la fuerza de roce en el pico de la botella y el peso de la botella vacía, se puede observar que la goma es capaz de levantarla con un factor de seguridad de:

$$\eta = \frac{8,83\text{N}}{2,09\text{N}} \approx 4,2$$

CAPÍTULO VII

7.-Costos del vaso de sujeción

7.1.-Costos de la materia prima

En la siguiente tabla se muestran, los precios de los componentes de la formulación de goma y de los tochos que se utilizaron en la construcción de los moldes.

FORMULACIÓN DE CAUCHO (kg x 100 kg de caucho natural)		PRECIO [Bs./kg]	valor en Bs. para 166,5kg
CAUCHO NATURAL	100	4300,00	430000,00
ÓXIDO DE CINC	5	4085,00	20425,00
ÁCIDO ESTEÁRICO	2	4000,00	8000,00
TMQ-AGERITE RESIN D	1,50	7525,00	11287,50
NEGRO DE HUMO	50	2600,00	130000,00
ACEITE C61-K STAY G	5	1100,00	5500,00
OBTS-AMAX	0,50	8920,00	4460,00
AZUFRE	2,50	900,00	2250,00
TOTAL	166,50kg		611922,50

Tabla 7.1.-Precio del caucho y aditivos

Fuente: INVERSIONES PREMA,C.A.

De la tabla 7.1 se toma el valor ($C_{\text{formulación}}$) y la masa de formulación total ($m_{\text{formulación}}$), para calcular el costo específico de la mezcla ($C_{\text{específico}}$):

$$C_{\text{específico}} = \frac{C_{\text{formulación}}}{m_{\text{formulación}}} = \frac{611922,50 \text{ Bs.}}{166,50 \text{ kg}}$$

$$C_{\text{específico}} = 3675,21 \frac{\text{Bs.}}{\text{kg}}$$

Para el prensado de un lote inicial de 500 vasos de sujeción, se deben preparar la siguiente cantidad de formulación de caucho ($m_{preparar}$):

$$m_{molde} = 15,20g; \quad m_{molde}: \text{Masa de carga en el molde}$$

$$m_{preparar} = 15,20g * 500 = 7600g$$

Con esta masa calculamos el costo de materia prima para quinientas piezas:

$$C_{MT500} = 7600g * \frac{kg}{1000g} * 3675,21 \frac{Bs.}{kg}$$

$C_{MT500} = 27931,60Bs.$

C_{MT500} : Costo de la materia prima para quinientas piezas

7.2.-Costo de los moldes

Para calcular los costos de los moldes se tiene que tomar en cuenta el costo de los tochos de acero y el costo de la hora de maquinado, los cuales nos fueron suministrados por la empresa PREMA C.A.:

Los tochos de acero AISI-1045 tienen un costo total de (ver Tabla 5.3):

$$C_{moldes} = 28136,82Bs; \quad C_{moldes}: \text{Costo de material de los moldes}$$

Y el costo de la hora de maquinado es 20000,00Bs/hr. Llevando la construcción de los moldes un total de 4 horas de trabajo, esto se traduce en un costo total del molde de:

$$C_{moldes} = 28136,82Bs + \left(4hr * 20000,00 \frac{Bs}{hr} \right)$$

$C_{total} = 108136,82Bs.$

El costo de un día de trabajo (C_{DT}) es de 120600,00 Bs./día (aportado por PREMA, C.A.) que incluye el uso del molino para mezclar la formulación, la prensa para realizar el moldeo y la vulcanización. Con este costo y el tiempo de vulcanización precisado anteriormente, podemos determinar la cantidad de piezas que se pueden fabricar en un día laboral de 8 horas de trabajo y finalmente hallar el costo de la pieza:

$$t_{moldeo} = t_{vulcanización} + t_{cyd}; \quad t_{moldeo}: \text{Tiempo de operación de moldeo}$$

t_{cyd} : Tiempo de carga y descarga

$$t_{moldeo} = 3 \text{ min} + 1 \text{ min} = 4 \text{ min}$$

Con el tiempo de operación se calcula el número de piezas diarias (N_{PD}) que se pueden fabricar con un molde:

$$N_{PD} = \frac{\text{turno de 8 horas} * 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}}}{t_{moldeo}}$$

$$N_{PD} = \frac{8 \text{ hr} * 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}}}{4 \frac{\text{min}}{\text{pieza}}}$$

$$N_{PD} = 120 \text{ piezas}$$

Con esta información se calcula el costo del vaso de sujeción (C_{VS}), de la siguiente manera:

Para construir las 500 piezas (Número_p) se necesitan:

$$t_{500P} = \frac{500 \text{ piezas}}{120 \frac{\text{piezas}}{\text{día}}} = 4 \text{ días y 4 horas}; \quad t_{500P} = 4,17 \text{ días}$$

t_{500P} : Tiempo de fabricación de quinientas piezas

$$C_{VS} = \frac{C_{MT\ 500} + C_{total} + C_{DT} * t_{500\ P}}{Número\ p}$$

$$C_{VS} = \frac{27931,60Bs + 108136,82Bs. + 120600,00 \frac{Bs}{día} * 4,17\ días}{500\ piezas}$$

$$C_{VS} = 1277,14 \frac{Bs.}{pieza}$$

Se realiza una tabla de Excel que permita la comparación de costos del vaso según el número de moldes:

