

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PRENSA ELECTRO HIDRAULICA
PARA EL VULCANIZADO DE CAUCHO EN EL LABORATORIO DE PLASTICOS DE LA
UNIVERSIDAD ECCI.

LEONARDO RODRÍGUEZ CADENA
FABIAN BARRETO CORRALES
EDWIN ERNESTO GOMÉZ

UNIVERSIDAD ECCI.
FACULTAD DE INGENIERIA.
PROGRAMA INGENIERIA MECANICA.
BOGOTÁ DC.
2015

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá DC Abril de 2015.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PRENSA ELECTRO HIDRAULICA
PARA EL VULCANIZADO DE CAUCHO EN EL LABORATORIO DE PLASTICOS DE
LA UNIVERSIDAD (ECCI).

LEONARDO RODRÍGUEZ CADENA
FABIAN BARRETO CORRALES
EDWIN ERNESTO GOMÉZ

Proyecto de Grado como requisito
Para optar el título de ingeniero Mecánico.

FRANCISCO MARÍN.
ING. MECANICO ASESOR.

UNIVERSIDAD ECCI.
FACULTAD DE INGENIERIA.
PROGRAMA INGENIERIA MECANICA.
BOGOTÁ DC.
2015

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	8
2. JUSTIFICACIÓN	9
3. OBJETIVOS	10
3.1. Objetivo General	10
3.2. Objetivos Específicos	10
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
4.1. Delimitación del problema	11
4.1.1. Alcances	11
4.1.2. Limitaciones	11
5. MARCO TEORICO CONCEPTUAL	13
5.1. Reseña Histórica	13
5.1.1. Material	13
5.1.2. Procesos	15
5.1.2.1. Moldeo por Compresión	15
5.1.2.2. Moldeo por Transferencia.	16
6. METODOLOGÍA APLICADA	18
6.2. Investigación de las necesidades	19
6.3. Estudio de los Materiales a Trabajar	19
6.3.1. Temperatura Requerida Para el Vulcanizado	19
6.3.2. Tiempo Requerido Para el Vulcanizado	20
6.3.3. Presión Requerida Para el Vulcanizado	21
7. CÁLCULOS	22
7.1. Cálculos Estructurales.	22
7.2. Cálculos Térmicos	23
8. SELECCIÓN DE EQUIPOS	24
8.1. Selección De Temporizador	24
8.2. Selección De Resistencias	25
8.3. Selección De Pirómetro	26
8.4. Selección Del Termopar	27
8.5. Selección Del Cilindro Hidráulico	28

8.6. Selección De La Bomba Hidráulica	29
9. DISEÑO DE LA MÁQUINA	30
10. PRESUPUESTO	31
11. LISTA DE REPUESTOS	32
12. CONCLUSIONES	33
13 GLOSARIO	34
BIBLIOGRAFIA	35

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Proceso de moldeo por compresión, componentes del moldeo por Compresión.	16
Figura 2. Proceso de moldeo por transferencia con embolo.	17
Figura 3. Flujograma	19
Figura 4. Tiempo de Vulcanización Vs Modulo	22
Figura 5. Diseño estructura	23
Figura 6. Resistencia Vs Temperatura	24
Figura 7. Temporizador Omrom.	25
Figura 8. Resistencia de cartucho.	26
Figura 9. Resistencia tubular	26
Figura 11. Termopar de ojo.	27
Figura 12 cilindro hidráulico de doble efecto.	28
Figura 13 motobomba trifásica de 2400 L/h	29
Figura 14. Prensa de Vulcanizado tipo Columna	30
Figura 15. Prensa de Vulcanizado con empuje automático de molde.	30
Figura 16. Prensa de vulcanizado laboratorio de plásticos universidad ECCI	30
Figura 17 Diseño final de la prensa electrohidráulica	30

TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Introducción de los materiales plásticos a Europa y América.	14
Tabla 2. Tipos de elastómeros reticulados.	15
Tabla 3. Propiedades físicas del Nitrilo Butadieno por los autores.	15
Tabla 4. Límites térmicos en materiales industriales.	21
Tabla 5. Análisis comparativo realizado por los autores.	25
Tabla 6. Análisis comparativo entre resistencias de cartucho y tubulares.	26
Tabla 7. Análisis comparativo del Pirómetro realizado por los autores del documento	27
Tabla 8. Tabla de selección de cilindros hidráulicos.	29
Tabla 9. Comparación entre equipos de marcas conocidas y el equipo actual de la Universidad ECCI, por los autores.	30
Tabla 10. Tabla de costos, elaborada por los autores.	31
Tabla 11. Repuestos hidráulicos Fuente Autores.	32
Tabla 12. Repuestos Eléctricos Fuente Autores.	32
Tabla 13. Accesorios Fuente Autores.	32

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo comprende el análisis y selección del polímero adecuado para la obtención de productos vulcanizados y la construcción de una máquina que permita trabajar el material seleccionado para la obtención de diferentes productos en la industria del caucho.

La importancia del caucho vulcanizado es de alto impacto en la industria moderna, ya que abarca desde productos para el hogar hasta productos para las industrias más exigentes como la minera y la petroquímica. A través de la historia el hombre ha probado una infinidad de combinaciones de materia prima y compuestos en busca de obtener materiales con mejores propiedades que le ayuden en el desarrollo tecnológico de sus procesos, para la construcción de nuevos productos y para la optimización de algunos ya existentes. Es dentro de estas combinaciones que aparece el proceso de formación y vulcanizado del caucho.

Actualmente el vulcanizado es uno de los procesos que consiste en mejorar las propiedades físicas del caucho mediante la adición de azufre a una elevada temperatura. El resultado de esta mejora conocido como NBR es usado en gran cantidad para las aplicaciones en la industria moderna con el fin de obtener productos de alta calidad.

La industria del vulcanizado cuenta con diferentes procesos para la obtención de los productos requeridos, en estos encontramos el trefilado, la inyección y conformado por presión, los cuales son los más usados. El conformado por presión, es de estos tres procesos, el menos exigente en términos de infraestructura y costos, ya que permite adaptarse a diferentes moldes para la obtención de distintos productos.

Es así, como gran variedad de empresas tales como; American Ruber de Colombia, Kasser Ltd., Propilco entre otras, utilizan el proceso de conformado por presión, para la creación de sus productos tomando ventaja de la versatilidad del proceso y la calidad de los productos obtenidos mediante el mismo.

