

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA:

MÁQUINA DE CONFORMADO EN LA PRODUCCIÓN DE BUJES

AUTOR:

LENIN MARCELO BEDÓN CARRERA

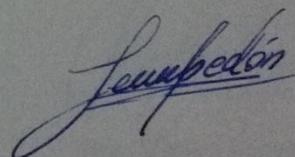
DIRECTOR:

ING. VÍCTOR ERAZO, MSc.

IBARRA, 2017

## DECLARACIÓN

Yo, LENIN MARCELO BEDÓN CARRERA, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y certifico la veracidad de las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

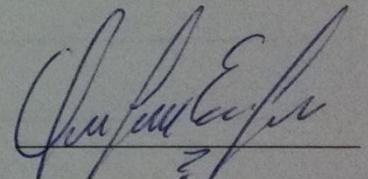


---

Lenin Marcelo Bedón Carrera

**CERTIFICACIÓN**

En calidad de Director del Trabajo de Grado “Máquina de conformado en la producción de bujes”, presentado por el señor Lenin Marcelo Bedón Carrera, para optar por el título de ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.



Ing. Víctor Erazo, MSc.

## AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital institucional, determino la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL CONTACTO	
CEDULA DE IDENTIDAD:	1003610068
APELLIDOS Y NOMBRES:	LENIN MARCELO BEDÓN CARRERA
DIRECCIÓN:	GENERAL PINTAG Y DUCHICELA
E-MAIL:	leninmarceloangel@hotmail.com
TELÉFONO MÓVIL:	0997410305

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	MÁQUINA DE CONFORMADO EN LA PRODUCCIÓN DE BUJES
AUTOR:	LENIN MARCELO BEDÓN CARRERA
FECHA:	
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
DIRECTOR:	ING. VÍCTOR ERAZO, MSc.

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

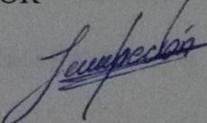
Yo, Lenin Marcelo Bedón Carrera, con cédula de identidad Nro. 100361006-8 en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, Artículo 144.

## 3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días del mes de septiembre del 2017

EL AUTOR

(firma).....  


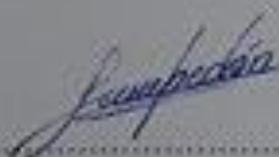
Lenin Marcelo Bedón Carrera

CI: 100361006-8

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Lenin Marcelo Bedón Carrera, con cédula de identidad Nro.100361006-8 manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículos 4,5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado "Máquina de conformado en la producción de bujes", que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato impreso y digital en la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 15 días del mes de septiembre del 2017

(firma)  .....

Nombre: Lenin Marcelo Bedón Carrera

Cédula: 100361006-8

## AGRADECIMIENTO

A los Ingenieros que creyeron en mí y me ayudaron a superarme, compartiendo parte de su gran conocimiento.

A mis amigos y compañeros por acompañarme en esta larga travesía, en los buenos y malos momentos.

A Keny y Dante por enseñarme que

*“la luz viene de las sombras y la oscuridad de la luz”.*

**DEDICATORIA**

A mi querida madre por el sacrificio y apoyo que me ha brindado diariamente y que ha permitido que este sueño se llegue a cumplir.

A mi hermana por saber acompañarme y reprenderme a lo largo de mi carrera universitaria.

## RESUMEN

En el presente trabajo se diseña una máquina de conformado en la producción de bujes, esta emplea el calentamiento y compresión de polvo triturado de caucho.

La máquina emplea la fuerza para compresión de un actuador lineal eléctrico y un incremento de temperatura mediante resistencias eléctricas kanthal tipo bobina, se emplea un circuito eléctrico de control y potencia.

Esta máquina se desarrolla a causa del problema de contaminación que representan los neumáticos usados en la ciudad de Ibarra, sin una forma adecuada de reciclarlos, para esto se emplea el análisis funcional propuesto por el ingeniero estadounidense Lawrence Miles, este determina, cuáles serían los mejores elementos, para emplearse en la máquina. Posteriormente se diseña la estructura que debe soportar la fuerza del actuador, la cámara que generé y aislé la energía térmica.

Basado en un estudio de la Universidad Politécnica de Cataluña, se determina el porcentaje de caucho y aditivos que se debe emplear en la producción de bujes.

Este método se puede usar para producir bujes, también se puede emplear para producir diversos elementos, empleando moldes diferentes como tejas o baldosas.

**ABSTRACT**

In the present text a forming machine is designed in the production of containers, this uses the heating and compression of crushed rubber powder.

The machine employs the force for the compression of a linear electric actuator and the increase of temperature with the electrical resistors of coil type, the use of an electric circuit of control and power.

This machine is developed a cause of the pollution problem that represents the used tires in the city of Ibarra, without an appropriate way to recycle them, for the use of the tool and the functional analysis proposed by the American engineer Lawrence Miles, this determination, which would be the best elements, to be used in the machine. Subsequently the structure is designed that must support the force of the actuator, the camera that generates and isolated the thermal energy.

Based on a study by the Polytechnic University of Catalonia, the percentage of rubber and additives to be used in the production of bushings is determined.

This method can be used to produce bushings, it can also be used to produce various elements, using different molds such as tiles or tiles.

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN .....	i
CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN.....	iii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT .....	ix
INTRODUCCIÓN .....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
OBJETIVOS.....	2
ANTECEDENTES.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
ALCANCE .....	4
1. CAPITULO I: MARCO TEÓRICO .....	5
1.1. RECICLAJE DE NEUMÁTICOS .....	5
1.2. PROCESOS DE TERMOFORMADO .....	5
1.2.1. MOLDEO POR COMPRESIÓN .....	6
1.2.1.1. PRESIÓN PARA FORMAR EL CAUCHO.....	6
1.2.1.2. TEMPERATURA PARA FUNDIR EL CAUCHO.....	6
1.2.2. EXTRACCIÓN DE GASES DEL MOLDE.....	7
1.3. MOLDE NEGATIVO DE BUJE.....	7
1.4. ADITIVOS QUÍMICOS PARA MODIFICAR CAUCHO.....	8
1.5. PORCENTAJES DE ADICIÓN EN LA MATERIA PRIMA.....	9
1.6. BUJES.....	9
2. CAPITULO II: METODOLOGÍA.....	10
2.1. ANÁLISIS FUNCIONAL .....	10
2.1.1.1. VOZ DEL CLIENTE .....	10
2.1.1.2. VOZ DEL INGENIERO .....	11
2.1.1.3. REQUISITOS PARA LA MAQUINA .....	12
2.1.2. DESARROLLO DE LOS DIAGRAMAS FUNCIONALES .....	12
2.1.3. DEFINICIÓN DE MÓDULOS.....	15
2.1.4. DIVISIÓN MODULAR.....	15
2.1.5. SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO .....	16
2.1.5.1. MODULO 1 .....	16
2.1.5.2. MODULO 2 .....	17
2.1.5.3. MODULO 3 .....	25
2.1.5.4. MODULO 4 .....	26
2.2. DISEÑO MECÁNICO.....	26
2.2.1. FUERZA DE CIERRE PARA COMPRESIÓN DE PTC. ....	26
2.2.2. DISEÑO DE ESTRUCTURA .....	27

2.2.2.1.	DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE ESTRUCTURA DE SOPORTE .....	27
2.2.3.	DISEÑO BASE.....	30
2.2.3.1.	DIAGRAMA CUERPO LIBRE DE BASE.....	30
2.2.4.	DISEÑO DE PLACA BASE DE ACTUADOR.....	32
2.2.4.1.	DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE PLACA BASE.....	32
2.2.5.	DISEÑO DE PASADORES .....	33
2.2.5.1.	DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE .....	33
2.2.6.	SELECCIÓN DE PERNOS PARA LA MAQUINA.....	34
2.2.7.	SELECCIÓN DE ACTUADOR .....	35
2.2.7.1.	FUERZA DE EMPUJE.....	35
2.2.7.2.	FUENTE DE ALIMENTACIÓN .....	36
2.3.	CÁMARA DE CONFORMADO .....	36
2.3.1.	DISEÑO TÉRMICO .....	36
2.3.2.	RESISTENCIA ELÉCTRICA .....	36
2.3.3.	AISLANTE TÉRMICO .....	37
2.3.4.	ESTRUCTURA DE CÁMARA DE CONFORMADO.....	38
2.3.5.	MATRIZ TÉRMICA .....	38
2.4.	MOLDE NEGATIVO DE BUJE.....	39
2.5.	SISTEMA DE CONTROL .....	40
2.5.1.	FASES DE ACTIVACIÓN .....	40
2.5.2.	CIRCUITO ELÉCTRICO.....	41
2.5.2.1.	SELECCIÓN DE ELEMENTOS.....	41
2.5.2.2.	SELECCIÓN DE CABLEADO.....	41
2.5.3.	CONTROL DE TEMPERATURA.....	42
3.	CAPITULO III: RESULTADOS .....	43
3.1.	PROTOCOLO DE PRUEBAS .....	43
3.1.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA MAQUINA .....	43
3.1.2.	EQUIPOS DE MEDICIÓN .....	43
3.2.	ESTADO DE EVALUACIÓN .....	44
3.3.	PRUEBAS.....	45
3.4.	PORCENTAJES .....	48
4.	CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	49
4.1.	CONCLUSIONES .....	49
4.2.	RECOMENDACIONES .....	50
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXOS	

## FIGURAS

Figura 1: Procesos de Termoformado. ....	6
Figura 2: Molde de compresión mixto Fuente: .....	7
Figura 3: Nivel 0 de análisis funcional.....	12
Figura 4: Nivel 1 de análisis funcional.....	13
Figura 5: Nivel 2 de análisis funcional.....	14
Figura 6: módulos funcionales .....	15
Figura 7: Formación de módulos .....	16
Figura 8: alternativa de solución .....	25
Figura 9: soporte de base y actuador .....	27
Figura 10: Diagrama de cuerpo libre, estructura de soporte .....	28
Figura 11: círculo de mohor, estructura. ....	29
Figura 12: diagrama de cuerpo libre de estructura de base .....	30
Figura 13: círculo de mohor de la estructura base .....	31
Figura 14: Placa base de actuador. ....	32
Figura 15: diagrama cuerpo libre de base de actuador.....	32
Figura 16: posición de pasadores en LA31. ....	33
Figura 17: diagrama de cuerpo libre de pasador. ....	34
Figura 18: diagrama de fuerza/amperaje LA31.....	35
Figura 19 : estructura de cámara de conformado .....	38
figura 20: molde negativo .....	39
Figura 21: Fases de activación .....	41
Figura 22: numeración de cableado AWG .....	42

## TABLAS

Tabla 1: Numero de Tamices y Diámetros.....	5
Tabla 2: Tipos de aditivos químicos .....	8
Tabla 3: la voz del cliente. ....	11
Tabla 4: voz del ingeniero.....	11
Tabla 5: requisitos para la maquina.....	12
Tabla 6: funciones del nivel 1 .....	13
Tabla 7: funciones nivel 2 .....	14
Tabla 8: Horno de gas .....	17
Tabla 9: Resistencia de resorte.....	18
Tabla 10: Actuador eléctrico lineal .....	19
Tabla 11: Actuador de cremallera .....	19
Tabla 12: Mecanismo de tuerca tornillo.....	20
Tabla 13: Topes finales de carrera .....	20
Tabla 14: Sensor de distancia.....	21
Tabla 15: Placas de contacto .....	21
Tabla 16: Alternativas de solución.....	22
Tabla 17: Evaluación de cada criterio. ....	23
Tabla 18: Evaluación de las alternativas de solución respecto a la fuerza de compresión .....	23
Tabla 19: Evaluación de las alternativas de solución respecto a dimensiones de la máquina .	23
Tabla 20: Evaluación de las alternativas de solución respecto a la Elementos eléctricos .....	24
Tabla 21: Evaluación de las alternativas de solución respecto al Resistencia térmica .....	24
Tabla 22: Evaluación de las alternativas de solución respecto al desgaste .....	24
Tabla 23: estructura de soporte de actuador.....	29
Tabla 24: estructura de soporte, Base.....	31
Tabla 25: tipos de pernos empleados .....	35

Tabla 26: partes de molde negativo.....	40
Tabla 27: elementos de control .....	40
Tabla 28: Características de Maquina .....	43
Tabla 29: equipos de medición.....	44
Tabla 30: estados y resultados de las pruebas .....	44

## **INTRODUCCIÓN**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La contaminación es un mal que aqueja a la sociedad, tanto en lugares públicos como en los basureros que no están debidamente adecuados, todos estos desechos son perjudiciales para la salud de las personas y para la imagen de las ciudades. Los neumáticos son elementos que se degradan en 500 años, estos son focos de enfermedades si se almacenan en lugares poco adecuados [1].

En la ciudad de Ibarra se almacena cerca de 10.000 neumáticos en el basurero municipal, y sin una forma adecuada para reciclarlos, estos ocupan espacio y causa malestar, en conjunto con la quema de neumáticos en hornos cementeros produciendo CO<sub>2</sub>, los neumáticos son contaminantes para el medio ambiente. El Gobierno Autónomo Descentralizado de Ibarra (GAD-I) es el encargado de administrar este basurero y busca formas de reciclar estos neumáticos, de forma amigable con el ambiente, así lo manifiesta El Departamento de Desarrollo Económico Local [2].

El reciclaje de neumáticos se realiza de diversas formas, como la creación de maceteros artesanales para emplearse en parques, también se tiene la fabricación artesanal de bujes. En la ciudad de Ibarra existen dos técnicos capacitados para esta labor, estos cortan y dan forma a neumáticos usados para la obtención de bujes, sin embargo, en el proceso se obtiene desperdicios que no se pueden reutilizar [2].

Con lo anteriormente mencionado, la Dirección de Desarrollo Económico Local como parte del GAD-I, se ve en la necesidad de diseñar una máquina capaz de reciclar el caucho de los neumáticos usados, sin dejar desperdicios que puedan contaminar. Para este propósito se desea elaborar bujes que puedan ser empleados tanto en mecanismos automotrices, como en máquinas de gimnasio u aplicaciones.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar y construir un prototipo de máquina para conformado de caucho en la producción de bujes en la ciudad de Ibarra.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las funciones del proceso a emplearse mediante un análisis funcional.
- Diseñar la estructura mecánica, que sea capaz de generar y soportar una fuerza necesaria que se emplea en el conformado de los elastómeros.
- Diseñar una matriz térmica, que sea capaz de generar la temperatura que necesitan los elastómeros, para alcanzar el punto de fundición de los materiales.
- Fabricar la máquina de conformado en base a los resultados de los diseños elaborados.