Número de moldes	1	2	3	4	5	6
Costo material	55,86	55,86	55,86	55,86	55,86	55,86
Costo molde	216,27	432,55	648,82	865,09	1081,37	1297,64
Costo por producir diario	1005,00	502,50	335,00	251,25	201,00	167,50
Costo vaso de sujeción	1277,14	990,91	1039,68	1172,21	1338,23	1521,01

Tabla 7.2.- Costos del vaso de sujeción contra número de moldes

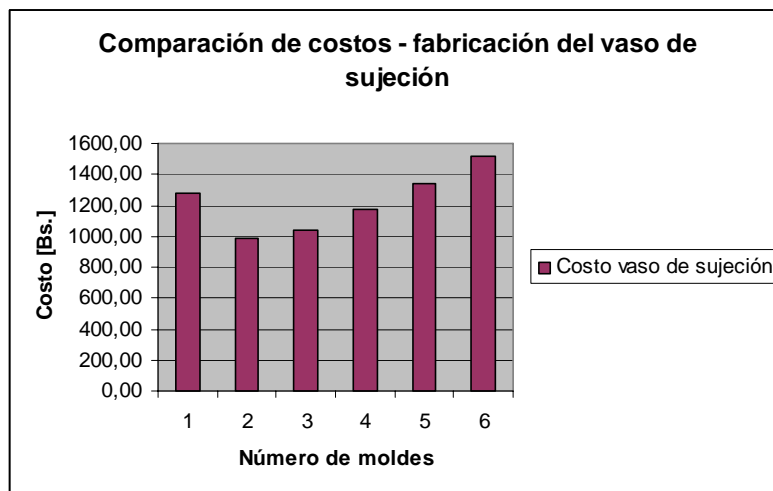


Figura 7.1.- Gráfica comparativa de costos del vaso de sujeción vs. Número de moldes

CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un juego de moldes capaz de reproducir en los vasos de sujeción, fabricados en caucho natural, las características geométricas del vaso original, con los equipos disponibles en PREMA,C.A. cuyo propósito operativo fue cumplido satisfactoriamente.
- Después de probar los vasos de sujeción en el cabezal de control, se obtuvo una mejora sustancial en el tiempo de funcionamiento. Las piezas lograron superar el tiempo de mantenimiento preventivo, el cual es de 30 días.
- La temperatura de vulcanización es de $T=150\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- El tiempo de vulcanización del caucho en el molde del vaso de sujeción es $t=3\text{min}$.
- La presión en la bomba para que el caucho fluya en el molde es de $P=229,90\text{kPa}$ (33,34psig)
- Los vasos de sujeción presentan la resistencia requerida a los esfuerzos a los que están sometidos, $S_y=24,68\text{MPa}$.
- Luego de haber probado los vasos de sujeción, se comprobó que los cálculos teóricos satisfacen los parámetros de operación.
- Se logró una formulación de caucho basada en las materias primas de menor precio y de mayor disponibilidad en Venezuela.

RECOMENDACIONES

- Construir dos moldes adicionales, para minimizar el costo del vaso de sujeción y disminuir el tiempo de fabricación de pedidos.
- Realizar pruebas utilizando como base el SBR, para tenerlo como posible sustituto del caucho natural.
- Verificar a la entrada del proceso las posibles botellas rotas ya que estas constituyen la mayor amenaza para la vida del vaso de sujeción.
- Notificar las posibles expansiones de la planta que puedan generar fuentes de ozono (motores eléctricos) cerca de los cabezales de la encajonadora, para tomar acciones correctivas en la formulación, que le brinden al vaso de sujeción resistencia a la degradación por ozono.
- Cargar el molde con una cantidad de material, cortado en forma circular para garantizar la mejor distribución en la cavidad al momento del moldeado.

Velocidades de corte y avances en el taladro con brocas espirales

Material	Herramienta	Velocidad de corte en m/min	Diámetro de la broca en mm				
			1 a 5	5 a 10	10 a 20	20 a 40	más de 40
			Avance por revolución de la broca en mm				
Acero hasta 110 kg/mm ²	Acero rápido	10	0,01 a 0,06	0,06 a 0,11	0,11 a 0,15	0,15 a 0,18	0,18 a 0,25

Fuente: Groover, Mikell P., Fundamentos de manufactura moderno

Velocidades del torno



Placa velocidades del torno
Fuente: TOS TRENCIN

Especificaciones del torno:

Marca: TOS TRENCIN

Modelo: TYP SN 40B-508

Datos de placa:

- Frecuencia 60 Hz
- Voltaje 220 Voltios
- Potencia: 6,6 kVA*0.87
- Factor de potencia=0.87



Torno TOS TRENCIN

Especificaciones de la prensa

Marca: ELECTRO

Modelo: 40T

Tipo: IMACO CA

Serial: 00151



Prensa ELECTRO 40T



Bomba Viker V-10

Especificaciones del molino

Marca: NIPPON ROLL

Longitud 80 cm

Potencia: 40hp

Capacidad: 20 kg



Molino NIPPON ROLL

Durometro Shore A

Penetrador: Cono truncado 35°, Ø 1.4 mm

Profundidad de muesca: 0 - 2.5 mm

Presión de prueba: aprox. 12.5 N

Fuerza de medida del resorte: 0.55 - 8.065 N

Rango del despliegue: Escala de 0 - 100

Diámetro de escala: 56 mm

Peso, neto (bruto): aprox. 300 g (500 g)