2. JUSTIFICACIÓN

La construcción de máquinas para el vulcanizado nos remonta a los orígenes de la industria tecnificada y a sus creadores Leo Beakeland y Hyatt, quienes desarrollaron un nuevo proceso que permitió el uso de cilindros hidráulicos que llevaron a la mejora en la calidad de los productos obtenidos brindándonos la base para llegar a la tecnificada y automatizada industria moderna. Es importante notar la relevancia de este proceso ya que grandes industrias cuentan dentro de sus activos con múltiples equipos que contienen partes y componentes fabricados a través de ese proceso que mejora las propiedades mecánicas de los mismos, lo cual hace fundamental que los futuros profesionales de esta área cuenten con una apropiada práctica del proceso evitando variables libres y riesgos a los practicantes.

Debido a las deficiencias encontradas en el equipo utilizado para el proceso de conformado por presión existente en la Universidad ECCI, ya que presenta dificultad para la obtención de productos de calidad y el riesgo que representa para los estudiantes, se ve la necesidad de diseñar y fabricar una máquina (Prensa Electrohidráulica) que permita modelar caucho mediante el vulcanizado, con el fin de satisfacer las necesidades prácticas que se presentan en la enseñanza del proceso de vulcanizado en la institución, el cual hace parte de la cátedra de ingeniería de plásticos.

Este nuevo equipo con aportes técnicos y tecnológicos garantizará la mejora en el nivel de producción en términos de calidad, cantidad y seguridad, adicionando un sistema de control térmico digital, un control temporal mecánico y un sistema hidráulico para el adecuado control de las variables del proceso y de esta forma lograr un producto de más alta calidad.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Desarrollar, diseñar y fabricar una máquina (Prensa electrohidráulica) que permita modelar caucho mediante el vulcanizado, acorde a las necesidades de este proceso que actualmente hace parte de la cátedra de ingeniería de plásticos de la escuela Colombiana de carreras Industriales, cuya práctica se lleva a cabo en el laboratorio de plásticos de la Universidad Escuela Colombiana de carreras Industriales)

3.2. Objetivos Específicos.

- Determinar los parámetros que influyen en el proceso de formación de caucho por vulcanizado.
- Seleccionar un conjunto de elementos que combinados permitan ajustar la máquina (Prensa electrohidráulica) a los parámetros requeridos para el adecuado modelamiento del material (caucho Vulcanizado).
- Establecer una secuencia electrohidráulica asistida por sensores y temporizadores que permitan realizar el adecuado ajuste de las variables que se presentan en este proceso.
- Realizar un diseño electrohidráulico, mecánico y estructural de la prensa electrohidráulica, teniendo en cuenta los esfuerzos mecánicos y térmicos requeridos para la formación del caucho.
- Establecer factores, procedimientos y ajustes que minimicen al máximo los riesgos al personal durante el proceso de formación del material vulcanizado.
- Construir la prensa electrohidráulica de acuerdo a los parámetros establecidos a fin de que esta cumpla con las necesidades del laboratorio de plásticos de la universidad Escuela Colombiana de Carreras Industriales para el buen desarrollo de las prácticas de la cátedra de vulcanizado que en esta se dictan.
- Redactar un manual de operación que permita a los alumnos y operarios que interactúen con la máquina el buen desarrollo de sus prácticas.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Las condiciones actuales del equipo utilizado para el proceso de conformado por presión existente en la Universidad ECCI, genera dificultad para la obtención de productos de calidad, ya que el control de toda las variables es realizado por el operario, lo que conlleva a un alto riesgo de error humano, además de poner en riesgo la salud de los estudiantes que interactúan con el equipo. Teniendo en cuenta lo anterior consideramos necesario diseñar y construir una maquina electrohidráulica con un sistema de control electrónico, que reduzca al mínimo la influencia del operario, minimizando el factor humano.

4.1. Delimitación del problema.

4.1.1. Alcances

En primera estancia se determinaran con claridad los parámetros físicos que influyen en el proceso de formación del caucho vulcanizado, una vez estos parámetros sean delimitados se desarrollará la selección de elementos eléctricos, mecánicos e hidráulicos que permitan mantener un control preciso sobre estos parámetros. Una vez seleccionados los elementos estos serán incluidos en el diseño y construcción de la prensa electrohidráulica.

La prensa electro hidráulica será soportada por un manual del operario que permitirá su adecuado uso por parte de los operarios o estudiantes.

4.1.2. Limitaciones.

Teniendo en cuenta las variables físicas que pueden ser controladas por la máquina y por las bajas cantidades de producción requerida, la máquina se limitará a un esquema de producción medio con el cual solo se producirá una pieza por cada ciclo. Dentro de las limitantes físicas tenemos: La temperatura, la cual se da controlada a un límite máximo de

200 °C que es el requerido por el caucho para alcanzar el punto plástico del mismo; la presión, será limitada a 250 PSI que es la requerida para cerrar el molde y dar conformado al caucho en su estado plástico; el último limitante físico es el tiempo, este será controlado en rangos de min que permitirán aplicar ciclos de 3,5 min a 4,5 min dependiendo del tamaño de la pieza a conformar.

5. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

5.1. Reseña histórica

5.1.1. Material.

La similitud existente entre las vulcanizadoras de caucho y las maquinas inyectoras de caucho es muy alta diferenciándose principalmente por el material, para el caso del vulcanizado el material fue inventado por el señor Charles Goodyear en 1839 mediante un proceso que denomino vulcanizado en honor al dios Vulcano.

Aunque este material fue muy novedoso para su época su introducción al mercado tomo bastante tiempo por la poca credibilidad de la que contaba el proceso descubierto por el señor Goodyear, esto se debía a fracasos en intentos anteriores que tenían como propósito formar térmicamente el caucho.(Bodini Giani 2008)

En la (tabla 1) se puede observar la aparición de los materiales plásticos en el mercado Americano y Europeo de los cuales los elastómeros son los más representativos para la industria del caucho, es de notar que dentro de los elastómeros o hules termoplásticos se destaca el Hule Nitrilo Butadieno referirse a tabla 2.

Introducción de los materiales plásticos a Europa y América.

AÑO	MATERIAL	AÑO	MATERIAL
1872	Celulide (nitrato de celulosa)	1940	Polietileno
1909	Fenol formalheido (bakelita)	1939	Poliamidas Nylon
1910	Fenol formalheido (polvos para el moldeo)	1940	Malamina
1912	Acetato de Celulosa	1942	Resinas de silicón
1918	Caceina	1948	Poliestileno de alto impacto
1919	Polimeros de caetato vinilo	1950	Polimeros termoplasticos
1922	Fenol formalheido carton de aislantes	1954	Polipropilenos
1931	Recina alquidalicas	1956	Policarbonatos
1933	Hule sintetico	1962	poliamidas
1935	Cloruro polivinilico (PVC)	1963	Elastómeros o hules termoplásticos
1935	Poliamidas	1978	Poli-arilatos
1939	Melamina	1982	Resinas politermidas

Tabla 1. (Adaptado de BODINI Gianni 2008)

Los elastómeros son aquellos que se pueden someter a procesos de vulcanizado, estos elementos una vez han sido vulcanizados se les denomina elastómeros reticulados o hules vulcanizados, en la (tabla 2) se observan las diferentes variedades de elastómeros reticulados donde se destaca el hule nitrilo butadieno que es también conocido en el mercado con su sigla NBR.