### **ANTECEDENTES**

La empresa CONTITECH en la ciudad de México, realizó el manual de empalmes vulcanizados, este detalla el proceso empleado para el trabajo con caucho, este usa una presión de 800 kPa, sin embargo, con empalmes de caucho, los cuales emplean un espesor máximo de 1 pulgada con un área de 300mm x 400mm, a pesar de emplear esta presión el material necesita estar caliente a una temperatura mínima de 100 grados centígrados [3].

En la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Gutiérrez realizó la tesis de “fabricado de una prensa hidráulica para vulcanizado compuesto de caucho” se emplea una fuerza de 18 kN en un área de trabajo de 0.04 mm<sup>2</sup>, sin embargo, esto es para un área de trabajo mayor a la requerida, y la fuerza suministrada es de origen hidráulico, por lo cual esto encarece el costo de producción [4].

En la Universidad de Azuay, Arízaga realiza pruebas de calidad en la elaboración de camineras con base de caucho, en esta emplea mezcla mixta de caucho y plástico, con temperaturas de 135 grados centígrados y un sistema de extrusión del material. Este tipo de

procesos no es eficiente para fundir caucho, ya que el material puede enfriar de forma irregular, en el proceso se obtuvo barras con imperfecciones en los acabados y averías en la máquina de extrusión de plástico. Arizaga determinó que la máquina empleada para este trabajo tenía deficiencias y se necesitaba elaborar una máquina diferente, que sea capaz de soportar las temperaturas de fundición del caucho, pueda generar el torque necesario para extruir la mezcla, y un sistema de enfriamiento adecuado para el caucho [5].

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto, se desea implementar en la construcción de una máquina que sea capaz de soportar temperaturas de fundición del caucho, en un rango de 140 a 160 grados centígrados, se implemente una fuerza en correlación con el área de trabajo. Permitiendo elaborar elementos de caucho.

## **JUSTIFICACIÓN**

En la ciudad de Ibarra existen una gran cantidad de neumáticos, que contaminan el medio ambiente y es un foco de enfermedades, estos se pueden encontrar en la ciudad y en los basureros. sin forma adecuada para reciclarlos, estos son enviados para su quema en hornos cementeros para utilizarlos como combustible, que produce emisiones de CO<sub>2</sub>, también se los emplea elaborando maceteros para parques, sin embargo, esto deja desperdicios de caucho que no se emplean posteriormente, otra forma de emplear los neumáticos es en la elaboración de bujes, mediante el corte del neumático y dando la forma requerida, dejando pequeños pedazos que no se pueden aprovechar. [2]

En el presente trabajo se elabora una máquina para la producción de bujes, que pueda emplear la mayor cantidad de material del neumático, sin producir desperdicios, y mejorar la calidad. Con la información recaudada se determinó que la mejor forma de fabricar bujes, es mediante el moldeo por compresión, en este se emplea dos maquinarias, la una que calienta el material, y otra que posteriormente la compactaría mientras se enfría, dándole forma al polímero.

## **ALCANCE**

El proceso que se utiliza para el conformado, emplea dos máquinas, una para calentar la materia prima en un molde negativo, y la segunda para comprimir el molde mientras se enfría. La propuesta en este proyecto permitirá emplear una máquina en la cual se ejecuten los dos procesos, el calentamiento y la compresión, así se reduciría el tiempo del proceso y se tendrá un mejor control del resultado.

Con la máquina que se desea realizar se necesita el caucho pulverizado, con un grado de 1 mm a 3 mm con análisis de granulometría según la norma ASTM D-422 y se procede a verterlo en el molde que se emplea para dar la forma específica, posteriormente se procede a incrementar gradualmente una fuerza sobre el molde, conjuntamente se procede a elevar la temperatura mediante resistencias eléctricas, hasta llegar a una temperatura de fusión adecuada para que ayude al tratamiento térmico de la mezcla de polímeros (elastómeros) y el aglutinante, este proceso se lo realiza en un molde de buje negativo básico de 1 pulgada de espesor y diámetros genéricos de 2,5 pulgadas y 0,5 pulgadas.

## 1. CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1. RECICLAJE DE NEUMÁTICOS

La Real Academia de Lengua, define al reciclaje como, “Someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar” [6].

El reciclaje de neumáticos se realiza de diversas formas, una forma es triturar el neumático, convirtiéndolo en Polvo Triturado de Caucho (PTC), cuya granulometría se puede clasificar según la norma ASTM D4-22, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1:  
*Numero de Tamices y Diámetros.*

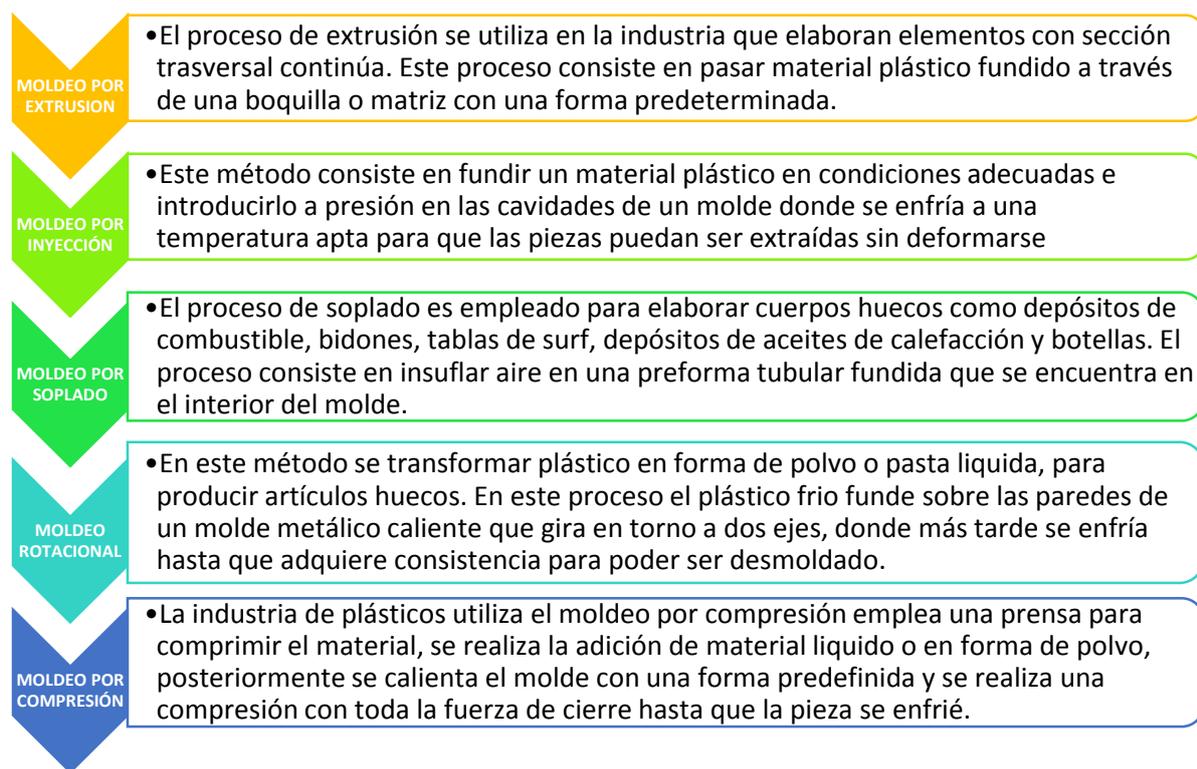
<b>Tamiz</b>	
<b>1 in</b>	25.4 mm
<b>¾ in</b>	19 mm
<b>½ in</b>	12.7 mm
<b>3/8 in</b>	9.50 mm
<b>Nº 4</b>	4.75 mm
<b>Nº 8</b>	2.36 mm
<b>Nº 16</b>	1.18 mm
<b>Nº 30</b>	0.60 mm
<b>Nº 50</b>	0.30 mm
<b>Nº 100</b>	0.15 mm
<b>Nº 200</b>	0.075 mm

Fuente: [7]

Para el reciclaje de neumáticos y su posterior uso, se emplea granulometría fina (menor a 3 mm). La materia prima normalmente empleada en procesos de fundición de polímeros, es polvo triturado o en forma líquida, sin embargo, en algunas mezclas se emplean químicos que permiten modificar las propiedades finales de la pieza terminada [7].

### 1.2. PROCESOS DE TERMOFORMADO

Los procesos de termoformado son empleados para la fabricación de diversos elementos que se utilizan en la vida cotidiana de las personas, tales elementos varían sus características en función del proceso por el cual se elaboró, entre los procesos mencionados en la obra “Tecnología de Polímeros” se muestran en la figura 1 [7].



*Figura 1: Procesos de Termoformado.  
[7]*

### 1.2.1. MOLDEO POR COMPRESIÓN

Este proceso tiene ciertas características, que deben ser consideradas dependiendo del material que se emplea, aspectos como temperatura, presión y el molde a emplearse.

#### 1.2.1.1. PRESIÓN PARA FORMAR EL CAUCHO

Es necesario tener en cuenta que la presión para obtener una fuerza capaz de moldear la mezcla de caucho en estado plástico alojada en el interior del molde, el aspecto presión tiene mucha relación con el tamaño de producto a moldear. Mientras más grande sea el producto moldeado más fuerza de cierre se necesitará, asumiendo que la presión es constante para todo tamaño de producto moldeado. [4]

#### 1.2.1.2. TEMPERATURA PARA FUNDIR EL CAUCHO

El punto de fusión es la temperatura a la cual se encuentra el equilibrio de fases sólido-líquido, es decir, la materia pasa de estado sólido a estado líquido, cabe destacar que el cambio

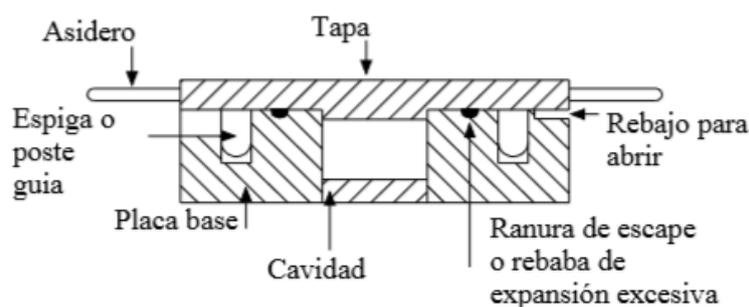
de fase ocurre a temperatura constante. La temperatura elegida está dentro de un rango de 150 a 180 grados centígrados. [8]

### 1.2.2. EXTRACCIÓN DE GASES DEL MOLDE

El proceso moldeo por compresión tiene una característica que se comprime el material, esta parte del proceso produce gases a causa del calentamiento del caucho, otro problema presente en este proceso es aire dentro del material, este produce imperfecciones y deformaciones de la pieza. Por la existencia de este tipo de gases dentro del molde es necesario que se realice varias compresiones del actuador para poder extraer los gases y los desfogues en molde, finalmente se realice una compresión con la mayor fuerza de cierre, para realizar la compactación del material. [7]

### 1.3. MOLDE NEGATIVO DE BUJE

El molde negativo es un instrumento empleado para fundir piezas, dependiendo del proceso en el cual, estos moldes pueden ser de tipo, fundición simple, fundición positiva y fundición mixta. El molde negativo empleado en la fundición mixta es el más versátil y con mejores resultados, este permite realizar una compresión de materia prima, extrayendo el material sobrante, como se muestra en la figura 2 de un típico molde negativo [4].



*Figura 2: Molde de compresión mixto*  
Fuente: [4]

En la tesis “DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA VULCANIZAR COMPUESTOS DE CAUCHO”, Gutiérrez describe las partes que conforman un elemento de fundición mixta.

Tapa: es la encargada de ejercer la fuerza de cierre, en esta se encuentra parte del molde positivo, el cual delimita las fronteras del elemento elaborado.

Asidero: esta sirve para transportar los moldes negativos.

Rebajo para abrir: una vez terminado el proceso de fundición, esta es la parte en la cual se deberá ejercer presión para separar las dos partes del molde.

Poste guía: estos son los encargados de figur e impedir una mala posición de las caras del molde negativo.

Placa base: esta debe albergar la mayor parte de elementos del molde, siendo una de ellas la forma del elemento.

Cavidad: en esta se debe verter la materia prima que se utiliza para la fundición.

Ranura de escape: en el momento de la compresión del material, pueden existir cantidades excesivas del material, esta cavidad se albergarán este exceso, permitiendo que las partes del molde encajen perfectamente.

#### 1.4. ADITIVOS QUÍMICOS PARA MODIFICAR CARACTERÍSTICAS DEL CAUCHO

Los aditivos químicos son empleados en procesos de termoformado para modificar las características del producto final, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2:

*Tipos de aditivos químicos*

<b>Función del aditivo</b>	<b>Tipo de aditivo</b>
Aditivos que facilita el procesado	Estabilizantes Lubricantes
Aditivos que modifican las propiedades mecánicas	Plastificantes Cargas reforzadas Modificadores de impacto
Aditivos que disminuyen costos de las formulaciones	Cargas diluyentes y extendedoras
Modificadores de propiedades superficiales	Agentes antiestéticos Aditivos antideslizamiento Aditivos antidesgaste Promotores de adhesión
Modificadores de propiedades ópticas	Pigmentos y colorantes Agentes de nucleación
Aditivos contra el envejecimiento	Estabilizantes contra la luz UV <sup>c</sup> Fungicidas
Otros	Agentes espumantes Retardante de llama

*Fuente: [7]*

### 1.5. PORCENTAJES DE ADICIÓN EN LA MATERIA PRIMA

En un estudio realizado en España se analizó la producción de materiales con polímeros, sin embargo, se empleó materiales compuestos, un porcentaje de polietileno de alta densidad (HDPE), un porcentaje de PTC y un porcentaje de aditivos químicos. En el estudio realizado en La Pontificia Politécnica de Catalunya, se determina los porcentajes plástico en 80% y 18% de caucho y 2% de químicos que modifican las características del producto final. [9]

### 1.6. BUJES

Un buje es el elemento de una máquina donde se apoya o gira un eje. Puede ser una simple pieza que sujeta un cilindro de metal o un conjunto muy elaborado de componentes que forman un punto de unión. Dependiendo de la función, el buje debe cumplir con ciertas normas, como American Bureau of Shipping, Bureau Veritas, Det Norske Veritas, Lloyds Register, Registro Italiano Navale, Germanischer Lloyds, son parte de CLASS Societies. Estas determinan las pruebas más importantes para un buje, el cual en función de su resistencia, a una carga axial y cortante, se emplea en diversas actividades [10].