Dimensiones: 50 x 50 x 110 mm

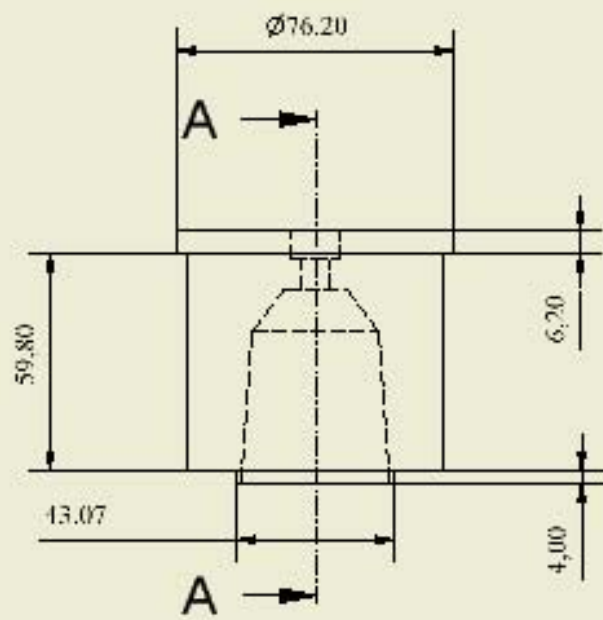


Proveedores de caucho en Venezuela:

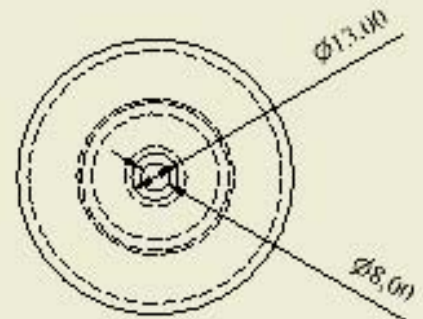
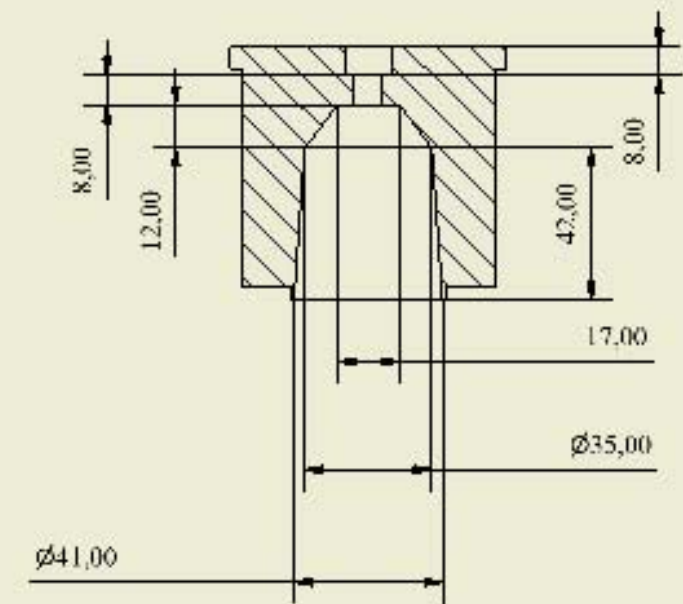
- PRIMO CONTACTO C.A., Calle Santa Margarita, Torre la California, Colinas de la California, Oficina 7 G, Caracas, Teléfono: 0212-2577054
- SUMINISTROS QUÍMICOS C.A., Zona Industrial Municipal Norte, calle 84, #61-989, parcela 289, Valencia, Edo. Carabob. Teléfono: 0241-8325651
- BAYER DE VENEZUELA, S.A.Caracas [*]
- GOODYEAR DE VENEZUELA, C.A. Valencia [*]
- MAPG CHEMICAL, C.A. Caracas [*]
- SHELL QUÍMICA DE VENEZUELA, C.A. Caracas [*]
- REGAL INDUST. RUBBER CO. C.A. Ciudad Ojeda [*]

[*] Afiliados a la Cámara Venezolana de la Goma - CAVEGO

PLANOS

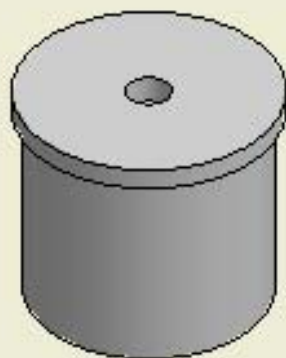


A-A (1:2)

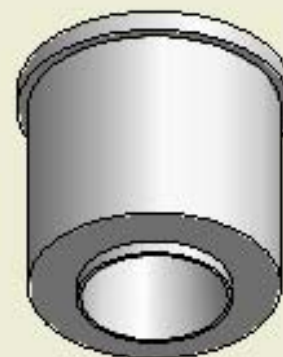


Diseño: Escalón E. Tercera B	Materia de Apoyo: A001001*	U.C.V.
Diseño: Ingeniería, Tercera B	Creador:	
Asesorado:	Fecha: 11/13	Título: Molde superior
Aprobado:	Módulo: Mecánica	
Universidad Central de Venezuela - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Mecánica		Plano N° 1