Este material que ha permanecido en el mercado desde los últimos 50 años es muy conocido por su alta resistencia a algunos líquidos alifáticos como, gasolinas y aceites parafínicos. Fue desarrollado por Bayer con el nombre de perbunan que es el nombre más conocido en el medio automotriz.

Actualmente se conocen más de 110 diferentes composiciones o grados en forma de látex y 18 de NBR en polvo, sus propiedades identificadas en la tabla 3 permiten aclarar él porque es un material tan importante en las industrias modernas.

Tipos de elastómeros reticulados.

Elastómeros reticulados (hules Vulcanizados)	Simbolos ASTM D1418	Ácidos	Resistencia a solventes	Aceites Lubricantes
Hule natural	NR	2-1	0	0
Hule Butilico	HR	2-1	0	0
Hule polibutadieno	BR	2	0	0
Hule estireno - butadieno	SBR	2	0	0
Hule estileno - propileno (termopropileno)	EPDM	3	0	0
Hule uretanico	AU-EU	1-0	3-2	3
Hule de cloropreno	CR	3 - 2	2	2
Hule de pietilenos clorosulfonado	CSM	3	2	2
Hule Nitrilo Butadieo	NBR	2- 1	3	3
Hule Acrilico	ACM	2	3-2	2
Hule Fluorado	FKM	3	3	3
Hule siliconico	MQ	1	2	2

Tabla 2 (EL mezclado y su impacto sobre la calidad de los artículos de caucho 1998)

Ya que se ha terminado que el Hule nitrilo butadieno “NBR” posee unas excelentes propiedades de resistencia química es importante también analizar sus propiedades físicas, como se puede observar en la tabla 3 que hace referencia a las principales características de este material y él porque es tan usado en múltiples aplicaciones industriales.

Propiedades físicas del Nitrilo Butadieno

HULE NITRILO BUTADIENO (NBR)
Excelente resistencia a hidrocarburos alifáticos (gasolinas, solventes, aceites y grasas)
Muy buena resistencia al calor
Buena resistencia al aire caliente
Muy baja permeabilidad a los gases (entre los hules)
Baja deformación permanente.

Tabla 3. Elaborada por los autores.

Una vez determinado el material que se trabajara (NBR), es importante hablar sobre los posibles procesos para trabajar el material.

5.1.2. *Procesos.*

Dentro de los procesos de formación de elastómeros se destacan:

5.1.2.1 *Moldeo Por Compresión.*

En el moldeo por comprensión se coloca una carga preformada del material, un volumen de polvo medido previamente o una mezcla viscosa de resina líquida y un relleno directamente en la cavidad caliente de un molde que, por lo general se encuentra a unos 200°C (400°F), pero que puede ser mucho mayor. El formado se realiza bajo presión a partir de un tapón o a partir de la mitad superior de la matriz (figura 1), por lo que el proceso es de alguna manera similar al forjado en matriz cerrada de los metales.

Las presiones van de 10 a 150 MPA (1400 a 22000Psi) como se ve en la figura 1, se forma una rebaba que luego se elimina por recortado o algún otro método. Las partes comunes fabricadas por este medio son platos, mangos, agitadores para lavadoras y alojamientos. Las partes con refuerzo de fibras cortadas también se forman mediante este proceso.

Existen tres tipos de molde de compresión.

- Tipo rebaba: para partes superficiales o planas.
- Tipo positivo: para partes de alta densidad.
- Tipo semipositivo: para producción de calidad.

Proceso de moldeo por compresión, componentes del moldeo por compresión

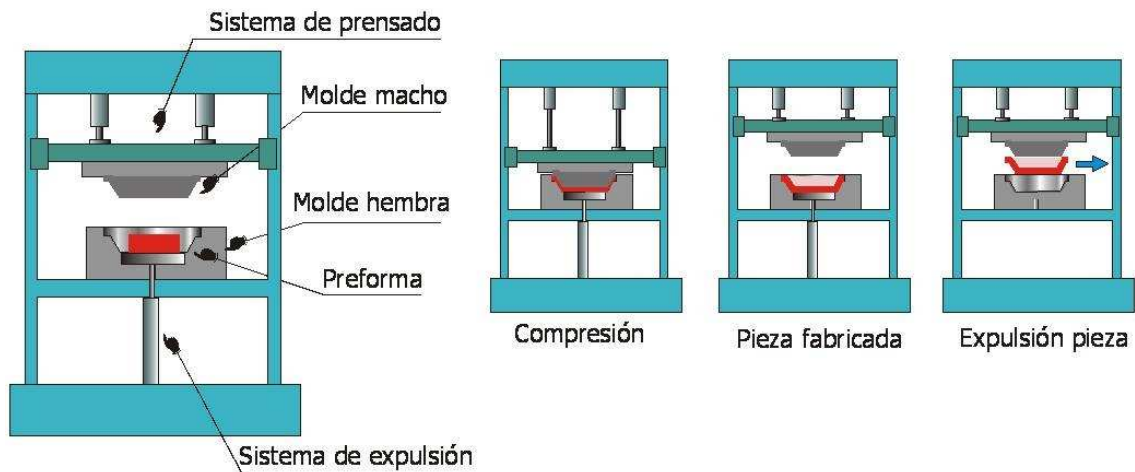


Figura 1. Irvin i Rubin 2002 ed limusa.

5.1.2.2 Moldeo por transferencia

El moldeo por transferencia es un desarrollo adicional al moldeo al proceso de moldeo por compresión, la resina termofija sin curar se coloca en un recipiente o cámara de transferencia de calor (fig 2) y, después de que alcanza la temperatura deseada se inyecta en moldes cerrados y precalentados dependiendo del tipo de máquina utilizada, una leva, émbolo o alimentador de tornillo giratorio hace que el material fluya a través de canales angostos al interior la cavidad del molde a presiones que alcanzan hasta de 300 Mpa (43,000 Psi), este flujo viscoso genera un calor considerable, que aumenta la temperatura del material y lo homogeniza, el curado ocurre por enlaces cruzados. Puesto que la resina está fundida cuando entra en el molde, la complejidad de las partes y el control se aproxima a los del moldeo por inyección.