## 2. CAPITULO II: METODOLOGÍA

### 2.1. ANÁLISIS FUNCIONAL

El diseño de una maquina puede llevar a la obtención de varios prototipos, sin embargo, estos prototipos, no siempre son los más eficientes o los más rentables, mediante los métodos de diseño como el análisis funcional, busca obtener el mejor prototipo.

El análisis funcional es una propuesta del ingeniero estadounidense Lawrence Miles. Cuyo propósito es el de separar la acción que se efectúa del componente o mecanismo, de este modo buscar nuevas soluciones a un mismo problema [11].

Así como describe Vásquez, el análisis funcional se divide en funciones primarias y secundarias, o niveles. Para la aplicación de esta herramienta de diseño, es necesario establecer las funciones que intervienen.

Funciones primarias: son aquellas por las que el cliente compra el producto

Funciones secundarias: son aquellas que permiten que la función primaria se ejecute satisfactoriamente y son las que mediante este análisis se determinan.

Una vez establecidas las funciones secundarias se procede a plantear soluciones que posteriormente se determinara cuáles serían las más eficientes para cumplir con los requerimientos del cliente y el diseñador.

#### 2.1.1.1. VOZ DEL CLIENTE

La voz del cliente es esencial en este proceso, esta será la que determine los límites que debe tener la máquina, así como las características básicas que el diseñador debe tener en cuenta.

La voz del cliente no siempre será exacta o de forma que se pueda traducir a un lenguaje que el diseñador pueda utilizar, por esto el diseñador debe tomar en cuenta aspectos técnicos, como se muestra en la tabla 3, que ayudan al cliente para obtener la máquina que necesita.

Tabla 3:  
la voz del cliente.

<b>Deseos del cliente</b>	<b>Descripción</b>
<i>Dimensiones de máquina</i>	<i>La máquina debe ser relativamente pequeña, para que se pueda movilizar.</i>
<i>Acabado superficial</i>	<i>El buje debe tener un buen acabado superficial, sin porosidades o grietas</i>
<i>Eléctrico</i>	<i>La máquina debe funcionar con electricidad y sin necesidad de depender de otro implemento, como bomba hidráulica.</i>
<i>Fácil extracción</i>	<i>La cámara de conformado debe tener las dimensiones necesarias que faciliten tanto el ingreso, como la extracción del material o molde.</i>
<i>Pocos operarios</i>	<i>Por motivos de presupuesto la maquina debe poder ser operada por una sola persona, de ser necesario.</i>
<i>Fácil operación.</i>	<i>Tanto el panel de control como el proceso, debe ser fácil de operar.</i>

#### 2.1.1.2. VOZ DEL INGENIERO

La voz del ingeniero debe emplear términos técnicos, que marquen los límites para la máquina, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4:  
voz del ingeniero

<b>Requerimientos del ingeniero</b>	<b>Descripción</b>
<i>Eléctrico</i>	<i>La máquina funciona con 110V</i>
<i>Presión</i>	<i>Una presión de 445 kPa para el moldeo de la pieza y una velocidad de 4 a 8 mm/s.</i>
<i>Temperatura</i>	<i>La máquina debe soportar temperaturas que fundan el material utilizado, desde 140 a 160 grados centígrados.</i>
<i>Mecánico</i>	<i>El sistema mecánico a implementar debe ser eléctrico, y soportar las condiciones generadas en la máquina, como, deformaciones y temperaturas.</i>
<i>Área de trabajo</i>	<i>El área en que se trabaja, dese ser suficiente para colocar el molde y fijarlo, así como manipularlo dentro de la cámara.</i>

### 2.1.1.3. REQUISITOS PARA LA MAQUINA

Una vez adquirido la voz del cliente y diseñador, se discretizan los conceptos y seleccionan los más relevantes, para definir los requisitos de la máquina y sus elementos como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5:  
*requisitos para la maquina*

<b>Concepto</b>	<b>Propuesto</b>	<b>Requerimiento/ Deseo</b>	<b>Descripción</b>
<i>Eléctrico</i>	<i>Cliente Diseñador</i>	<i>Requerimiento</i>	<i>La máquina debe funcionar a 110V.</i>
<i>Dimensiones</i>	<i>Cliente</i>	<i>Deseo</i>	<i>La máquina debe ser pequeña y de fácil movilidad.</i>
<i>Operación</i>	<i>Cliente</i>	<i>Deseo</i>	<i>El manejo de la máquina debe ser simple.</i>
<i>Presión</i>	<i>Cliente Diseñador</i>	<i>Requerimiento</i>	<i>La velocidad de compresión debe ser lenta, alrededor de 4 mm/s.</i>
<i>Temperatura</i>	<i>Diseñador</i>	<i>Requerimiento</i>	<i>La máquina debe soportar la temperatura de fundición del caucho, alrededor de 150 grados centígrados.</i>
<i>Área de trabajo</i>	<i>Diseñador</i>	<i>Requerimiento</i>	<i>El área de trabajo debe poder manejar el molde, alrededor de 30.4 cm<sup>2</sup>.</i>

### 2.1.2. DESARROLLO DE LOS DIAGRAMAS FUNCIONALES

El nivel cero indica la actividad que se desea realizar, como se muestra en la figura 3, esta muestra los elementos necesarios para esta actividad como el resultado que se espera obtener.

Nivel 0: Conformado



*Figura 3: Nivel 0 de análisis funcional*

En este nivel se detalla la función principal, por lo cual es cliente desea esta máquina.

Nivel 1: Funciones secundarias

El nivel uno establece las subactividades necesarias para que se cumpla la actividad principal, planteada en el nivel cero, en la figura 4 se muestra estas actividades y sus respectivas necesidades o materiales necesarios. Así como la dependencia y conexión que tienen cada una.

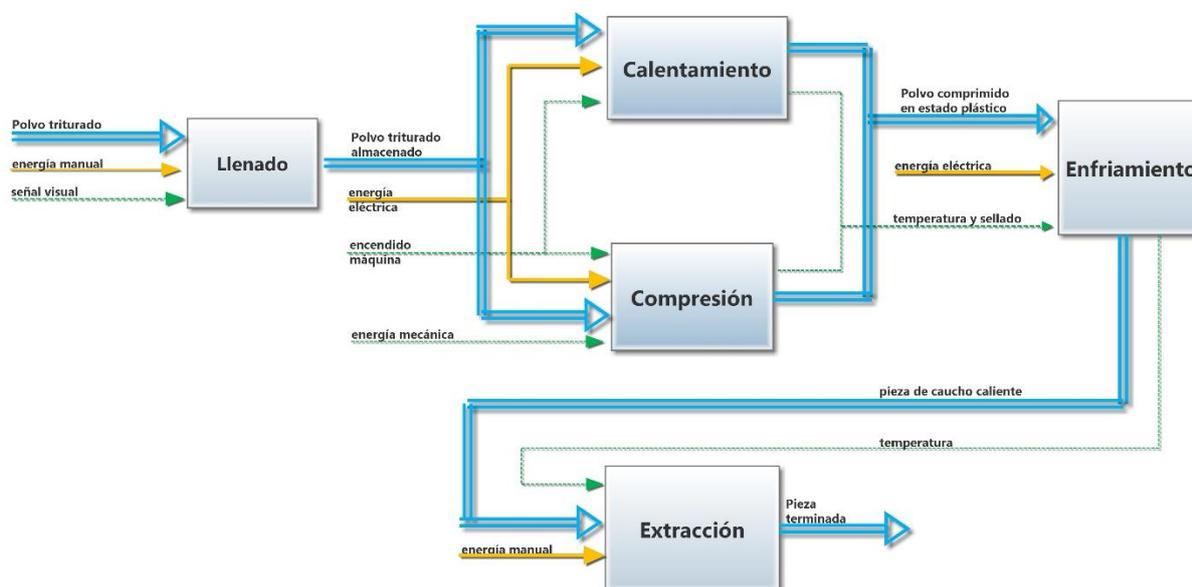


Figura 4: Nivel 1 de análisis funcional

En la figura 4 se observa el flujo que debe cumplir las funciones. En la tabla 6 se detalla las actividades necesarias para cumplir con el nivel uno.

Tabla 6:  
funciones del nivel 1

<b><i>FUNCIÓN</i></b>	<b><i>DESCRIPCIÓN</i></b>
<b><i>Llenado</i></b>	<i>Se suministra la porción adecuada de materia prima a la cámara de conformado, dependiendo de las dimensiones finales que se desea obtener.</i>
<b><i>Calentamiento</i></b>	<i>Se procede a elevar la temperatura gradualmente, hasta llegar a una temperatura adecuada para que el material alcance el punto de fundición.</i>
<b><i>Compresión</i></b>	<i>Conjuntamente con el calentamiento se procede a realizar la compresión de la materia prima para que puedan ser compactados dentro del molde negativo del buje.</i>
<b><i>Enfriamiento</i></b>	<i>El enfriamiento se realiza de forma natural sin la intervención de un sistema de refrigeración, ya que, si se emplea algún método de enfriamiento rápido, este podría ocasionar ciertos agrietamientos en la pieza.</i>
<b><i>Extracción</i></b>	<i>La extracción del molde se realiza de forma manual, una vez la pieza alcance una temperatura a la cual sea posible su manipulación.</i>

Nivel 2: Funciones secundarias

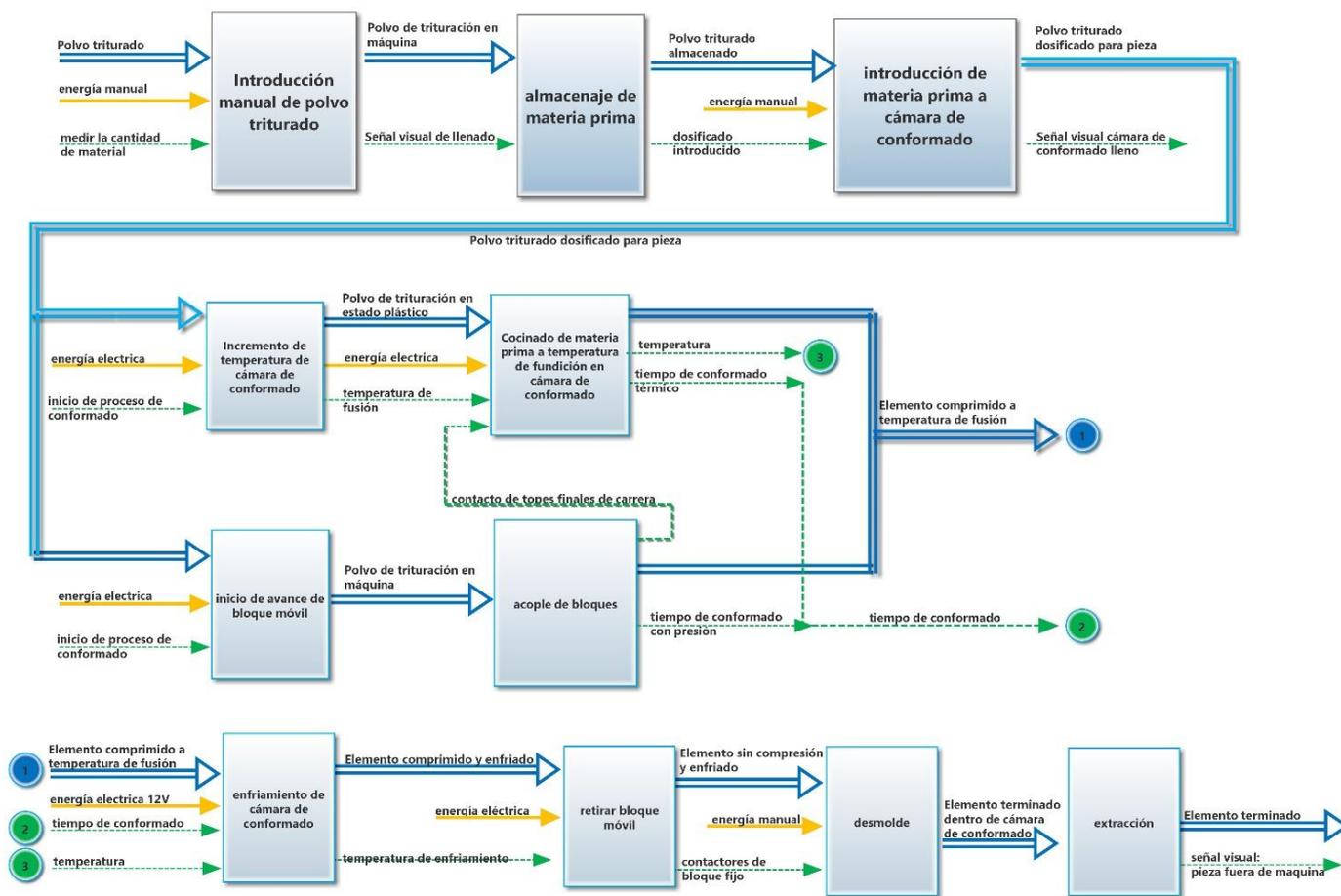


Figura 5: Nivel 2 de análisis funcional

En la figura 5 se observa el flujo que debe cumplir las funciones. En la tabla 7 se detalla

las funciones secundarias.