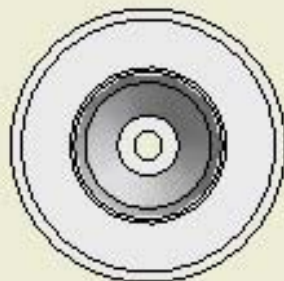
Isometría superior



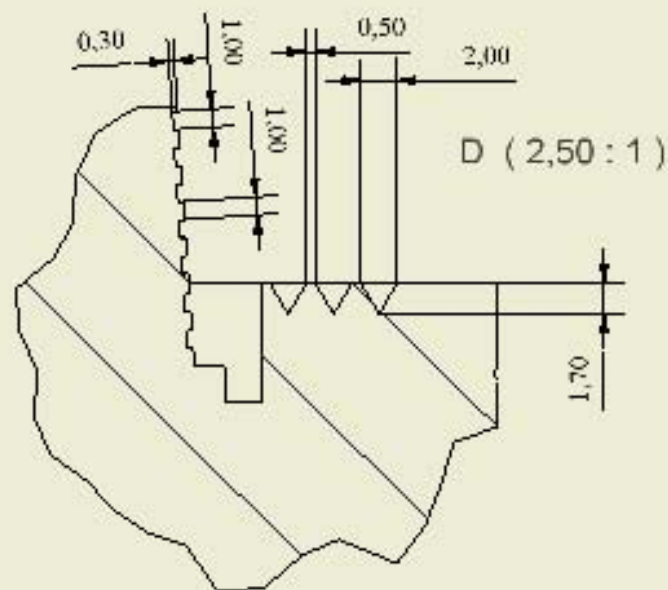
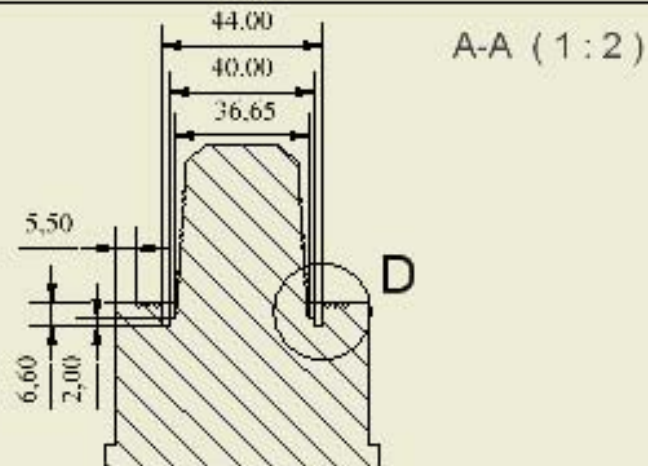
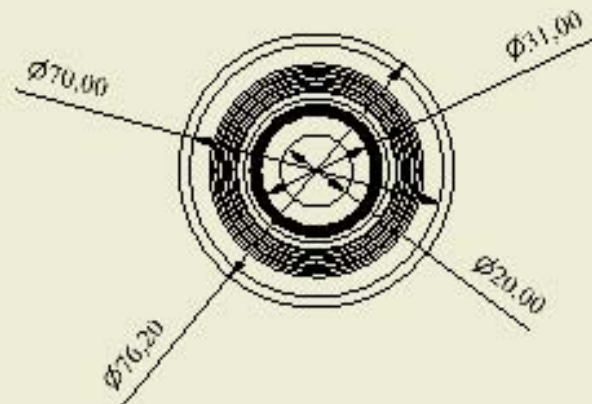
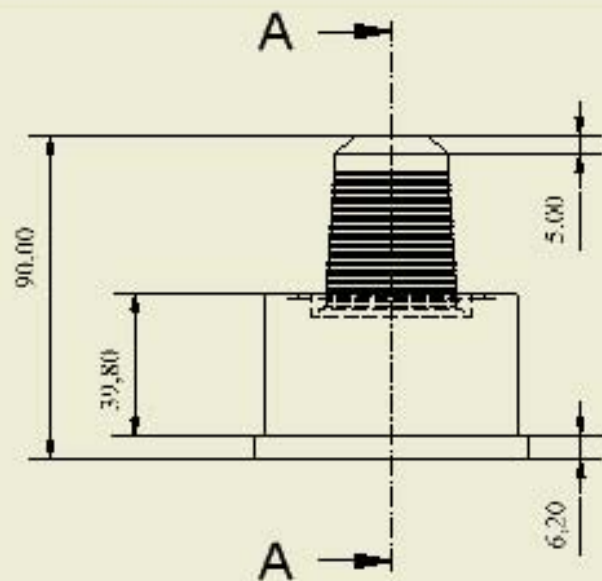
Isometría inferior



Vista inferior



Diseño: Escalón J. Yancy H	Área de Asesor: ARI DOP	U.C.V.
Diseño: Escalón J. Yancy H	Creador:	
Verificador:	Fecha: 1/13	Titulo: Isometrias molde superior Plano N° 2
Aprobador:	McKinnon	
Universidad Central de Venezuela - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Mecánica		