Proceso de moldeo por transferencia con embolo.

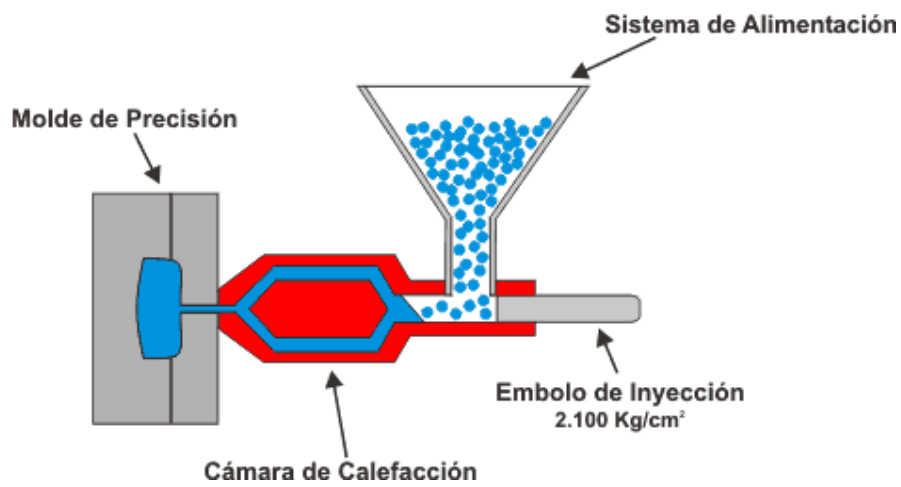


Figura 2. Fuente <http://www.textoscientificos.com/polimeros>

Una vez identificados los procesos más comunes para el procesamiento del caucho vulcanizado se toma la decisión de enfocarnos en el proceso de moldeo por compresión para el desarrollo de la maquina a ser diseñada y construida.

6. METODOLOGIA APLICADA

6.1 Flujograma Del Proceso.

El flujograma (Figura 3) de la metodología usada en este proyecto nos muestra de manera sencilla cuales fueron los diferentes pasos por los que paso este proyecto en el proceso de su concepción, análisis, justificación y desarrollo.

Flujograma del proceso elaborado.

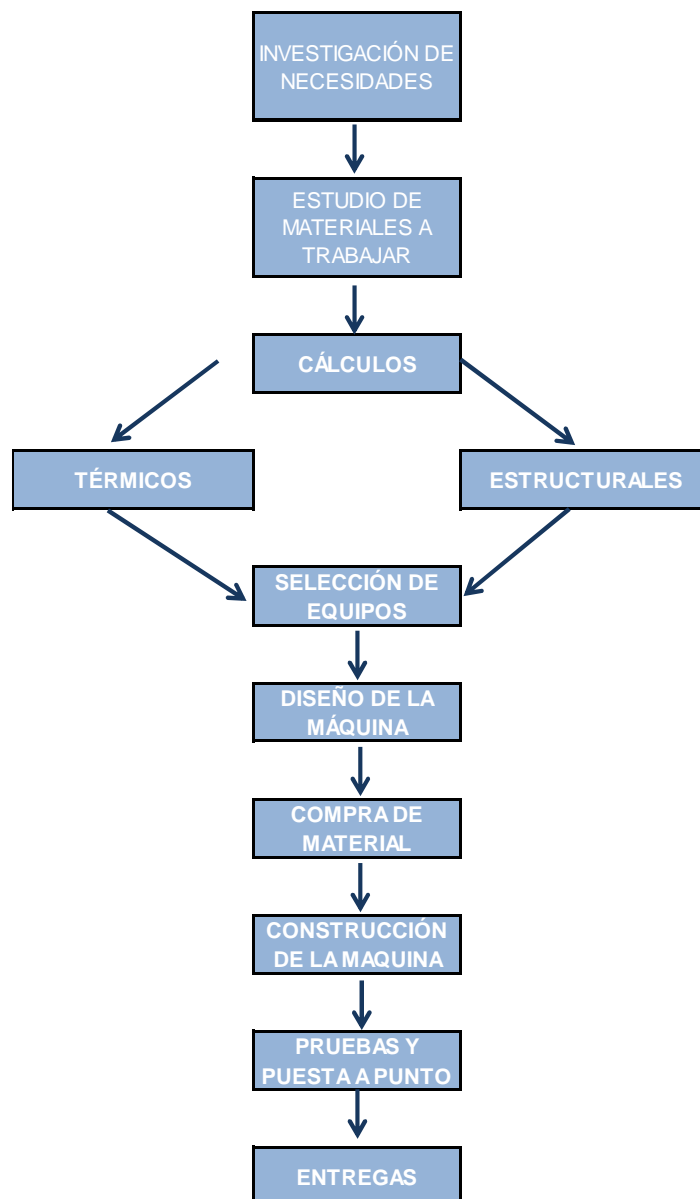


Figura 3. Fuente los autores.

6.2 Investigación de las necesidades.

Actualmente el proceso del vulcanizado es uno de los procesos que hacen parte del pensum de la facultad de ingeniería específicamente en el programa de ingeniería de plásticos.

Realizando una consulta se encontraron varias dificultades técnicas para la adecuada práctica de esta asignatura, esto debido a algunas inconsistencias técnicas de la máquina que actualmente se usa para este proceso en el laboratorio de plásticos.

Basados en esta premisa de mejorar las condiciones en las cuales se realiza esta práctica es que se toma la decisión de investigar las propiedades y características que debemos incluir en un nuevo diseño para poder satisfacer todas las necesidades de la asignatura.

6.3 Estudio de los Materiales a Trabajar.

Una vez que se ha determinado que hay una necesidad de mejorar el equipamiento con el cual se realizan las prácticas de vulcanizado en el laboratorio de plásticos de la Universidad ECCI, es necesario conocer las variables que requieren de control en este proceso para lo cual es necesario conocer las propiedades físicas del material que se va a trabajar.

Como ya se determinó en el marco teórico el material más apto para ser trabajado en este proceso es el NBR o Hule Nitrilo Butadieno, por esta razón nos enfocaremos en las propiedades que se desean trabajar para convertir este material en un producto terminado, así que iniciaremos con la temperatura en la cual el material cambia de estado de un estado elástico a un estado plástico o líquido que permita su transformación de manera permanente.