Tabla 7:  
funciones nivel 2

<b>FUNCIÓN N1</b>	<b>FUNCIÓN N2</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Llenado</b>	<i>Introducción manual de polvo triturado</i>	<i>Introducción de PTC a la cámara de conformado.</i>
	<i>Almacenaje de materia prima</i> <i>Introducción de materia prima a cámara de conformado.</i>	
<b>Calentamiento</b>	<i>Incremento de temperatura de cámara de conformado</i>	<i>Calentamiento de PTC hasta el punto de fundición, y cocinado del material hasta la unión de las partículas.</i>
	<i>Cocinado de materia prima a temperatura de fundición.</i>	
<b>Compresión:</b>	<i>Inicio de avance de bloque móvil</i>	<i>Compresión del PTC dentro del molde negativo.</i>
	<i>Acople de bloques</i>	

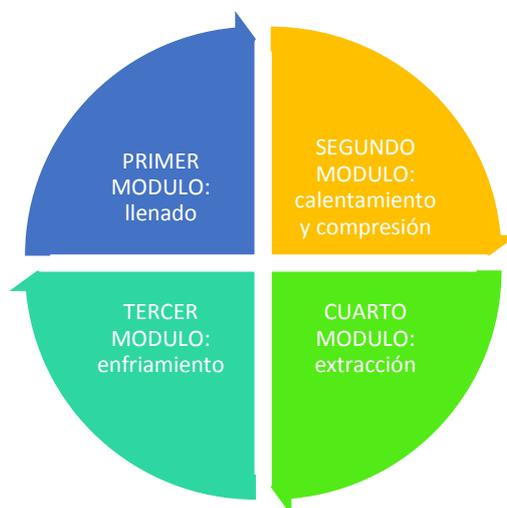
<b>Enfriamiento:</b>	<i>Enfriamiento en cámara de conformado</i>	<i>Enfriamiento del buje dentro del molde.</i>
<b>Extracción:</b>	<i>Retirar bloque móvil</i>	<i>Extracción del molde negativo, de la cámara de conformado.</i>
<b>Desmolde:</b>	<i>Extracción de pieza terminada</i>	<i>Extracción del buje del molde negativo.</i>

Con la determinación de la función principal, las funciones secundarias y el desarrollo de los diagramas funcionales, se puede determinar los flujos tanto de material, energético y del tipo de señales con las cuales se trabaja. Una gran ayuda que se emplea, es la creación de módulos, se emplea las funciones secundarias para establecer los módulos.

### 2.1.3. DEFINICIÓN DE MÓDULOS

Los módulos funcionales ayudan a organizar e implantar las funciones de un producto y, por lo tanto, exigen una atención especial en la elaboración de la estructura funcional y un esfuerzo importante durante las etapas de definición y de diseño conceptual. [12]

Se trabaja con cuatro módulos, como se muestra en el figura 6.



*Figura 6: módulos funcionales*

### 2.1.4. DIVISIÓN MODULAR

La división modular se muestra en la figura 7, esta parte agrupa las funciones secundarias, cada módulo servirá para determinar un proceso, y elegir un elemento que pueda realizarla.

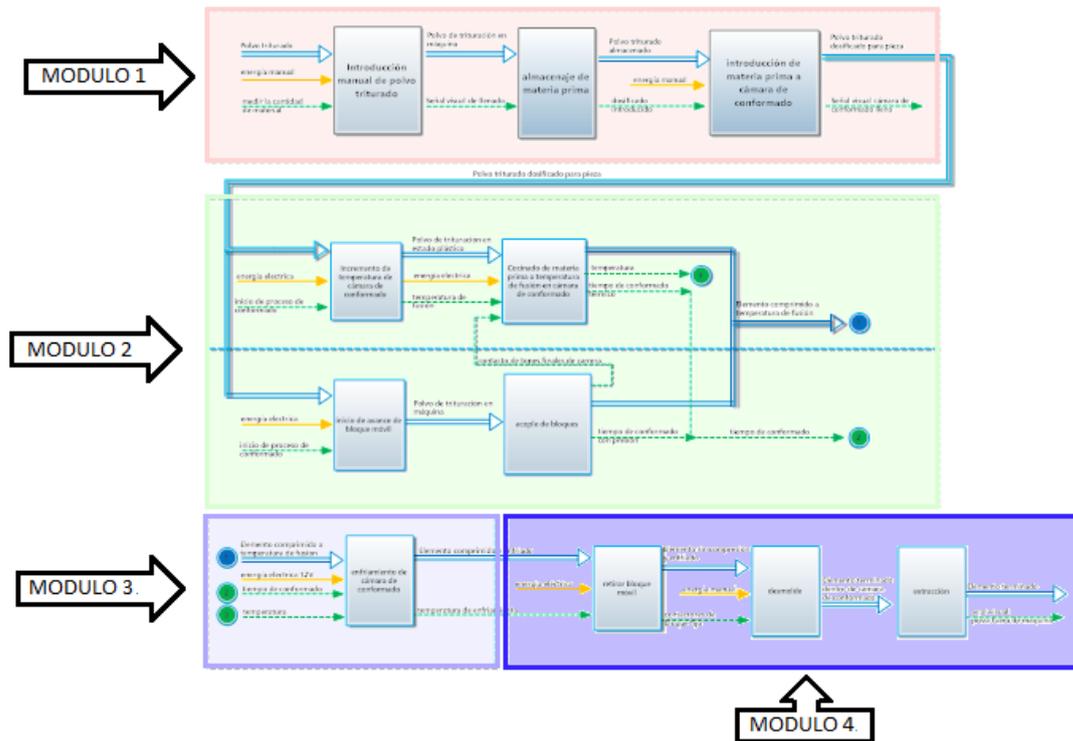


Figura 7: Formación de módulos

## 2.1.5. SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO

Para dar las soluciones a cada módulo se realiza un análisis a las funciones específicas y se le da múltiples soluciones, posteriormente se selecciona las opciones que se concatenen de la mejor manera, hasta alcanzar la solución final.

### 2.1.5.1. MODULO 1

En este módulo se tiene el llenado o dosificación de la materia prima.

#### INTRODUCCIÓN MANUAL DE POLVO TRITURADO

la dosificación de la materia prima se la realiza con porcentajes de 80% caucho y 20 % aditivos, en relación al volumen de la pieza terminada, esta acción se la realiza de forma manual.

#### ALMACENAJE DE MATERIA PRIMA

En esta sección se realiza una revisión de nivel de la materia prima en el molde negativo, para esto se emplea la mano de obra del operario.

## INTRODUCCIÓN DE MATERIA PRIMA A CÁMARA DE CONFORMADO

Se introduce el molde negativo dentro de la cámara de conformado con la materia prima dosificada.

## ALTERNATIVAS DE MÓDULOS

El primer módulo al carecer de varias soluciones para las funciones específicas no presenta alternativas, así se tiene una única solución, la cual es la suministración de materia prima de forma manual.

### 2.1.5.2. MODULO 2

En este módulo se tiene el calentamiento y compresión de la materia prima.

## INCREMENTO DE TEMPERATURA EN CÁMARA DE CONFORMADO

Tabla 8:

*Horno de gas*

<b>ALTERNATIVA 1 : Horno de gas</b>	
<p><i>Un horno es un dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimento cerrado. Se utiliza generalmente en la cocina para cocinar, calentar o secar alimentos.</i></p> <p><i>Un horno de gas calienta y cocina los alimentos mediante la combustión de gas. Actualmente siguen vendiéndose hornos de gas, que tienen sus ventajas, como su precio asequible, el relativo bajo precio del suministro que emplean (gas butano o gas natural).</i></p>	<p>Horno a gas</p> 
<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>tiene un incremento constante de temperatura.</i></li> <li>- <i>necesita una estructura mínima para soportar este tipo de sistemas.</i></li> <li>- <i>Es capaz de alcanzar temperaturas de hasta 800 °C.</i></li> </ul>	<p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>la temperatura máxima depende de la cantidad de gas consumido.</i></li> <li>- <i>existe riesgo de fugas de gas.</i></li> <li>- <i>El control de temperatura solo es posible mediante el corte del suministro de gas.</i></li> </ul>

Tabla 9:  
Resistencia de resorte

<b>ALTERNATIVA 2 : Resistencia de resorte</b>	
<p><i>Las resistencias eléctricas son elementos que permite tener un mejor control de temperatura, mediante el paso de corriente la niquelina de las resistencias permite alcanzar temperaturas altas, en función del diámetro de la resistencia y la cantidad de voltaje inducido.</i></p>	<p><i>Resistencia eléctrica</i></p> 
<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>permite tener un incremento constante de la temperatura</i></li> <li>- <i>se puede obtener una curva que relacione el tiempo con la temperatura generada</i></li> <li>- <i>se puede realizar pedidos a los fabricantes con el diseño que se necesite</i></li> <li>- <i>se puede implementar un control ON/OFF de temperatura</i></li> <li>- <i>se pueden realizar calentamiento con inmersión, en líquidos.</i></li> <li>- <i>se puede implementar con una conexión eléctrica muy simples</i></li> </ul>	<p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>necesitan de un mantenimiento rutinario</i></li> <li>- <i>se pueden romper los filamentos internos.</i></li> <li>- <i>puede producir capas de desperdicios en el recubrimiento por el cambio de temperatura.</i></li> </ul>

## COCINADO DE MATERIA PRIMA A TEMPERATURA DE FUNDICIÓN

La solución implementada en el incremento de temperatura se relaciona directamente con la implementada en esta función específica, así se emplea la misma solución, que en el incremento de temperatura.

## INICIO DE AVANCE DE BLOQUE MÓVIL

Tabla 10:

### Actuador eléctrico lineal

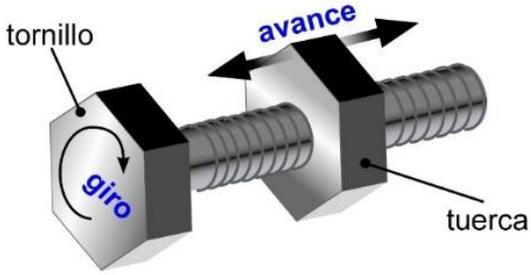
ALTERNATIVA 1 : Actuador eléctrico lineal	
<p><i>Un actuador lineal eléctrico es un dispositivo que convierte el movimiento de rotación de un motor de corriente continua de baja tensión en movimiento lineal, es decir, los movimientos de empuje y halado.</i></p>	<p>Actuador eléctrico lineal</p> 
<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- posee una estructura beneficiosa para el mecanismo</li> <li>- sus dimensiones son pequeñas y fuertes</li> <li>- el vástago se puede adaptar al bloque móvil</li> <li>- tiene un nivel de confiabilidad respecto al nivel de voltaje y la fuerza ejercida.</li> </ul>	<p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- alcance del vástago podría ser mayor al necesario</li> <li>- los niveles de fuerza dependen de los diseños de catálogos.</li> <li>- la temperatura de funcionamiento debe ser menor.</li> </ul>

Tabla 11:

### Actuador de cremallera

ALTERNATIVA 2 : Actuador de cremallera	
<p><i>La implementación de actuador eléctrico con cremallera es una opción que permite la movilización del bloque móvil en la cámara de conformado.</i></p>	
<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sus dimensiones son mejores para emplear un actuador conjuntamente con el bloque móvil</li> <li>- su fuente de alimentación es menor que los demás actuadores.</li> </ul>	<p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La fuerza de avance depende de la relación de la caja reductora</li> <li>- Este necesita un motor para su accionar.</li> </ul>

Tabla 12:  
Mecanismo de tuerca tornillo

ALTERNATIVA 3 : Mecanismo de tuerca tornillo	
<p>La implementación de un diseño de un tornillo tuerca es una opción que permite emplear una mayor carga en función de las revoluciones que genere un motor, para el avance y el regreso del vástago, el motor debería ser trifásico para el cambio de giro.</p>	<p>mecanismo tuerca tornillo</p>  <p>tornillo</p> <p>avance</p> <p>tuerca</p>
<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- puede generar grandes fuerzas de avance</li> <li>- es un diseño simple.</li> </ul>	<p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sus dimensiones son mayores, a causa de la implementación del motor y la caja reductora</li> <li>- necesita una alimentación mayor</li> <li>- necesita una estructura capaz de soportar y guiar la carga de cierre.</li> </ul>

## ACOPLE DE BLOQUES

el acople de los bloques se emplea para determinar, la compresión se ha logrado en su totalidad y es posible iniciar el proceso de cocinado de la pieza.

Tabla 13:  
Topes finales de carrera

ALTERNATIVA 1: Topes finales de carrera	
<p>Los interruptores o sensores finales de carrera, también llamados interruptores de posición, son interruptores que detectan la posición de un elemento móvil mediante accionamiento mecánico. Son muy habituales en la industria para detectar la llegada de un elemento móvil a una determinada posición.</p>	<p>Sensor final de carrera</p> 

<p><i>Ventajas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>son simples de instalar</i></li> <li>- <i>son de bajo costo.</i></li> </ul>	<p><i>Desventajas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>son frágiles si no se colocan en una correcta posición</i></li> <li>- <i>dependen de la posición del vástago para su activación.</i></li> </ul>
---	--

Tabla 14:  
*Sensor de distancia*

ALTERNATIVA 2: Sensor de distancia (ultrasónico)	
<p><i>Los sensores ultrasónicos son empleados para determinar distancias, generalmente empleadas en robótica y otras aplicaciones.</i></p>	<p style="text-align: center;">Sensor ultrasónico</p> 
<p><i>Ventajas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>tienen una precisión mayor</i></li> <li>- <i>mejor control de la posición con respecto a la distancia.</i></li> </ul>	<p><i>Desventajas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>necesitan un sistema de control</i></li> <li>- <i>no están diseñados para funcionar en ambientes rústicos.</i></li> </ul>

Tabla 15:  
*Placas de contacto*

ALTERNATIVA 3: Placas de contacto	
<p><i>Estos sensores son placas de presión, que se activan al contacto, empleadas para determinar un cierre de puertas, estos se implementan en la cámara de conformado para definir la llegada del bloque móvil.</i></p>	<p style="text-align: center;">placas de contacto</p> 
<p><i>Ventajas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>son de fácil instalación</i></li> <li>- <i>sus dimensiones son pequeñas.</i></li> </ul>	<p><i>Desventajas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>son delicadas y necesitan una instalación precisa.</i></li> <li>- <i>El rango de medición es muy bajo</i></li> <li>- <i>Necesita un sistema de procesamiento para poder ser implementada.</i></li> </ul>

## ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Para determinar las diferentes posibles soluciones de cada módulo se realizan combinaciones, que sean compatibles entre sus componentes. En la tabla 16, se observa el flujo de flechas a través de cada alternativa, estas son posibles soluciones.