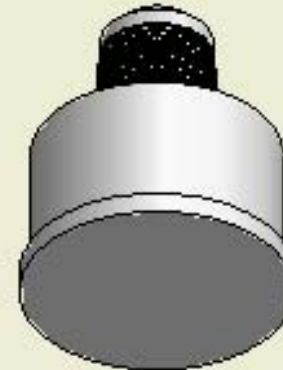


Diseño: Escobar J. Yancy H	Área de Asesor: ARI DDP	U.C.V.
Diseño: Escobar J. Yancy H	Creador:	
Verificador:	Fecha: 1-13	Titulo: molde inferior
Aprobador:	McKINLEY	
		Plano N° 3

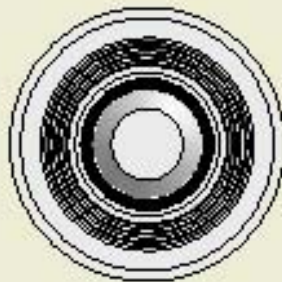
Isometria superior



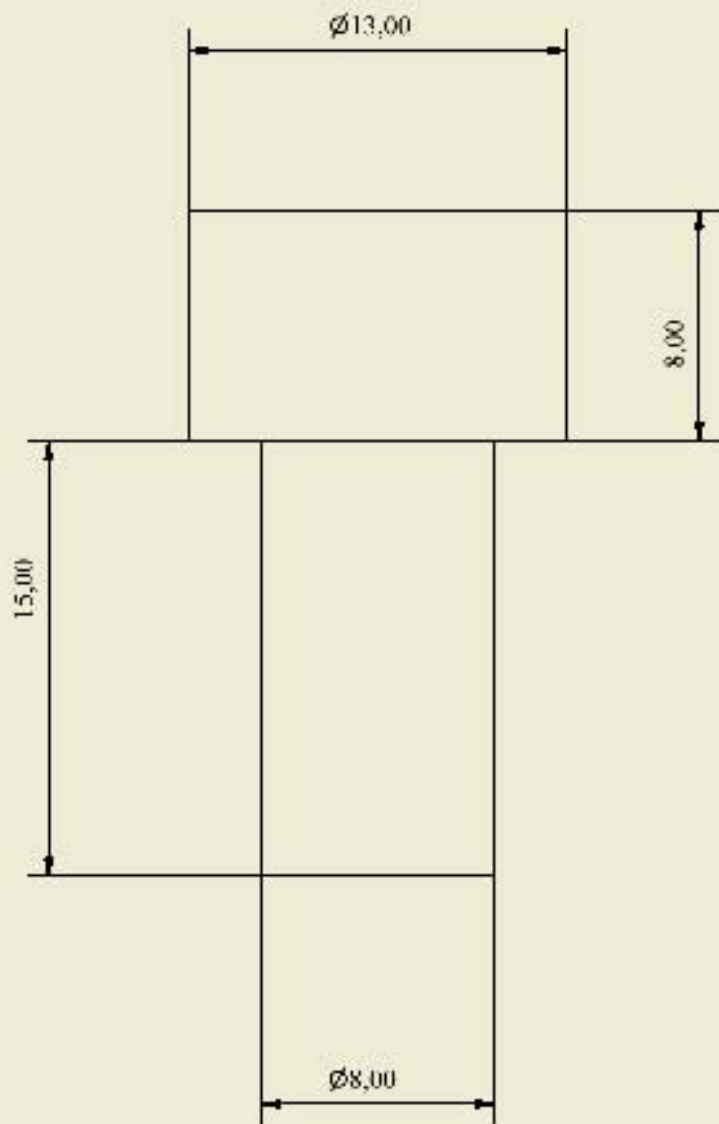
Isometria inferior



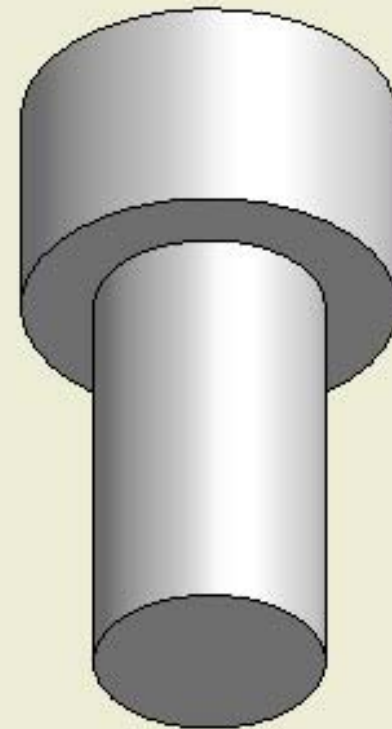
Vista superior