6.3.1. Temperatura Requerida Para El Vulcanizado.

Para poder realizar el proceso de vulcanizado se debe conocer la reacción del material a la temperatura para que en el proceso no se dañen las propiedades del mismo ya que estas propiedades son el valor agregado que obtiene el material a través de este proceso. De igual

manera estas propiedades son las que nos darán la variable de la temperatura para determinar la capacidad térmica de la máquina que se construirá, en la tabla 4 podemos ver las propiedades de algunos de los más representativos materiales usados en procesos industriales tales como el caucho.

Límites térmicos en materiales industriales.

Material	Límite de temperatura °C	Temperatura de Curado °C
Epoxi poliamida	93 °C	93 °C
Epoxi aminas	93 °C - 204 °C	149 °C
Epoxi Fenolicos	260 °C - 315 °C	163 °C
Poliester	93°C - 149°C	-
Silicones	204 °C - 315 °C	-
Poliimidias	315 °C - 482 °C	177 °C
Acetato de polivinilo	Aprox 93 °C	-
Acrílico con disolventes	Aprox 149 °C	-
Acrílico de curado	Aprox 149 °C	-
Nitrocelulosa	Aprox 93 °C	-
Caucho	66 °C - 204 °C	-
poliuretano	82 °C - 121 °C	-
Cianoacrilatos	121 °C - 246 °C	-

Tabla 4. "Visión Moderna de la Tecnología del Caucho" (2007)

Una vez determinada la temperatura requerida para que el Caucho pueda ser moldeado en la prensa electro hidráulica es importante determinar el tiempo al cual debe ser sometido el material para que este adopte la forma del molde de una manera permanente.

6.3.2. Tiempo requerido para el Vulcanizado.

Inicialmente se tiene un compuesto no vulcanizado con un módulo (resistencia a la ductilidad) bajo. Este compuesto se mantiene no vulcanizado hasta que alcanza el punto A. Este periodo, desde O hasta A (figura 4) es el tiempo de inducción o tiempo de quemado requerido para que se inicie la vulcanización. Pasado el periodo de inducción, se inicia la reacción de vulcanización, que se detecta con un rápido incremento del módulo hasta un

punto alrededor de B se localiza donde el modulo es de 90 a 95% del máximo y se designa comúnmente como el punto de vulcanización óptimo, por lo general en este punto es donde se localiza el valor máximo de tensión. El punto C se localiza donde el modulo (por ejemplo la vulcanización) alcanza su valor máximo.

Tiempo de Vulcanización Vs Modulo

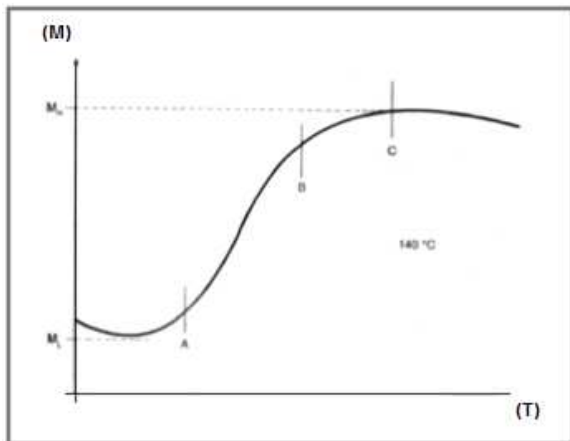


Figura 4. (Jean Le Bras 1988)

Para determinar el proceso de vulcanizado del caucho NBR se deben considerar dos factores fundamentales el primero es la temperatura seleccionada que puede variar entre 66°C - 204°C una vez está clara la temperatura seleccionada se debe determinar a cantidad de material que se procesara de acuerdo al volumen del molde más sin embargo este oscila entre 2 min - 5 min a temperatura media (130°C) para material granulado.

Finalmente es importante determinar la presión del sistema con la cual se realizara el cerrado del molde.

6.3.3. Presión requerida para el Vulcanizado.

Ya que se debe instalar un sistema hidráulico que cierre el molde una vez precargado de material, es necesario tener en cuenta que la presión del sistema se regirá en base a la capacidad volumétrica y detalles del molde a trabajar, esto quiere decir que al aumentar el volumen de material y la cantidad de detalles que este tenga es necesario realizar un ajuste en la presión, por lo cual este valor solo se determinara una vez sea considerado el tamaño máximo de los moldes que pueda soportar la maquina en su diseño preliminar.

7. CÁLCULOS.

7.1. Cálculos Estructurales.

7.1.1. Cálculos para el soporte.

Cálculos para las tensiones de esfuerzo para el soporte.

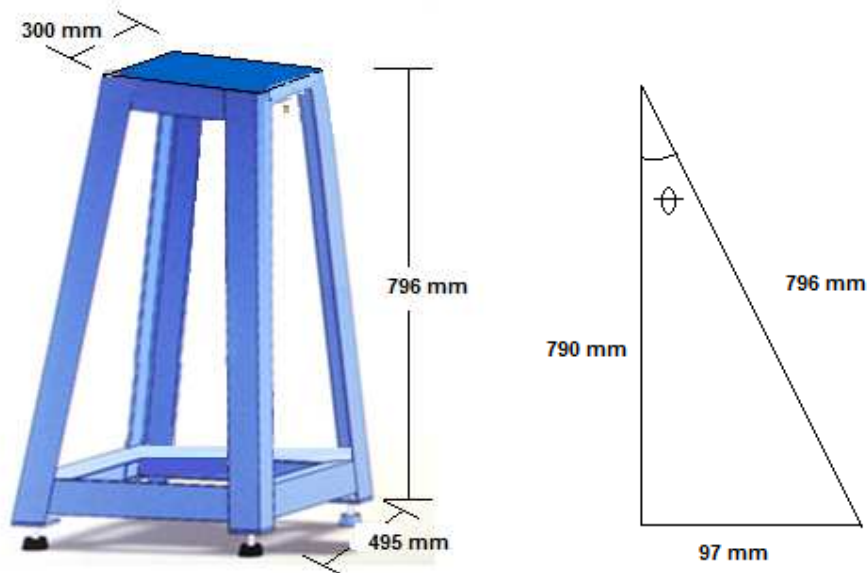


Figura 5 diseño estructura Arreglo utilizado para hacer el cálculo.