Tabla 16:  
Alternativas de solución

Función	Componente
<i>Incremento de temperatura de la cámara de conformado.</i>	<pre> graph TD     RE1[RESISTENCIA ELECTRICA] --&gt; RE2[RESISTENCIA ELECTRICA]     RE2 --&gt; AE[ACTUADOR ELECTRICO LINEAL]     AE --&gt; FC[FINALES DE CARRERA]     FC --&gt; A1[ALTERNATIVA 1]          HG1[HORNO A GAS] --&gt; HG2[HORNO A GAS]     HG2 --&gt; AC[ACTUADOR DE CREMALLERA]     HG2 --&gt; ST[SISTEMA TUERCA TORNILLO]     AC --&gt; FC     ST --&gt; FC     FC --&gt; A2[ALTERNATIVA 2]          HG3[HORNO A GAS] --&gt; ST     ST --&gt; FC     FC --&gt; A3[ALTERNATIVA 3]          UL[ULTRASONICO]   </pre>
<i>Cocinado de materia prima.</i>	
<i>Inicio de avance de bloque móvil.</i>	
<i>Acople de bloques.</i>	

## EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS MÓDULOS

Con el fin de seleccionar la mejor alternativa se realiza una comparación con el método ordinal corregido de criterios ponderados. Se listan los criterios de ponderación que pueden ser aplicados en la selección de elementos, estos dependen de los requerimientos y deseos del cliente y el diseñador.

- La fuerza de compresión necesaria para que el material compuesto sea comprimido.
- Dimensiones de la máquina.
- Elementos eléctricos.
- La predisposición de los elementos a trabajar en ambientes de altas temperaturas.

Los requerimientos de máquina como área de trabajo, operación son aspectos que debe emplear el diseñador, ms estos no están directamente relacionados con los elementos de las funciones. La evaluación de los criterios y módulos se detallan en la tabla 17.

Tabla 17:

*Evaluación de cada criterio.*

	Fuerza de compresión	Dimensiones de la máquina	Elementos eléctricos	Resistencia térmica	$\Sigma+1$	ponderación
<b>Fuerza de compresión</b>		1	1	1	4	0,4
<b>Dimensiones de la máquina</b>	0		0	0	1	0,1
<b>Elementos eléctricos</b>	0	1		0,5	2,5	0,25
<b>Resistencia térmica</b>	0	1	0,5		2,5	0,25
				SUMA	10	1
fuerza de compresión > señal de posición = desgaste > Dimensiones de la máquina						

Enseguida se evalúa cada una de las soluciones respecto a los criterios.

Tabla 18:

*Evaluación de las alternativas de solución respecto a la fuerza de compresión*

fuerza compresión	alternativa 1	alternativa2	alternativa3	$\Sigma+1$	ponderación
<b>alternativa 1</b>		1	0,5	2,5	0,42
<b>alternativa2</b>	0		0	1	0,17
<b>alternativa 3</b>	0,5	1		2,5	0,42
			suma	6	1
alternativa3 = alternativa1 > alternativa2					

Tabla 19:

*Evaluación de las alternativas de solución respecto a dimensiones de la máquina*

Dimensiones de la máquina	alternativa 1	alternativa2	alternativa3	$\Sigma+1$	ponderación
<b>alternativa 1</b>		1	1	3	0,50
<b>alternativa2</b>	0		0,5	1,5	0,25
<b>alternativa 3</b>	0	0,5		1,5	0,25
			suma	6	1
alternativa1 > alternativa2 = alternativa3					

Tabla 20:

Evaluación de las alternativas de solución respecto a la Elementos eléctricos

<i>Elementos eléctricos</i>	<i>alternativa 1</i>	<i>alternativa2</i>	<i>alternativa3</i>	$\Sigma+1$	<i>ponderación</i>
<i>alternativa 1</i>		1	0	2	0,33
<i>alternativa2</i>	0		0,5	1,5	0,25
<i>alternativa 3</i>	0	0,5		1,5	0,25
			suma	5	0,83
alternativa1 > alternativa2 = alternativa3					

Tabla 21:

Evaluación de las alternativas de solución respecto al Resistencia térmica

<i>Resistencia térmica</i>	<i>alternativa 1</i>	<i>alternativa2</i>	<i>alternativa3</i>	$\Sigma+1$	<i>ponderación</i>
<i>alternativa 1</i>		1	0	2	0,33
<i>alternativa2</i>	0		0,5	1,5	0,25
<i>alternativa 3</i>	0	0,5		1,5	0,25
			suma	5	0,83
alternativa1 > alternativa2 = alternativa3					

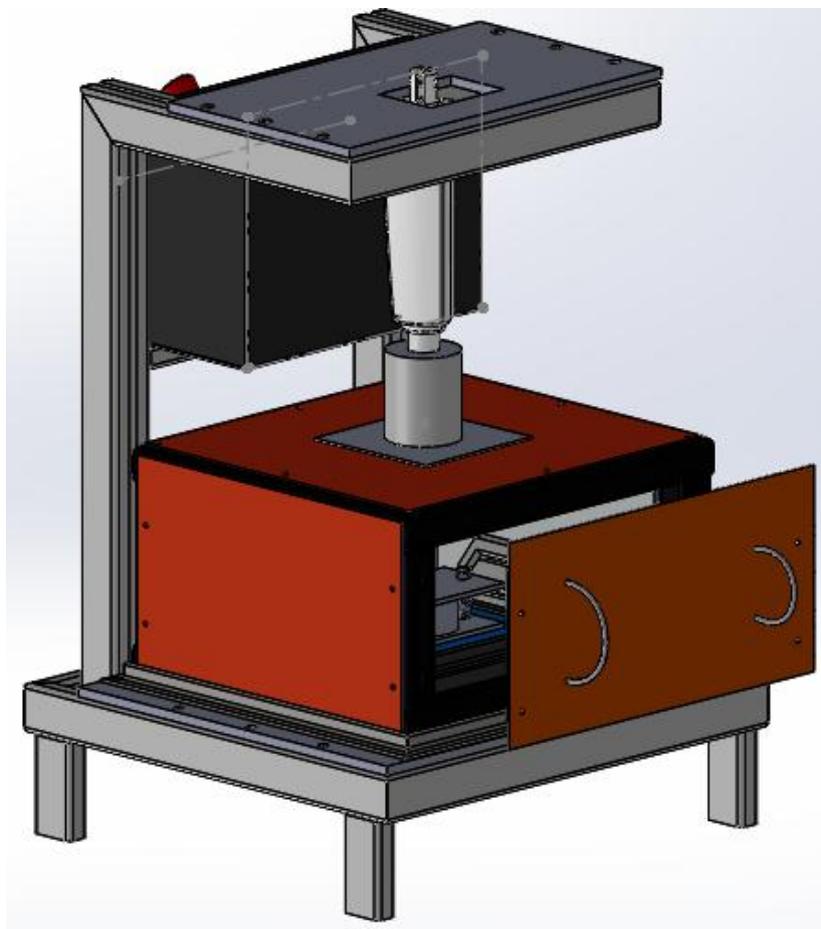
Finalmente, se presenta la tabla de conclusiones

Tabla 22:

Evaluación de las alternativas de solución respecto al desgaste

<i>conclusiones</i>	<i>Fuerza de compresión</i>	<i>Alcance del vástago</i>	<i>La señal de posición</i>	<i>Desgaste</i>	$\Sigma$	<i>ponderación</i>
<i>alternativa 1</i>	0,4x0,42	0,1x0,5	0,25x0,33	0,25x0,3 3	0,38 3	1
<i>alternativa 2</i>	0,4x0,17	0,1x0,25	0,25x0,25	0,25x0,2 5	0,21 8	3
<i>alternativa 3</i>	0,4x0,42	0,1x0,25	0,25x0,25	0,25x0,2 5	0,31 8	2

Según este análisis se establece que la mejor alternativa de solución para el módulo 2 es, la alternativa 1, la cual se muestra en la figura 8.



*Figura 8: alternativa de solución*

### 2.1.5.3. MODULO 3

En este módulo se cumple la función de enfriamiento.

#### ENFRIAMIENTO EN CÁMARA DE CONFORMADO

En este módulo por requerimiento del proceso en sí, las piezas conformadas, deben ser enfriadas sin la acción de sistemas de enfriamiento activo, ya que la intervención de un sistema de enfriamiento, puede causar grietas o porosidades en el acabado superficial [13].

#### 2.1.5.4. MODULO 4

En este módulo se tiene la extracción de la pieza.

#### RETIRAR BLOQUE MÓVIL

En esta sección se lo realiza con la misma señal que se implementa, previa la función de cocinado

#### DESMOLDE

El desmolde se lo realiza con la extracción del molde negativo, de la cámara de conformado

#### EXTRACCIÓN DE PIEZA TERMINADA

La extracción de la pieza del molde negativo se la realiza mediante un vástago en la parte inferior, este proceso lo realiza el operario de forma manual

### 2.2. DISEÑO MECÁNICO

#### 2.2.1. FUERZA DE CIERRE PARA COMPRESIÓN DE PTC.

La fuerza de cierre es el término empleado para nombrar a la fuerza que se deberá ejercer sobre la pieza para permitir su compactación. Gutiérrez Henderson realizó un análisis de la fuerza de cierre necesaria en su tesis, DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA VULCANIZAR COMPUESTOS DE CAUCHO CON UNA CAPACIDAD DE 300 TONELADAS, esta fuerza se emplea en un área de trabajo de 200mm x 200mm. [4]

Considerando que la presión sea la misma en la elaboración de todas las piezas. Mediante el cálculo de la presión necesaria para vulcanizar el caucho, se emplea la ecuación 1 según [14]

$$\sigma = F/A \quad (1)$$

Se tiene  $\sigma$  como esfuerzo normal, F es la fuerza de cierre, A es el área de sección.

Se obtiene la presión de 445 KPa, que se emplea en esta máquina, tomando como referencia el área de sección que tiene el buje prototipo, con dimensiones de Diámetro externo

de 2.5 in y diámetro interno de 0.5 in, posteriormente se procede a realizar los cálculos, para obtener la fuerza necesaria para la máquina de conformado de bujes.

Despejando la fuerza de la ecuación 1 se tiene.

$$F = \sigma * A \quad (2)$$

Con la presión obtenida y el área de trabajo para el buje se puede obtener la fuerza de cierre necesaria para emplear en la elaboración de bujes, es de  $F=1352$  N.

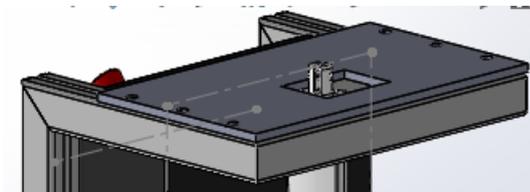
Tomando en cuenta el criterio de diseño a la fuerza de cierre se le agrega un 20%, dando una fuerza de 1622 N, sin embargo, no existe un actuador eléctrico que pueda suministrar esta carga, se determinó emplear una carga de 6000 N para el diseño de la estructura, ya que la máquina elaborara otros elementos con área máxima de  $32000 \text{ mm}^2$ .

### 2.2.2. DISEÑO DE ESTRUCTURA

Se emplea una estructura de tubo rectangular, ya que esta forma del tubo permite tener un momento de inercia mayor según sea la posición, como se instale en la estructura. La base de la estructura otorga soporte a la cámara de conformado y resistir el momento flector de la estructura de apoyo.

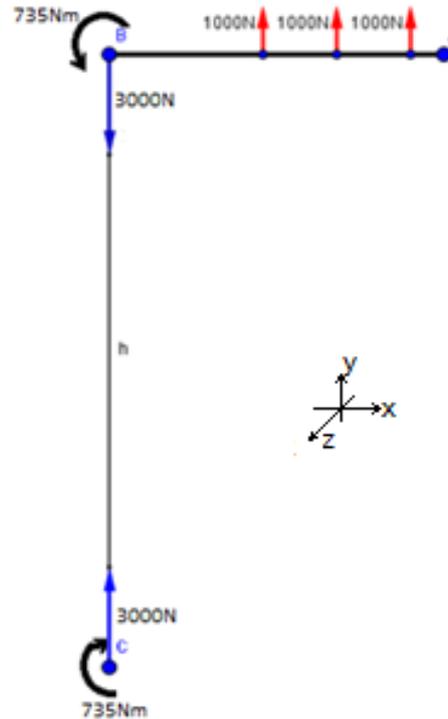
#### 2.2.2.1. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE ESTRUCTURA DE SOPORTE

La carga seleccionada de 6000 N se aplica directamente a una placa, está a su vez se sujeta por pernos a la estructura metálica, esta fuerza se divide para seis pernos, como se ve en la figura 9.



*Figura 9: soporte de base y actuador*

Cada perno soporta 1000N, separados cada 100 mm, esto se instala en una estructura con forma de L, la cual será la encargada de soportar la fuerza en toda la máquina. El diagrama de cuerpo libre se puede observar en la figura 10.



*Figura 10: Diagrama de cuerpo libre, estructura de soporte*

Tras haber resuelto el sistema, se obtiene una carga máxima de 3 kN y un momento máximo de 735 Nm, se determinó emplear un tubo rectangular, para aprovechar la inercia y elevar el FDS, tomando en cuenta el espesor del mismo. Determinando el punto crítico, se calcula los esfuerzos máximos, con el esfuerzo flector máximo con la ecuación 3 según [14].

$$\sigma = \frac{M*y}{I} \quad (3)$$

Se tiene que:  $\sigma$  es esfuerzo flector en la barra,  $M$  es momento máximo ejercido en el punto crítico,  $y$  es radio, o la longitud desde el eje de inercia hasta el punto crítico de la estructura,  $I$  es momento de inercia

El momento de inercia empleado en biga rectangular es  $I = \frac{B*H^3}{12} - \frac{b*h^3}{12}$  según [14].