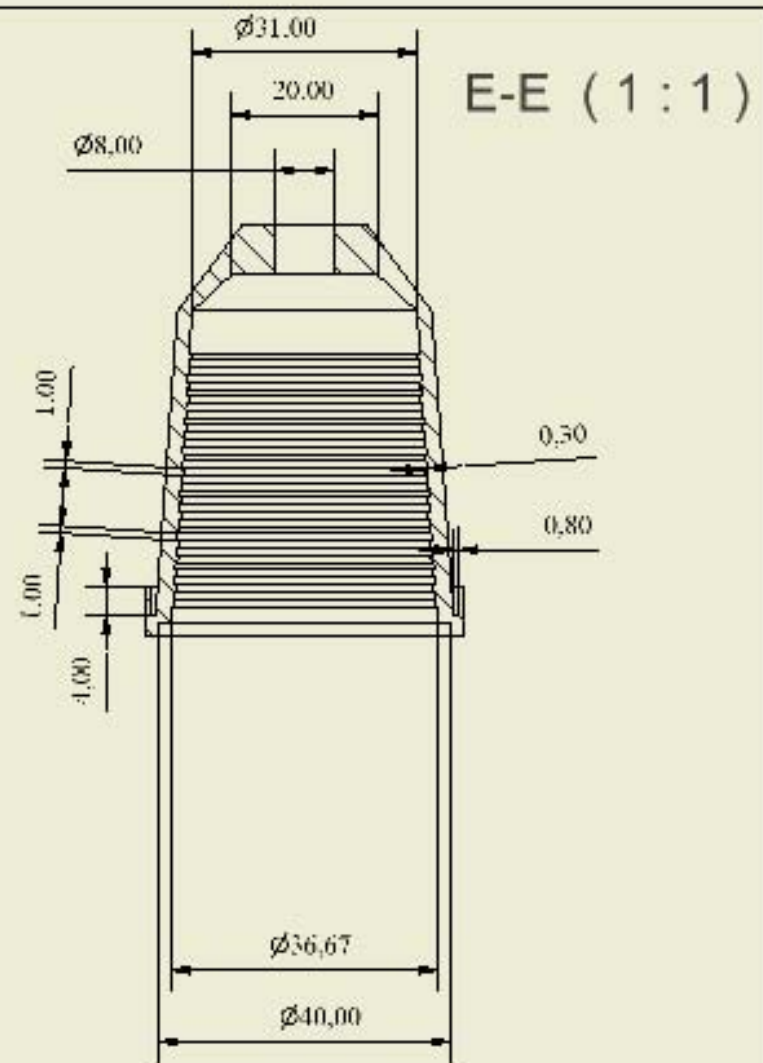
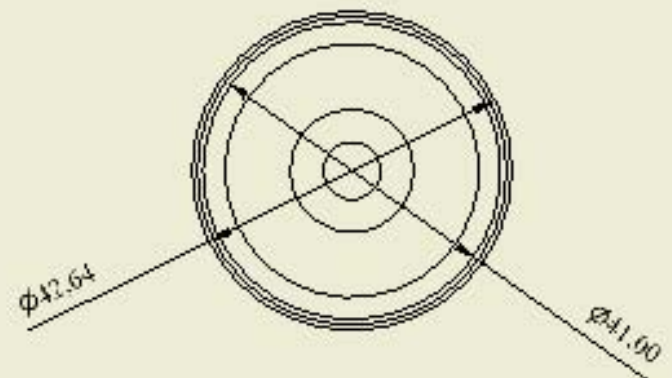
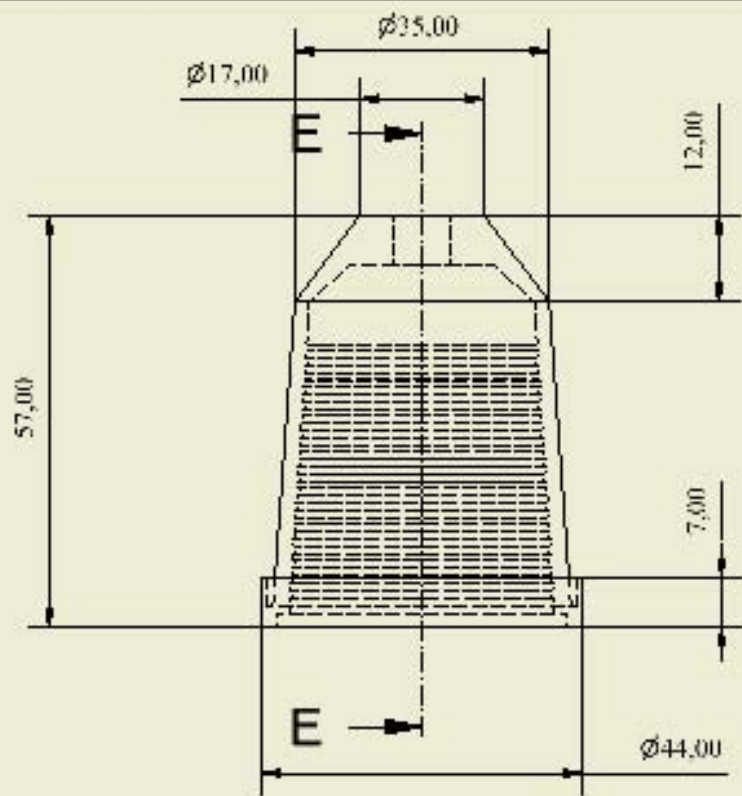
Diseño: Escobar J. Yancy H	Área: VP Acero AISI 304	U.C.V.
Diseño: Escobar J. Yancy H	Cantidad:	
cantidad:	Unidad: 1-1	Título: Isometria molde inferior
aprobado:	McKenna Juan	Plano N° 4
Universidad Central de Venezuela - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Mecánica		