I. CALCULO DE LAS TENSIONES DE ESFUERZOS

PARA EL SOPORTE

Teniendo en cuenta las dimensiones de la mesa calculamos $\sigma = 0$; 122 calculamos los momentos de inercia y tenemos en cuenta la simetría calculando I para cada dirección

$$\Sigma I_y = \frac{4}{12}(bh^3 \cos) = 8.5 \times 10^{12} \text{kgm}^2 \quad (1)$$

$$\Sigma I_x = \frac{4}{12}(b_o h_o - h_i b_i) = 6.3 \text{kgm}^2 \quad (2)$$

$$\Sigma I_z = \frac{4}{12}(b_o h_o - h_i b_i) = 19.33 \text{kgm}^2 \quad (3)$$

Calculamos las tensiones normales en un ángulo de acero para 1 punto a.

$$\sigma = \frac{m_z x}{I_z} - \frac{m_x z}{I_x} = 19.33 \text{kgm}^2$$

Tenemos:

1. $\frac{60x(-3)}{19.33} - \frac{30x1.5}{6.33} = -1641kp$
2. $\frac{60x(-2.75)}{19.33} - \frac{30x1.5}{6.33} = -15.63kp$
3. $\frac{60x(0)}{19.33} - \frac{30x1.5}{6.33} = -7.1kp$

Tensiones de cizallamiento: en el punto B

$$Q_{xb} = 1.5x0.25x2.875 = 1.0781in^3$$

$$\tau = \frac{v_x Q_z}{I_z t} = \frac{3(1,0781)}{19,33(0,25)} = 0,66ksi$$

En el punto C.

$$Q_{xc} = 2.028in^3$$

$$\tau = \frac{v_x Q_z}{I_z t} = 1.256ksi$$

7.1.2. Cálculos térmicos.

Por el efecto Seebeck tenemos que el flujo corriente interna el gradiente del voltaje (Δv) es directamente proporcional al gradiente del temperatura (ΔT) para la función característica calculamos.

$$v = \int_T (s_+(T) - s_-(T)) dt$$

En términos de los coeficientes seebeck para la termocupla tenemos.

$$E = \int_T^0 \theta_p n dt + \int_{T_j}^{T_r} \theta_p n dt$$

Si escogemos una función sencilla como una expansión lineal para la resistencia tenemos:

$$R_T = R(1 + \alpha T)$$

Integrando.

$$R = R_0(1 + AT + BT^2)$$

Siendo A y B empíricos Y R la resistencia a una temperatura T(°C) Ro es la radiación a 0°C

Por otro lado la radiación térmica es:

$$\frac{w}{v} = \frac{4350W}{\pi r^3}$$

8. SELECCIÓN DE EQUIPOS

8.1. Selección De Temporizador

La primera variable que se controlara será el tiempo:

Se necesita un dispositivo que permita realizar el ajuste en términos de minutos con una escala clara y sencilla de interpretar para evitar fallos en el ajuste se analiza la opción de usar un equipo electro mecánico de marca Omrom (tabla4) por tratarse de una marca muy conocida en el mercado



Figura 7 temporizador Omrom.

Se realiza un análisis del componente (tabla 5) verificando sus ventajas y desventajas.

Análisis comparativo ventajas Vs desventajas.

Ventajas	Desventajas
Es una marca muy comercializada en el país.	Su costo es mucho mayor al de un temporizador nacional.
Es un equipo muy fácil de graduar.	Se debe inspeccionar siempre la escala ya que alguien la puede variar fácilmente.
Cuenta con un sistema mecánico que garantiza su precisión.	Solo se consigue para 240 voltios los que nos obliga a calcular todos los componentes para ese voltaje.
Cuenta con indicadores de operación y parada.	

Tabla 5. Elaborado por los autores.

8.2. Selección De Las Resistencias.

Para la selección de las resistencias se deben tener en cuenta tres factores primordiales.

Temperatura máxima requerida:	200 grados centígrados.
Velocidad de calentamiento:	no superior a 5 minutos.
Área a calentar:	200 mm x 120 mm (tamaño de los moldes)

Para determinar cuál es el tipo de resistencia que se usara en el sistema se realiza una tabla comparativa (tabla 6) con el fin de analizar los dos tipos de resistencias que nos permiten realizar el trabajo y de esta manera determinar cuál de ellas será seleccionada para usarse en el diseño y construcción.

Tabla comparativa resistencias tipo cartucho vs resistencias tipo tubular.

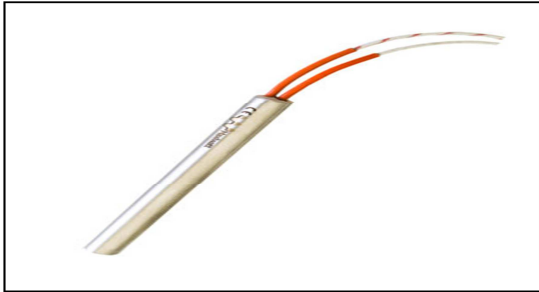
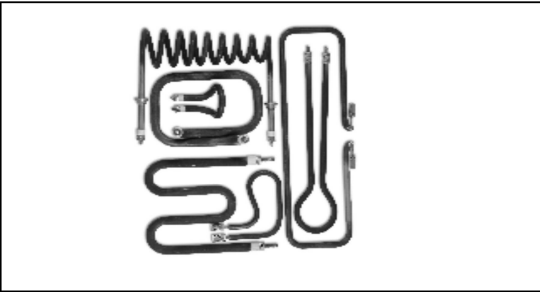
Resistencia de cartucho	Resistencia tubular
	
Figura 8 resistencia de cartucho.	Figura 9 resistencia tubular
+ Transmisión del calor de manera uniforme.	- la transmisión de temperatura no es uniforme.
+ Larga vida útil sin mantenimiento.	- No son muy confiables ya que las uniones suelen ser muy expuestas.
+ Rapidez térmica	+ Rapidez térmica.
- Alto costo en relación a una tubular.	- Bajo costo
- Se requieren de varias resistencias de este tipo para cubrir el área requerida.	+ una sola resistencia puede cubrir el área requerida.
+ Después de las primeras pruebas se tuvo que instalar este tipo de resistencias 4 en total por placa.	- En las primeras pruebas se usaron este tipo de resistencias pero no alcanzaban la adecuada transmisión térmica.

Tabla 6. Elaborada por los autores.

8.3. Selección Del Pirómetro.

Para la adecuada selección del pirómetro se tomó en cuenta que este fuera compatible con el temporizador seleccionado y con las resistencias seleccionadas, sin embargo se opta por usar una sola marca de controladores para evitar cualquier inconveniente con la compatibilidad de los elementos.



Figura 10 Pirómetro OMRON.

Buscando la compatibilidad de los elementos se opta por el pirómetro OMRON E5CN.

Análisis comparativo del Pirómetro OMRON Ventajas Vs Desventajas.