Se obtuvo un esfuerzo flector máximo de 146 MPa,

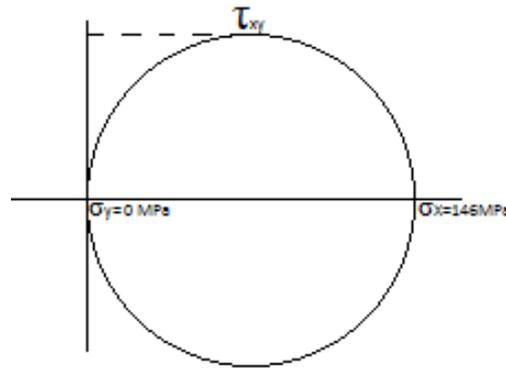


Figura 11: círculo de mohr, estructura.

En la figura 11 se puede observar los esfuerzos normales y cortantes, en la ecuación 4 según [15], se busca los esfuerzos primarios.

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \quad (4)$$

Se tiene  $\sigma_{1,3}$  como esfuerzos primarios,  $\sigma_x$  es esfuerzo normal en x,  $\sigma_y$  es esfuerzo normal en y,  $\tau_{xy}$  es esfuerzo cortante xy

De esto se obtuvo los esfuerzos principales  $\sigma_{1,3} = \pm 146$  MPa. Con la teoría de Von Mises se empleó la ecuación 5 según [15], para obtener el factor de seguridad (FDS).

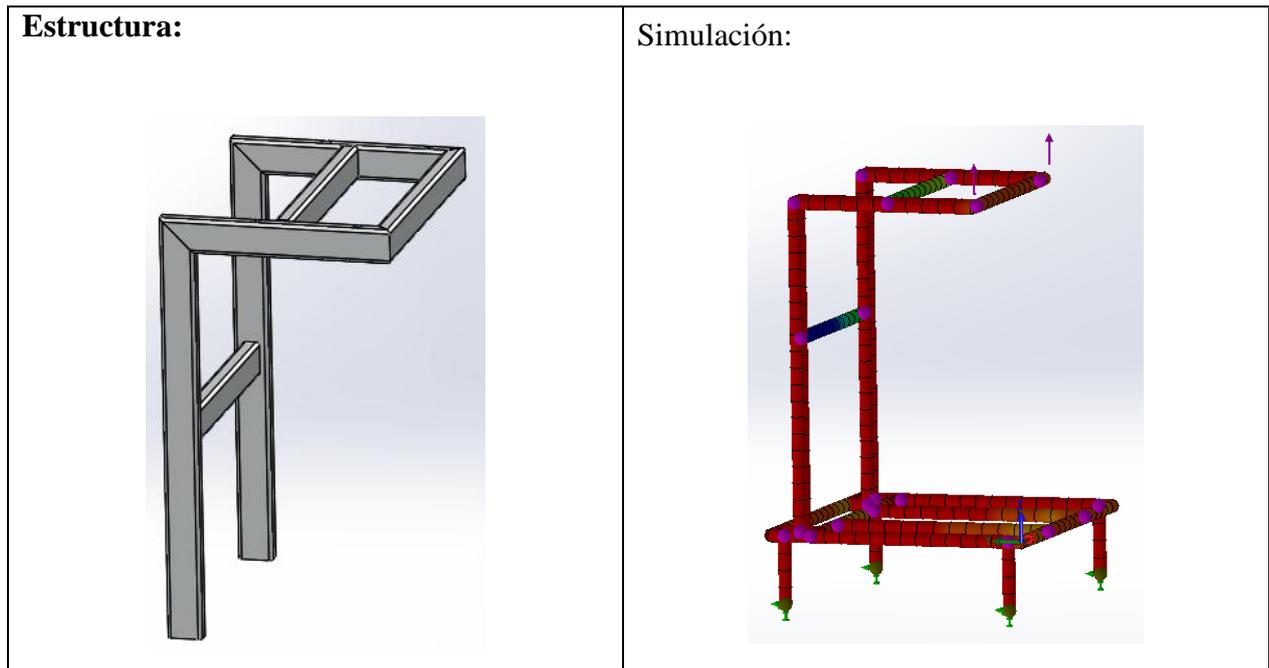
$$N = \frac{S_y}{\max|\sigma_1, \sigma_3|} \quad (5)$$

Se tiene, N es factor de seguridad,  $S_y$  es resistencia a la fluencia del material,  $\max|\sigma_1, \sigma_3|$  selecciona el esfuerzo primario de mayor valor.

Así se logró determinar los siguientes datos que se muestran en la tabla 23.

Tabla 23:  
estructura de soporte de actuador

<b>Elemento:</b>	<b>Tubo rectangular</b>	<b>Dimensiones:</b>	<b>50x25x3</b>
<b>Distribuidor:</b>	DIPAC	Calidad:	ASTM A-500
<b>Esfuerzo Teórico:</b>	146 MPa	Esfuerzo simulado:	134 MPa
<b>FDS:</b>	4.37	FDS:	3
<b>Sy:</b>	320 MPa	Sy (simulado):	325 MPa



### 2.2.3. DISEÑO BASE

La base de la máquina se diseñó para soportar el peso de la cámara de conformado y dar estabilidad a la estructura, se propone que la cámara de conformado tendrá un peso de 1000N.

Se determinó cargas distribuidas en cada barra, tomando en cuenta el momento flector producido por la estructura de soporte del actuador de 735 Nm y la viga de mayor longitud 500 mm.

#### 2.2.3.1. DIAGRAMA CUERPO LIBRE DE BASE

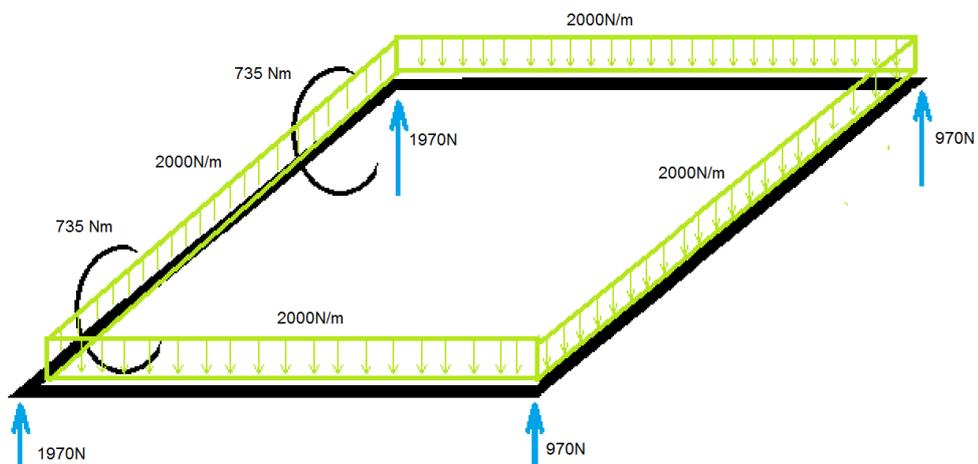


Figura 12: diagrama de cuerpo libre de estructura de base

Tras haber resuelto el sistema mostrado en la figura 12, se obtiene una carga máxima de 1970 N y un momento de 735 Nm, se determinó emplear un tubo rectangular, el mismo que se usa en la estructura del actuador, para aprovechar la inercia. Se calcula el esfuerzo flector máximo con la ecuación 3.

El momento de inercia empleado en biga rectangular usado es  $I = \frac{B \cdot H^3}{12} - \frac{b \cdot h^3}{12}$ . Se obtuvo un esfuerzo flector máximo de 136 MPa,

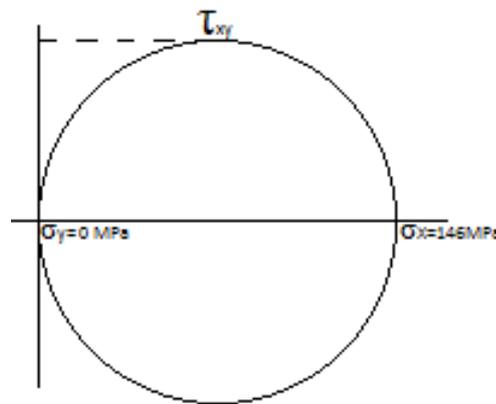


Figura 13: círculo de mohor de la estructura base

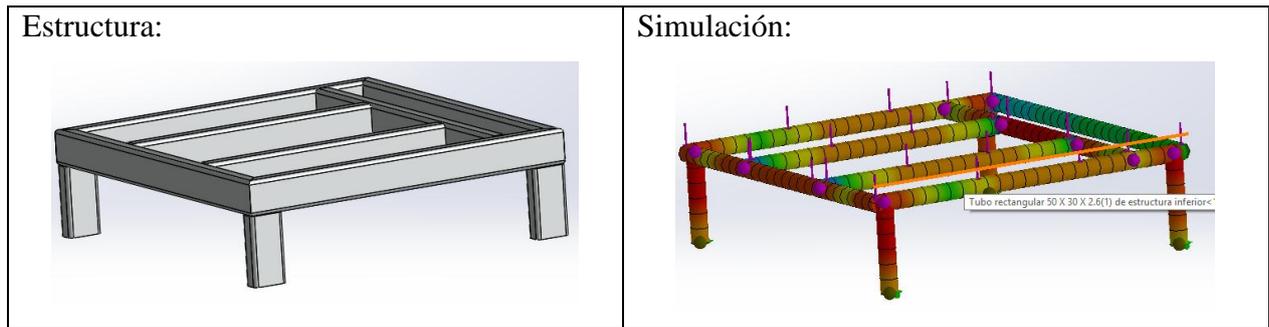
En la figura 13 se puede observar los esfuerzos normales y cortantes, en la ecuación 4 se busca los esfuerzos primarios.

De esto se obtuvo los esfuerzos principales  $\sigma_{1,3} = \pm 136$  MPa. Con la teoría de Von Mises se empleó la ecuación 5 para obtener el factor de seguridad (FDS).

Así se logró determinar los siguientes datos que se muestran en la tabla 24.

Tabla 24:  
estructura de soporte, Base

<b>Elemento:</b>	<b>Tubo rectangular</b>	<b>Dimensiones:</b>	<b>50x25x3</b>
<b>Distribuidor:</b>	DIPAC	Calidad:	ASTM A-500
<b>Esfuerzo Teórico:</b>	136 MPa	Esfuerzo simulado:	134 MPa
<b>FDS:</b>	2.18	FDS:	1.45
<b>Sy:</b>	320 MPa	Sy:	325 MPa



#### 2.2.4. DISEÑO DE PLACA BASE DE ACTUADOR

La base de anclaje del LA31, debe soportar la carga de 6000 N, esta se repartirá en 6 pernos colocados en los extremos de la placa, como se observa en la figura 14.

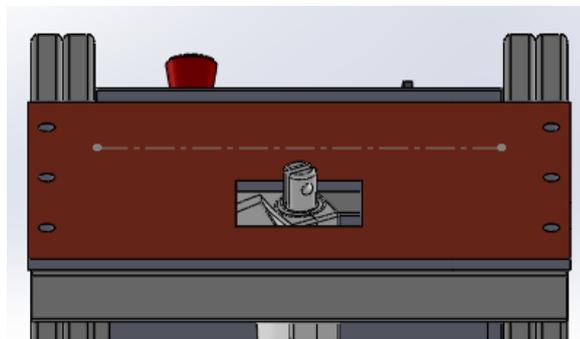


Figura 14: Placa base de actuador.

##### 2.2.4.1. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE PLACA BASE

Las cargas se reparten en cada perno, las reacciones tomadas en el DCL son de 3000 N cada una, equivalente a la suma de 3 pernos, como se muestra en la figura 15.

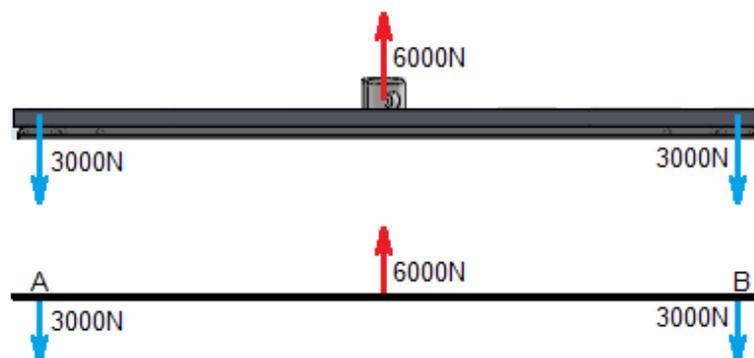


Figura 15: diagrama cuerpo libre de base de actuador.

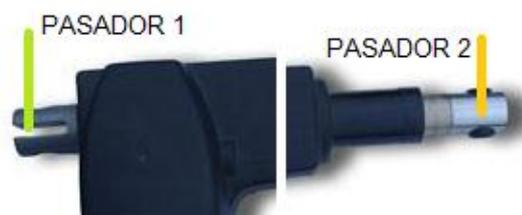
Una vez resuelto el DCL se obtiene una carga máxima de 3000N y un momento máximo de 607.5 Nm. Empleando la ecuación 3 se obtiene un momento flector máximo de 211.89 MPa y un momento cortante de 55.8 kPa. Empleando la ecuación 4 se obtiene los esfuerzos principales  $\sigma_{1,3} = \pm 211.95 \text{ MPa}$ .

Empleando la ecuación 5 de Von Mises, se emplea un  $S_y$  de material de 270 MPa, se obtiene un FDS de 1.28.

### 2.2.5. DISEÑO DE PASADORES

Para sujetar el actuador eléctrico lineal LA31 a la base y al vástago, se emplea pasadores, para evitar que exista juego entre el actuador y el pasador, este debe tener el diámetro de los orificios del actuador.

Se debe instalar dos pasadores, el pasador 1 en la base del actuador y el pasador 2 en el extremo del vástago, como se muestra en la figura 16.



*Figura 16: posición de pasadores en LA31.*

#### 2.2.5.1. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE

Se emplea el mismo diagrama de cuerpo libre para ambos pasadores, como se muestra en la figura 17, ya que estos estarán sujetos a las mismas cargas, sin embargo, el pasador 1 tiene las reacciones más cercanas a su centro, cambiando el valor del momento flector. Tomando en cuenta que el momento es “Fuerza \* distancia”, se realiza los cálculos en el pasador 2, ya que este presenta las mismas cargas, pero con el momento flector mayor.