Isometria inferior



Diseño: Escobar J. Yancy H	Área de Apoyo: ARI 010*	U.C.V.
Diseño: Escobar J. Yancy H	Creador:	
Verificador:	Fecha: / /	Título: Inserto
Aprobador:	McKinlay	
Nota: Vista lateral e isometria inferior		
		Plano N° 5
Universidad Central de Venezuela - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Mecánica		

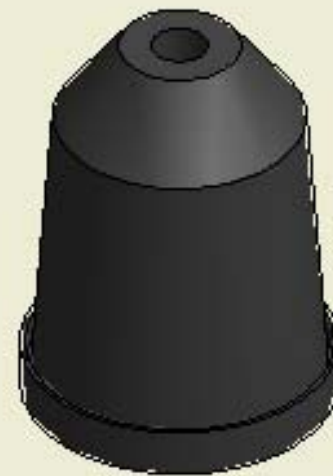


Diseño: Escobar J. Tania B	Área: (P) Diseño Mecánico	U.C.V.
Diseño: (P) Escobar J. Tania B	Cantidad:	
Verificado:	Fecha: 11/11	Titulo: Vaso de sujeción
Aprobado:	Mc. Tania Escobar	
Universidad Central de Venezuela - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Mecánica		Plano N° 6

Isometría inferior



Isometría superior



Diseño: Escalón J. Yancy H	Área: 1º y 2º Semestre	U.C.V.
Diseño: Escalón J. Yancy H	Cantidad:	
cantidad:	Unidad: 1	Titulo: Isometría vaso de sujección Plano Nº 7
aprobado:	McKenzia J. J.	
Universidad Central de Venezuela - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Mecánica		

BIBLIOGRAFÍA

Barlow, F. *Rubber Compounding, Principles, Materials and Techniques*, 1988.

Blow, C. *Rubber Technology and Manufacture*, 1971.

Casillas, A., *Máquinas y cálculos de taller*, Ediciones Máquinas, España, 1972.

Cavego, *Revista Hevea*, Caracas, Venezuela, 1998.

Cross, Nigel, *Método de Diseño*, 1era. Edición, Editorial Limusa Wiley, 2002.

Ferrum, *Catálogo de aceros especiales*, Caracas, Venezuela, 1998.

Groover, Mikell P., *Fundamentos de Manufactura Moderna*, Editorial Prentice Hall, 1995.

Hofmann. *Rubber Technology Handbook*, Hanser Publishers, 1989.

Morton, M. *Rubber Technology*, 1989.

Mott, R., *Diseño de Elementos de Máquinas*, 2da. Edición, Mexico Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, 1995.

Shigley j. y Mischke C., *Diseño en Ingeniería Mecánica*, 6ta. Edición, Editorial McGraw-Hill, 2002.

Timoshenko, Stephen P. y Gere, James M., *Mecánica de Materiales*, 2da. Edición, Grupo Editorial Iberoamérica. 1984.

Vandervilt Co., *The Vanderbilt Rubber Handbook*, 1978.

Whitten, Kenneth., *Química General*, 5ta. Edición, Editorial McGraw Hill, 1999.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

www.astm.org/DATABASE.CART/D.htm

www.blizzardblade.com

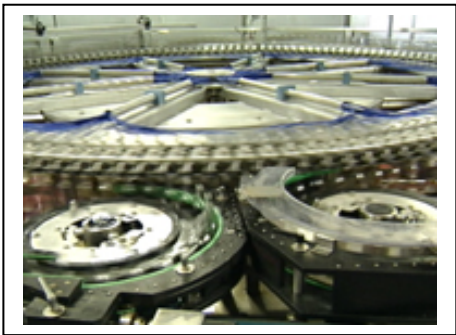
www.federalmogul.com

www.sidelpa.com/acero_1045.htm

www.sigsimonazzi.com

abq-instrumentos.com/durometro/durometro-hpsa.html

ANEXOS



Planta Cervecera Regional Cagua



Caucho Natural



Mezclado en el Molino



Formulación lista



Moldeo y vulcanización



Desmolde

Table 8
Test Methods Used to Measure Physical Properties

Tensile, Modulus and Elongation	Tensile strength, modulus and elongation at break were measured in accordance with ASTM D412 using a Scott Tensile Tester Model L-6. The rate of pull was 20"/minute and the temperature was 74.5°F at 55% R.H. Results are expressed in pounds per square inch or kilograms per square centimeter for tensile and modulus and elongation in percentage.
Shore Hardness	The hardness was measured following the ASTM D2240 method using a Shore Durometer Type A2 instrument.
Tear Resistance	Angle tear resistance was measured in accordance with ASTM D624 using Die C and the Scott L-6 machine.
Impact Resilience	Using the Goodyear-Healey Rebound Pendulum and ASTM D1054, the percentage rebound was measured at 74.5°F and 55% R.H.
Relative Abrasion Resistance	The loss of volume of a sample rotating against a grinding stone was measured using an Akron Angle Abrasion Tester. The results were rated using the loss for Cabot N683, Sterling 105 (at optimum loading) as 100. A higher number indicates greater wear resistance.
Extrusion Shrinkage	Extrusion shrinkage measurements were made in accordance with ASTM D2230 Method B, using a screw type extruder.
Mooney Viscosity	Viscosity measurements were made in accordance with ASTM D1646 using the Mooney Viscometer (large rotor).