Ventajas	desventajas
Es una marca muy comercializada en el país.	Su costo es mucho mayor al de un temporizador nacional.
Es un equipo muy fácil de graduar.	Se debe calibrar la temperatura cada vez que se corta la energía del sistema.
Los rangos de temperatura en los que operan están sobredimensionados para la aplicación.	Se requiere uno por cada sistema porque solo cuenta con un dial.
Su alta precisión solo permite ± 10 grados de desfásé.	
Sus anclajes permiten responder a una amplia gama de termocuplas y se adapta fácilmente a todo tipo de lógica cableada o numérica.	

Tabla 7. Elaborado por los autores.

8.4. Selección Del Termopar



Figura 11. Termopar de ojo.

Dado que el sensor térmico estará en constante movimiento por causa del movimiento de la placa móvil se selecciona un termopar de ojo dada su protección externa que protege el cableado interno.

El termopar de ojo es básicamente un sensor de reluctancia variable el cual varía su resistencia interna en referencia a la temperatura del elemento al cual se encuentre acoplado, esta variación es medida como una variación en el amperaje recibido por el pirómetro el cual lo interpreta en términos de gradientes de temperatura.

8.5. Selección De Cilindro Hidráulico.

Para poder cerrar el molde se requiere de un cilindro hidráulico con la suficiente fuerza para poder sellar el molde con el material en su interior y de esta manera realizar el conformado por presión, como se explicó anteriormente la presión se debe considerar en términos del volumen de material a ser conformado y a la temperatura a la que este se encuentre, ya que el molde es pequeño y solo permite un promedio de 8cc a una temperatura entre los 66 °C - 204 °C se considera que el cilindro debe cumplir con los siguientes requisitos.

- Desplazamiento del embolo de 250 mm mínimo “distancia de la carrera”.
- Presión mínima de 180 PSI.
- Disposición de montaje vertical.

- El cilindro debe ser de doble efecto para que pueda subir y bajar según sea programado.



Figura 12 cilindro hidráulico de doble efecto.

Una vez se conocen las características requeridas se refiere a una tabla de selección como la mostrada a continuación.

Tabla de selección de cilindros hidráulicos.

MODELO	FUERZAS			Carrera mm	Presión Nomin al Bar	Sección útil	Diámetro Exterior mm	Alturas mm	
	Tm	Tm	Psi					Vástago dentro	Vástago fuera
CHY 100 - 310 - DT	25	26.5	265	310	650	38.5	55	475	635
CHY 100 - 180 - DT	50	55	539	180	637	78.5	70	484	644
CHY 100 - 220 - DT	100	107.7	1056	220	649	153.9	85	380	480
CHY 100 - 160 - DT	100	107.7	1056	160	649	153.9	115	510	670
CHY 100 - 200 - DT	100	107.7	1056	200	649	153.9	197	560	760
CHY 200 - 100 - DT	200	242.4	2378	100	577	346.3	280	464	564
CHY 200 - 160 - DT	200	242.4	2378	160	577	346.9	280	584	744
CHY 200 - 200 - DT	200	242.4	2378	200	577	346.9	280	664	864
CHY 300 - 90 - DT	300	371.7	3646	90	565	531	356	475	465
CHY 400 - 50 - DT	400	495	4854	50	566	706.9	408	415	465
CHY 400 - 100 - DT	400	495	4854	100	566	706.9	408	505	605
CHY 400 - 150 - DT	400	495	4854	150	566	706.9	408	605	755
CHY 400 - 200 - DT	400	495	4854	200	566	706.9	408	705	905
CHY 500 - 100 - DT	500	563	5522	100	621	804.2	445	620	720
CHY 500 - 160 - DT	500	563	5522	160	621	804.2	445	740	900
CHY 500 - 160 - DT	500	563	5522	200	621	804.2	445	820	1020

Tabla 8. Fuente: Catálogo de Cilindros Nowak.

8.6. Selección de la Bomba Hidráulica.

Para la selección de la bomba se requiere tener cuidado con las características requeridas por el cilindro para su operación, Es decir que se debe cuidar de:

El caudal de aceite requerido que para este caso es fácilmente alcanzado por cualquier bomba porque solo requiere de mínimo 1500 L/h, de igual manera es importante la capacidad en términos de presión que debe ser mínimo de 3 Mpa.



Figura 13 motobomba trifásica de 2400 L/h

9. DISEÑO DE LA MÁQUINA.

Para el diseño de la maquina se consideró el análisis y estudio comparativo de varios ejemplos obtenidos de reconocidos fabricantes (tabla 9).

Comparación entre equipos de marcas conocidas y el equipo actual de la Universidad ECCL.




					
Figura 14. Prensa de Vulcanizado tipo Columna	Figura 15. Prensa de Vulcanizado com empuje automatico de molde.	Figura 16. Prensa de vulcanizado laboratorio de plasticos universidad ECCL.			
Presión total (mn)	0.25	Presión total (mn)	1,60	Presión total (mn)	?
Placa (mm)	400 X 400	Placa (mm)	600X600	Placa (mm)	220X120
Superficie de calor (mm)	125	Superficie de calor (mm)	350	Superficie de calor (mm)	220X120
Recorrido del pistón. (mm)	250	Recorrido del pistón. (mm)	350	Recorrido del pistón. (mm)	450
Presión por área (KG/cm2)	20	Presión por área (KG/cm2)	44.5	Presión por área (KG/cm2)	?
Dimension Total (mm)	1300X800X1500	Dimension Total (mm)	700X1700X1800	Dimension Total (mm)	500X500X1600
Peso(Kg)	1150	Peso(Kg)	5100	Peso(Kg)	87

Tabla 9. Elaborado por los autores

Teniendo en cuenta las diferencias existentes entre los equipos y las características que se han considerado para el diseño y fabricación del equipo se considera como base para el diseño el espacio actualmente usado por la Prensa de vulcanizado de la Universidad ECCL.

Diseño final de la prensa electrohidráulica que se construirá

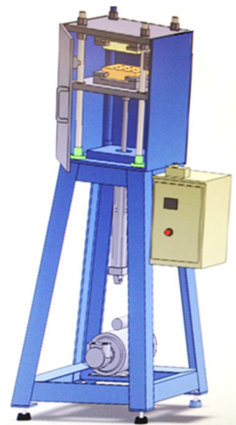


Figura 17. Fuente: Autores.

10. PRESUPUESTO

La tabla 10 describe el manejo del presupuesto entre repuestos, componentes, mano de obra externa y accesorios requeridos para la fabricación de la máquina.