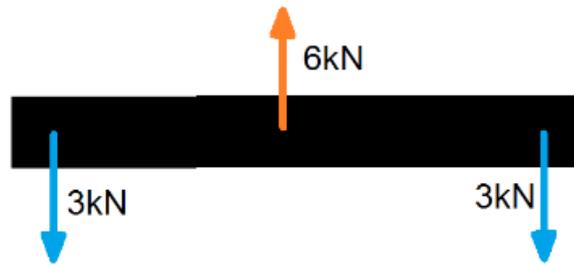


Figura 17: diagrama de cuerpo libre de pasador.

Una vez resuelto el DCL se obtiene una carga máxima de 3000N y un momento máximo de 82.5 Nm. Se emplea la ecuación 3, con un área de sección circular se calcula  $I = \frac{\pi r^4}{4}$ , y se obtiene un momento flector máximo de 60.78 MPa. Se utiliza la ecuación 4 con los esfuerzos principales  $\sigma_{1,3} = \pm 211.95 \text{ MPa}$ .

Empleando la ecuación 5 de Von Mises, se emplea un  $S_y$  de material de 225 MPa de un perno de acero al carbono, los pernos están diseñados a tracción y compresión, sin embargo, se toma como referencia el material que se usó para su fabricación para realizar los cálculos, se obtiene un FDS de 3.7.

Se toma en cuenta el valor del FDS y se emplea este perno, como pasador, en los dos casos, se toma en cuenta que estos permitirán la movilidad del actuador, evitando percances, en el momento de su activación.

#### 2.2.6. SELECCIÓN DE PERNOS PARA LA MAQUINA

Los pernos están diseñados para soportar cargas en tracción y compresión, en esto interviene tanto el área del roscado, como el área de la cabeza del perno, sin embargo, en algunos casos los pernos no están sujetos a selección por carga, estos se seleccionan de acuerdo a las dimensiones que debe tener, siempre y cuando la carga no sea mayor a la especificada por el fabricante.

Para este trabajo se determina tres tipos de pernos, los cuales se muestran en la tabla 25.

Tabla 25:  
tipos de pernos empleados

<b>Perno</b>	<b>Selección</b>	<b>Fuerza máxima</b>	<b>Numeración</b>
<i>Perno para la base del actuador</i>	<i>Carga soportada</i>	<i>1000N</i>	8.8
<i>Perno para la base de la cámara de conformado</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>N/A</i>	8.8
<i>Perno para las paredes externas de la cámara de conformado</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>N/A</i>	8.8

### 2.2.7. SELECCIÓN DE ACTUADOR

Tomando la fuerza que se emplea en la máquina, se ha seleccionado un actuador eléctrico lineal con una fuerza de cierre de 6000 N según catálogo Linak, el modelo LA31, cumple con los requisitos del proceso, la fuerza ejercida del actuador variara según el amperaje suministrado, el alcance del vástago es mayor al necesario y la velocidad de 4mm/s.

#### 2.2.7.1. FUERZA DE EMPUJE

La fuerza máxima suministrada por el actuador lineal es de 6000 N a 4.2 Amperios, esto se determina en la figura 18, con un paso de 4mm, según lo indica datos del fabricante.

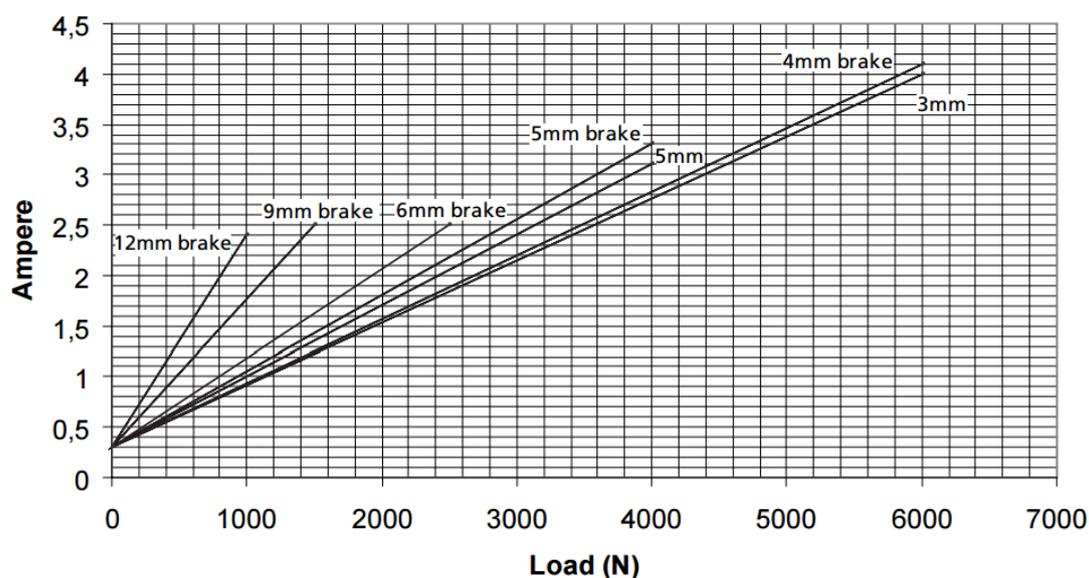


Figura 18: diagrama de fuerza/amperaje LA31  
Fuente: [16]

### 2.2.7.2. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente de alimentación para el actuador debe cumplir con ciertos requisitos, 24 Voltios y 4.5 Amperios. se ha seleccionado una fuente conmutada EBCHQ, La misma que cumple con los requisitos.

### 2.3. CÁMARA DE CONFORMADO

La cámara de conformado esta diseñada de forma que se pueda colocar aislante en sus paredes, y espuma de poliuretano dentro de los tubos de la estructura, el cual permite tener un bajo flujo térmico, lo cual permitirá mantener una acumulación de energía dentro de la cámara y una temperatura de 30°C según norma EPA [17].

#### 2.3.1. DISEÑO TÉRMICO

El análisis térmico ayuda a determinar el espesor del aislante térmico, para ello, según Beltrán determina la temperatura de fundición del caucho en un rango de 150 a 160 °C, sin embargo, se determina la temperatura para cálculos, en 200 °C [7].

Para realizar un análisis térmico adecuado, se debe determinar el tiempo de fundición, el aislante y su espesor,

#### 2.3.2. RESISTENCIA ELÉCTRICA

Para la generación de energía térmica se emplea resistencias eléctricas en espirales, las cuales tienen una resistencia de 13.5  $\Omega$ , las cuales al colocarse en paralelo dan una resistencia de 6.8  $\Omega$ , con un voltaje de 110 V, se tiene un trabajo eléctrico de 880 Watts empleando la ecuación 6.

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (6)$$

P es potencia empleada o el trabajo eléctrico en watts, V es voltaje en voltios, R es resistencia en ohmios.

Para determinar la cantidad de resistencias necesarias para formar la matriz térmica, debemos establecer cuál es la potencia que se debe emplear para fundir caucho, se emplea la ecuación de calorimetría. De la ecuación 7 según [18].

$$Q=m*c*\Delta T \quad (7)$$

Q es la cantidad de calor necesaria para fundir el caucho, m es masa del buje, dentro del molde, c es calor específico,  $\Delta T$  es la diferencia de temperatura que tendrá el material.

La masa se obtuvo con la densidad y el volumen empleando la ecuación 8 según [18].

$$m=\rho*V \quad (8)$$

Se tiene que m es masa,  $\rho$  es densidad y V es volumen.

Para esto se tiene, una masa de 0.383kg mientras, el calor específico del caucho obtenido del libro Tecnología de polímeros, es  $\left(2.01 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}\right)$ , con una diferencia de temperaturas de 143 grados centígrados [7].

Una vez obtenido un flujo de calor de 183.5 kJ, se realiza un análisis para el aislante térmico.

### 2.3.3. AISLANTE TÉRMICO

Se selecciona el aislante térmico de fibra de vidrio con un factor de conductividad térmica  $0.032 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ , se debe calcular el espesor que se va implementar. Mediante la ecuación 9 de conducción térmica, según [18].

$$Q = \frac{K*A*\Delta T}{L} \quad (9)$$

Q es el flujo de calor, K es el factor de conductividad del material, A es el área de resistencia,  $\Delta T$  es la diferencia de temperatura, L es el espesor de aislante.

De la ecuación 9 despejamos L, para conocer el espesor que debe tener, para un uso continuo durante la jornada de trabajo.

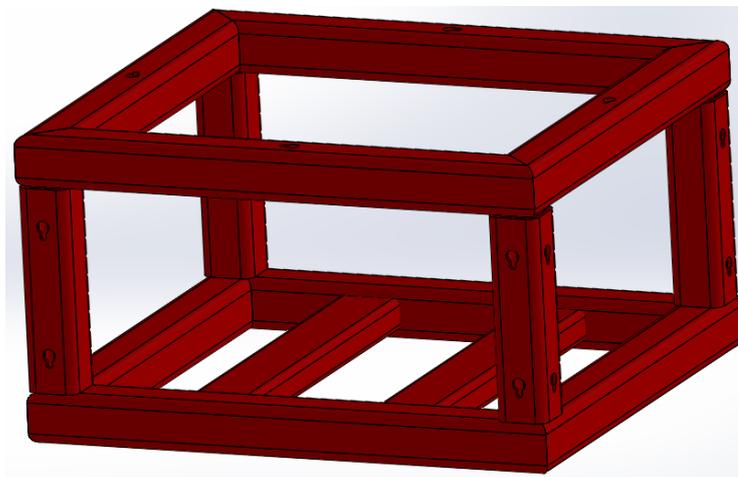
$$L = \frac{K*A*\Delta T}{Q} \quad (10)$$

Se obtiene un espesor de 33 mm para fibra de vidrio, esta permite tener 30 grados centígrados, en el exterior de la cámara de conformado.

la estructura hueca, podría ser un punto de fuga, para la energía térmica de la cámara de conformado, por lo tanto, se rellena de espuma de poliuretano, las cavidades.

#### 2.3.4. ESTRUCTURA DE CÁMARA DE CONFORMADO

Para la cámara de conformado se emplea un tubo cuadrado de 4x4 cm, las paredes tienen un espesor de 40 mm como se muestra en la figura 19, por ende, cumple el requisito de aislamiento térmico, especificado en la ecuación 10.



*Figura 19 : estructura de cámara de conformado*

La cámara de conformado debe cumplir con las dimensiones necesarias, la altura es mayor a la altura del molde, 6 pulgadas, el ancho debe albergar tanto el molde negativo como la matriz térmica, mayor a 300 mm, el largo alberga la matriz térmica, mayor a 250 mm.

#### 2.3.5. MATRIZ TÉRMICA

Para el diseño de la matriz térmica, se desea cumplir con algunos aspectos, debe dirigir el calor al molde, soportar la temperatura generada, aislar la electricidad en la resistencia de la cámara de conformado.

Para cumplir con estos requisitos, se determinó que la matriz debe ser de ladrillo, ya que este aísla la electricidad y tiene una alta conductividad térmica [19].

Se considera una matriz con forma de rectángulo, para que la cara en la que se coloca la resistencia eléctrica, permita sujetar las resistencias y calentar la matriz térmica.

Empleando la ecuación 10 se determina un espesor mínimo de las paredes de 5 mm.

#### 2.4. MOLDE NEGATIVO DE BUJE

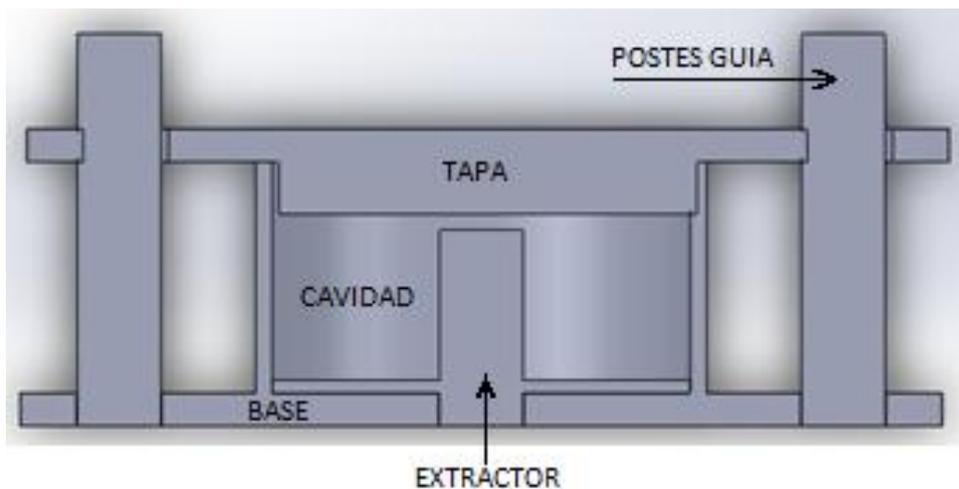
Para la producción de los elementos se emplea moldes negativos con dimensiones especificadas por el técnico de bujes. Para ello se emplea dos cubiertas que permiten aislar y comprimir el polvo triturado de caucho (PTC), como se muestra en la figura 20. Para determinar el espesor que la cámara que soporte el material comprimido, se emplea la ecuación 11.

$$t = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot S + 0.4 \cdot P} \quad (11)$$

Se obtiene un espesor de 3.1 mm empleando un metal con resistencia a la fluencia de 1.4 MPa, si se emplea materiales con mayor  $S_y$  el espesor se reduce.

Para el diseño de las guías, se considera emplear eje roscado, capaz de soportar cargas a tracción de 16 kN, con soldadura en la base inferior de cordón al contorno.

El molde se basa en un molde negativo mixto de presión positiva.



*figura 20: molde negativo*

En la tabla 26 se describe las partes del molde negativo y su función.