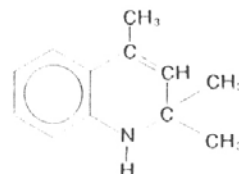
Antioxidants in Black Filled Natural Rubber

Compound	Control	AGERITE STALITE S	AGERITE SUPERFLEX SOLID G	AGERITE RESIN D	AGERITE HIPAR T	AGERITE HP-S	VANOX 200
SMR-5	100	100	100	100	100	100	100
K-STAY G	5	5	5	5	5	5	5
Stearic Acid	2	2	2	2	2	2	2
Zinc Oxide	5	5	5	5	5	5	5
HAF Black (N-330)	50	50	50	50	50	50	50
Sulfur	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
AMAX .....	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5
Antioxidant	—	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	165	166.5	166.5	166.5	166.5	166.5	166.5
STRESS @ 300% (S)—TENSILE (T)—% ELONGATION (E)—HARDNESS (H)							
Press Cures @ 153°C (307°F)							
20 Minutes MPa/psi S	9.38/1360	9.72/1410	9.72/1410	9.58/1390	10.13/1470	9.10/1320	9.03/1310
MPa/psi T	19.65/2850	21.44/3110	20.48/2970	24.68/3580	22.06/3200	22.13/3210	21.58/3130
E	500	520	510	600	510	540	540
H	60	60	59	61	59	59	59
AFTER AGING 48 HOURS IN TEST TUBES @ 100°C (212°F)							
Tensile, % Change	-86	-48	-37	-42	-43	-49	-46
Elongation, % Change	-60	-38	-35	-50	-41	-44	-37
Hardness, Points Change	-5	0	+3	+3	+3	+6	+4

HYDROQUINOLINE ANTIOXIDANTS

AGERITE RESIN D

Polymerized 1,2-dihydro-
2,2,4-trimethylquinoline
m.w. 173.26



PROPERTIES

PROPERTY	small pellets	powder	test method
Physical form	small pellets	powder	
Color	amber	cream-tan	
Density, Mg/m ³	1.06 ± .03	1.06 ± .03	T-26-B
Softening point °C	74 min.	74 min.	T-5-B
Heating loss	1.0% max.	1.0% max.	T-1-A
Fineness (through 100 mesh)	—	98% min.	T-14
Ash	0.5% max.	0.5% max.	T-4
Solubility	V. sol. in acetone, toluene, chloroform, carbon disulfide. Sl. sol. in petroleum hydrocarbons. P. insol. in water.		T-153

General Recommendations For NR and synthetic rubbers. Nonblooming antioxidant; retards oxidation, heat deterioration under most severe conditions. Up to 3% used for specification compounding. Increases curing activity of CR.

SULFENAMIDE ACCELERATORS

AMAX

N-oxydiethylene
benzothiazole-
2-sulfenamide
m.w. 252.35

**AMAX**

N-oxydiethylene
benzothiazole-
2-sulfenamide
plus a percentage
of benzothiazyl disulfide

PROPERTIES	AMAX	AMAX No. 1	test method
Physical form	flakes	flakes	
Color	tan	light tan	
Density, Mg/m ³	1.37 ± .03	1.40 ± .03	T-26-B
Melting range °C	70-90	70-90	T-3-D
Ash	0.5% max.	0.5% max.	T-4
Methanol insolubles	3.0% max.	15.0% max.	T-307
Moisture at 60-65°C	0.5% max.	0.5% max.	T-1
Solubility	AMAX: V. sol. in toluene, chloroform, methanol. (Small quantities of benzothiazyl disulfide present in AMAX are insoluble in methanol). AMAX No. 1: V. sol. in toluene, chloroform. M. sol. in acetone, methanol.		T-153

General Recommendations

For SBR, NR, IR, BR. Delayed action primary accelerator and scorch modifying secondary accelerator. Safe at processing temperature and active over a wide curing range. Particularly advantageous in SBR tires compounded with fine particle furnace blacks. Nonstaining and nondiscoloring.

ELASTOMER	FUNCTION	Parts/100 elastomer		
		AMAX AMAX No. 1	ULTRA	SULFUR
Natural Rubber (NR)	Primary accelerator			
	Furnace black	.4-1.2	0-.15	2.5-1.7
	Scorch modifying secondary	.5-2	2-5	3-1.7
Stereo Rubbers (IR, BR)	Primary accelerator	.75-2	0-2	3-1.25
	Scorch modifying secondary	.5-1.5	.5-2	2.5-1.25
Styrene Butadiene (SBR)	Primary accelerator			
	Furnace black	.5-1.5	0-2	2.2-1.5
	Scorch modifying secondary	.5-2	.3-.75	3-1

K-STAY G

Mixture of an oil soluble sulfonic acid of high molecular weight with specially selected petroleum base oil.

PROPERTIES		test method
Physical form	liquid	
Color	amber-mahogany	
Density, Mg/m ³	0.93-0.95	T-9-A
Acid number	5.0-5.4	T-16

General NR, SBR, IIR plasticizer, processing aid.
Recommendations Especially suggested for oil extended SBR.