TABLA DE COSTOS.	
DETALLE	COSTO
Estructura perfil aluminio y accesorios	\$ 490,000
Estructura en angulo materiales y fabricacion	\$ 380,000
Bomba de presión	\$ 350,000
Cilindro hidráulico	\$ 320,000
Tanque deposito aceite	\$ 65,000
Accesorios hidraulicos (electrovalvula,racores,reguladoras,filtro,cheque)	\$ 250,000
Elementos electrónicos (cofre,pulsadores,pirometro,temporizador etc)	\$ 1,190,000
Mano de obra electronico (John Forero)	\$ 400,000
Mano de obra hidraulico (Jesus Prieto)	\$ 150,000
Mecanizado de partes (08 placas, columnas,bujes,molde, etc)	\$ 1,700,000
Mano de obra mecanico ensamble (Jose Patarroyo)	\$ 600,000
Acrylicos y soporte tablet	\$ 100,000
Resistencias tubulares cant 08	\$ 280,000
Albesto 01 metro cuadrado	\$ 80,000
Tablet	\$ 190,000
Pinturas, thiner,sprite	\$ 50,000
Mecanizados agujero resistencias	\$ 150,000
Mecanizado bridas	\$ 120,000
Mangueras racores y grafados	\$ 120,000
Aceite	\$ 25,000
Accesorios varios (manija,seguro,visagras tornilleria, racores)	\$ 50,000
Niveladores	\$ 30,000
Pavonado placas porta resistencias	\$ 40,000
Rectificado placas base superior inferior y columnas	\$ 240,000
TOTAL PRESUPUESTO	\$ 7,370,000

Tabla 10. Fuente: autores.

11. LISTA DE REPUESTOS

Repuestos Hidráulicos.

REPUESTOS HIDRÁULICOS	CANTIDAD
Bomba electrohidráulica de 1hp - 2400 L/h a 240 V salida de 3/4"	1
Electrovalvula de 3/4" bi-direccional	2
Racores de 3/4" Macho - Hembra	2
Valvulas reguladoras de 3/4"	2
Filtro de acéite de 68 Micras hyack	1
Valvula tipo Cheque de 3/4"	1
Cilindro Hidráulico de 240 Psi y carrera de 250 mm	1
Manguera hidráulica acorazada para 25 bar diámetro de 3/4	1,5 Mts.

Tabla 11. Fuente Autores.

Repuestos Eléctricos.

REPUESTOS ELECTRICOS	CANTIDAD
Temporizador OMROM Cod. Fab.: H3CR-F AC 100-240	1
Termopar de ojo acorazado X 1,5 mts	1
Pirometro digital OMROM E5CN	1
Relevadores de 8 vias para 240V	8
Resistencias de cartucho 220 V 350 W 160 mm marca DE LONG	8
Pulsador parada de emergencia 220V rojo dos posiciones	1
Pulsador arranque con testigo color verde 110V - 220 V	2
Pulsador parada de emergencia rojo 110V- 220V normalmente cerrado	1
Sensor de relectancia variable	1
Sensor de contacto magnetico	1

Tabla 12. Fuente Autores.

Accesorios.

ACCESORIOS	CANTIDAD
Tablet informativa	1
niveladores de caucho para 120Kg cada uno	4

Tabla 13. Fuente Autores

12. CONCLUSIONES

A través del estudio de diferentes materiales plásticos, elastómeros y sus propiedades se seleccionó el Nitrilo Butadieno (NBR) como base para el desarrollo y construcción de una prensa electrohidráulica para el formado por presión del (NBR), se seleccionó este material por sus múltiples aplicaciones y características que lo hacen altamente eficiente en aplicaciones específicas debido a su alta resistencia a los hidrocarburos alifáticos como la gasolina y la mayoría de lubricantes.

Se seleccionó un conjunto de elementos para lograr el adecuado formado del (NBR) teniendo en cuenta sus propiedades, por lo que se cuidó que el equipo sea capaz de trabajar en un rango comprendido entre los 0 °C y los 204 °C que es la temperatura máxima a la que se trabaja el (NBR) para su fundición o cambio de estado elástico a plástico donde se puede cambiar de forma permanente su conformación, también se seleccionó un sistema que genere más de 500 Psi de presión para forzar el material a tomar la forma de un molde específico.

Se integró un sistema de lógica cableada dotada de sensores térmicos (termopar) y posicionales (reluctancia variable) que garantiza que se cumplan todos parámetros seleccionados por el operario, los cuales dependen directamente de la composición del (NBR) y de la cantidad que se requiere para la producción de la pieza específica que se está desarrollando.

Se elaboró un manual dirigido al operario el cual le permite de manera sencilla a cualquier persona interactuar con el equipo sin importar que no cuente con experiencia en el manejo de equipos de similares características.

13.GLOSARIO

Caucho: El caucho es el resultado del desecado de una importante diversidad de plantas tropicales que son capaces de suministrar por incisión un líquido elástico a través de su corteza, siendo el de mayor calidad el caucho el vocablo “Caucho” se genera de los cortes realizados en la corteza de los cuales se obtiene un líquido lechoso de aspecto emulsionado, el líquido suele ser recolectado en Valdés para su posterior solidificación que se realiza mediante procesos de evaporación y coagulación.

Vulcanización: Proceso mediante el cual se calienta el caucho crudo en presencia de azufre, con el fin de volverlo más duro y resistente al frío. Se dice que fue descubierto por Charles Goodyear en 1839 por accidente y que su nombre se lo dio en honor al dios vulcano.

Mas sin embargo hay estudios que afirman que este proceso fue utilizado por la cultura olmeca 3,500 años antes para hacer pelotas de hule destinadas a un juego ritual. (Ronald L. Melnick)

Pirómetro: Instrumento usado para medir temperaturas muy elevadas que no pueden ser medidas con un termómetro de mercurio, dentro de los pirómetros hay una gran variedad de configuraciones desde algunas que miden la temperatura por radiación sin contacto hasta los que con ayuda de termocuplas permiten controlar la temperatura de un sistema.

BIBLIOGRAFIA

PROPIEDADES DEL CAUCHO Y SU USO EN EL MUNDO MODERNO rvin I Rubin.
(2002). *Materiales plásticos*. mexico D.F.: Limusa.

EL MEZCLADO Y SU IMPACTO SOBRE LA CALIDAD DE LOS ARTICULOS DE
CAUCHO. Nelson Castaño 1998 Sociedad Latinoamericana de tecnología del caucho.

VISIÓN MODERNA DE LA TECNOLOGÍA DEL CAUCHO. 2007 Sociedad
Latinoamericana de tecnología del caucho.

MANUFACTURA INGENIERIA Y TECNOLOGIA Serope Kalpakjian 2008 quinta
edición.

MOLDES Y MÁQUINAS DE INYECCIÓN PARA LA TRANSFORMACIÓN DE
PLÁSTICOS Bodini Gianni 1992 Tomo 1.