Tabla 26:  
*partes de molde negativo*

<b>Parte</b>	<b>Descripción</b>
<b>Tapa</b>	<i>Se diseñó para que pueda soportar la presión generada por el actuador, con perforaciones, para las guías y una saliente que será la encargada de ejercer presión sobre el material.</i>
<b>Asidero</b>	<i>El diseño no necesita de asidero.</i>
<b>Rebajo para abrir</b>	<i>El molde no necesita de un rebajo para su apertura.</i>
<b>Poste guía</b>	<i>Los postes guías son los encargados de que las tapas se mantengan en su posición conservando la presión ejercida en la cámara de conformado, ya que el perfil de buje es concéntrico, estos se encargan de que las placas encajen en sus posiciones.</i>
<b>Placa base</b>	<i>La placa base es la encargada de almacenar el PTC y darle forma, esta tiene las barras guías.</i>
<b>Cavidad</b>	<i>La cavidad se diseñó según las especificaciones de las medidas que debe tener el buje.</i>
<b>Ranura de escape</b>	<i>La ranura de escape no es necesaria, ya que el material sobrante caerá en los límites externos de la cavidad</i>
<b>Extractor</b>	<i>Esta es una pieza extra, servirá el propósito de empujar el buje, fuera de la base, una vez enfriado.</i>

## 2.5. SISTEMA DE CONTROL

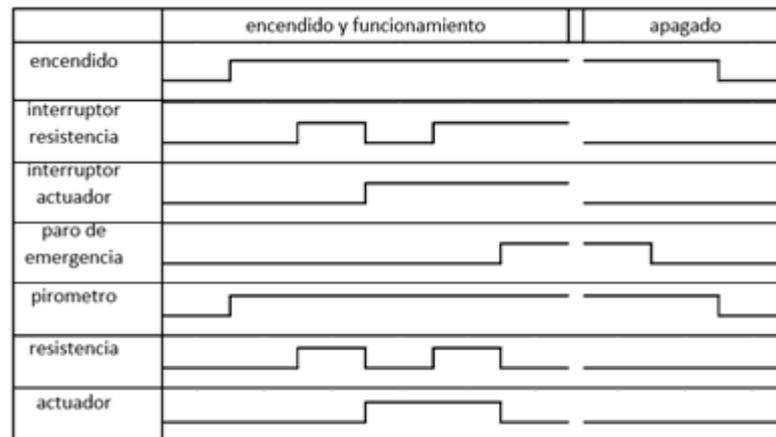
Se emplea un control de temperatura para la cámara de conformado, para el actuador eléctrico lineal un sistema de activación y activación invertida, según requerimientos del proceso, aspectos económicos y complejidad.

### 2.5.1. FASES DE ACTIVACIÓN

Se detalla los estados de los actuadores en relación a sus interruptores y el paro de emergencia, en la tabla 27 se clasifican los elementos, en la figura 21 se detalla las fases de activación de la máquina.

Tabla 27:  
*elementos de control*

<b>Tipo de elemento</b>	<b>Descripción de elemento</b>
<b>Interruptores</b>	<i>Interruptor de encendido Interruptor de resistencia Interruptor de LA31 Paro de emergencia.</i>
<b>Controlador</b>	<i>Pirómetro.</i>
<b>Actuadores</b>	<i>Actuador eléctrico lineal (LA31) Resistencias eléctricas</i>



*Figura 21: Fases de activación*

## 2.5.2. CIRCUITO ELÉCTRICO

Se implementa un circuito capaz de controlar el accionamiento de las resistencias eléctricas a 110V, activar e invertir el giro de motor del actuador a 24V, controlar un sistema de relés, para cumplir con las condiciones de activación. El circuito se muestra en el Anexo 1

### 2.5.2.1. SELECCIÓN DE ELEMENTOS

En el circuito eléctrico emplea Interruptores y luces piloto para 110V, la fuente de 24V a 4.5A utiliza relés para realizar conexiones para activación e inversión de giro, fuente de 5V a 1A controla y alimenta a los módulos relé, los cuales controlan la activación de luces piloto, actuador y resistencias eléctricas tipo bobina a 110V.

### 2.5.2.2. SELECCIÓN DE CABLEADO

Según la norma AWG de la figura 22, se determina que el cable número 14, soporta hasta 18 Amperios, este se usa en la primera sección del circuito, para alimentar toda la máquina y las resistencias eléctricas, para el cableado del actuador eléctrico se utiliza el cable 22, para 6 Amperios, el cableado de señales con alimentación de 5V y 1A emplea cable UTP.

Calibre AWG	Corriente soportada	Watts soportados 127V
18	10 Amperes	1270
16	13 Amperes	1651
14	18 Amperes	2286
12	25 Amperes	3175
10	30 Amperes	3810
8	40 Amperes	5080

*Figura 22: numeración de cableado AWG*

*Fuente: [20]*

### 2.5.3. CONTROL DE TEMPERATURA

Para el control de temperatura se emplea un Pirómetro como el de la figura 30, de marca EBCHQ del modelo 52580, es un control digital proporcional, con un tiempo de muestreo de 30seg, con rango de medición de 0 a 400 grados centígrados con una termocupla tipo J.

### 3. CAPITULO III: RESULTADOS

#### 3.1. PROTOCOLO DE PRUEBAS

El protocolo de pruebas, consiste en una serie de pruebas predefinidas y encaminadas a asegurar que satisfacen los objetivos y condiciones adecuadas para el conjunto del sistema. Realizar un examen completo de los elementos, módulos, equipos, cableado e interconexiones, sistemas de fijación. Este examen consistirá en el ajuste, comprobación, y verificación de las características mecánicas, eléctricas, de temporización, etc. Fijadas para cada tipo de elemento [21], [22].

Los elementos se dividen en mecánicos, eléctricos y electrónicos, maquinas en funcionamiento [23].

##### 3.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MAQUINA

En la tabla 28 se listan datos de la máquina de conformado.

Tabla 28:

*Características de Maquina*

<b>DATOS</b>	<b>INFORMACIÓN</b>
<b>Autor:</b>	<i>Nombre: Lenin Bedon Ubicación: Ibarra – Imbabura (EC) Telf: 0997410305</i>
<b>Tutor:</b>	<i>Nombre: Ing. Erazo Víctor. MSc. Ubicación: Ibarra – Imbabura (EC) Telf: 0984594032</i>
<b>Descripción máquina:</b>	<i>Conformadora de caucho en la producción de bujes, caliente y comprime PTC.</i>
<b>Materiales:</b>	<i>Metales: ASTM B-156, ASTM 500, ASTM B-152, ASTM 100. Electrónicos: modulo 4 relés, fuente 5V, fuente 24V Panel de control: luz piloto, interruptores de 2 y 3 posiciones, paro de emergencia Cableado: cable AWG 14, AWG 22, cable utp.</i>

##### 3.1.2. EQUIPOS DE MEDICIÓN

En la tabla 29 se listan los elementos de mediciones que se utiliza en el protocolo de pruebas.

Tabla 29:  
*equipos de medición*

EQUIPO	MAGNITUD	UNIDADES
<i>Multímetro</i>	<i>elemento de medición para voltajes y amperaje</i>	<i>Voltios (V), Amperios (A), Ohmios (<math>\Omega</math>).</i>
<i>Cronometro</i>	<i>elemento de medición de tiempo</i>	<i>Tiempo (s)</i>
<i>Flexómetro</i>	<i>medición de longitudes</i>	<i>Metro (m)</i>
<i>Termómetro</i>	<i>medición de temperatura</i>	<i>Celsius (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</i>

### 3.2. ESTADO DE EVALUACIÓN

Para realizar las pruebas se estable los estados de la máquina, los elementos que se someterán a prueba y los resultados esperados, mostrados en la tabla 30.

Tabla 30:  
*estados y resultados de las pruebas*

<b>ESTADO</b>	<b>ELEMENTO</b>	<b>RESULTADO ESPERADO</b>
<b><i>Máquina en funcionamiento normal</i></b>	<i>Actuador LA31.</i>	<i>Determinar si el actuador LA31 puede generar una fuerza mayor a 4000 N, necesaria para el conformado y una velocidad de 4mm/s.</i>
	<i>Resistencias eléctricas.</i>	<i>Determinar si las resistencias eléctricas pueden generar temperaturas entre 140 y 160 grados centígrados, y el tiempo que le tomaría.</i>
	<i>Relés</i>	<i>Determinar si los módulos relé, se pueden activar según las secuencias establecidas en las fases de activación.</i>
	<i>Cámara de conformado</i>	<i>Determinar si la cámara de conformado puede aislar, energía termina dentro de la cámara, manteniendo una temperatura inferior a 30 grados centígrados en el exterior.</i>
	<i>Fuentes de alimentación</i>	<i>Determinar si el sistema eléctrico suministra energía a la máquina, sin picos de corriente, o bajas de voltaje.</i>
<b><i>Máquina en paro de emergencia.</i></b>	<i>Actuador LA31.</i>	<i>Determinar si el actuador retorna a posición 0, una vez se active el paro de emergencia.</i>
	<i>Resistencias eléctricas.</i>	<i>Determinar si las resistencias eléctricas se desactivan, una vez se active el paro de emergencia.</i>

### 3.3. PRUEBAS

Las pruebas que se realiza debe confirmar el correcto funcionamiento de los elementos de la máquina.

FORMATO DE PRUEBA 1												
LUGAR:	Laboratorio de Mecánica						FECHA:	29 de mayo del 2017				
EQUIPO:	Máquina de conformado						EMPRESA:	UTN				
HORA INICIO:	10:01:00am						HORA FIN:	18:25:00 pm				
RESPONSABLE DE LA PRUEBA:	Lenin Bedon											
ESTADO DE PRUEBA:	Máquina en funcionamiento normal											
<p><b>OBJETIVO:</b> Determinar si el actuador LA31 puede generar una fuerza mayor a 4000 N, necesaria para el conformado y una velocidad de 4mm/s.</p> <p><b>METODOLOGÍA:</b> se emplea probetas de madera con una resistencia a la fluencia de 5 N/mm<sup>2</sup>, y área de 65 mm y 15 mm, con un espesor de 2cm. Mediante la ecuación 1, se determina que la probeta debe sufrir fractura con una fuerza entre 4.000 N y 6.000 N, la probeta se coloca en el centro del área de trabajo, con soportes en los extremos.</p> <p>Para la medición de la velocidad, se emplea una señal en el vástago, a una distancia de 4 cm de la pared externa de la cámara de conformado, una vez activado el actuador, se cronometra el tiempo que le toma a la señal, en desaparecer, una vez obtenidos los datos de calcula la velocidad, dividiendo la distancia para el tiempo.</p>												
ELEMENTO:	ASPECTO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	OBSERVACIONES
ACTUADOR LA31	FUERZA	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	Determinar si el actuador puede fracturar la probeta
	VELOCIDAD	3.89	4.02	3.9	4.2	4.5	3.9	4.0	4.0	4.3	4.33	Determinar la velocidad de activación, de LA31.
<b>RESULTADOS DE FUERZA</b> Se emplea 10 probetas para verificar la fuerza ejercida por el actuador LA31. Se determina que todas las probetas sufren ruptura, por lo cual la fuerza ejercida por el actuador es mayor a 4.000 N							<b>RESULTADOS DE VELOCIDAD</b> Los tiempos tomados, en el recorrer del actuador, muestran una velocidad promedio de 4,10 m/s. Se determina que la velocidad del actuador es la recomendada para el conformado.					

**OBJETIVO:** Determinar si las resistencias eléctricas pueden generar temperaturas entre 140 y 160 grados centígrados, y el tiempo que le toma.

**METODOLOGÍA:** para determinar si las resistencias, alcanzan la temperatura de 140, 150 y 160 grados centígrados, se activa las resistencias eléctricas, se marca la temperatura en el pirómetro, se cronometra el tiempo que le toma alcanzar la temperatura iniciando en 17

a 20 grados centígrados. Las mediciones se las realiza con la cámara de conformada cerrada.

ELEMENTO:	ASPECTO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	OBSERVACIONES
RESISTENCIA ELÉCTRICA	TEMPERATURA	60	80	100	120	140	150	160	170	180	190	Determinar si la resistencia eléctrica puede alcanzar la temperatura indicada.
	TIEMPO	10:00	13:56	15:15	18:23	21:12	26:11	27:19	29:55	33:47	38:03	Determinar el tiempo que le toma a las resistencias alcanzar la temperatura indicada

#### RESULTADO DE TEMPERATURA

La resistencia eléctrica es capaz de generar temperaturas de hasta 1400 °C, sin embargo, se toma mediciones del ambiente dentro de la cámara de conformado, se determina que las resistencias eléctricas, si pueden alcanzar las temperaturas marcadas en el pirómetro.

#### RESULTADOS DE TIEMPO

Para cada temperatura marcada, se toma mediciones del tiempo que le toma en alcanzar esta temperatura. Se determina que el incremento promedio de la temperatura es de 1 °C por cada 10 segundos.

**OBJETIVO:** Determinar si los módulos relé, se pueden activar según las secuencias establecidas en las fases de activación

**METODOLOGÍA:** se examina las fases de activación, y se realiza los procesos de activación, como activación de resistencias, activación de actuador y paro de emergencia. Se determina cada fase y determina si todas las fases se activan correctamente.

ELEMENTO:	ASPECTO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	OBSERVACIONES
MÓDULOS RELÉ	ACTIVACIÓN	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	Determinar si las fases de activación se cumplen.

#### RESULTADO:

En todos los intentos de activación del actuador eléctrico, este funciona correctamente, se determina que tanto la fuente de activación, como las conexiones, son las adecuadas.

**OBJETIVO:** Determinar si la cámara de conformado puede aislar, energía termina dentro de la cámara, manteniendo una temperatura inferior a 30 grados centígrados en el exterior.

**METODOLOGÍA:** para la medición de la temperatura externa de la cámara, se toma mediciones de temperatura con un termómetro electrónico, mientras se realiza la prueba de

calentamiento, la medición se toma cuando la resistencia alcance la temperatura determinada.

ELEMENTO:	ASPECTO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	OBSERVACIONES
CÁMARA DE CONFORMADO	TEMPERATURA EXTERNA	29	30	35	25	32	30	29	40	38	40	Determinar si la cámara de conformado puede mantener una temperatura externa inferior a 30 grados centígrados.

### RESULTADOS:

Se realiza mediciones de la temperatura externa de la cámara de conformado, los resultados obtenidos muestran que 7 de las 10 mediciones, son adecuadas para cumplir con la norma EPA, para hornos industriales de 1ra clase.

**OBJETIVO:** Determinar si el sistema eléctrico suministra energía a la máquina, sin picos de corriente, o bajas de voltaje.

**METODOLOGÍA:** Se toma mediciones de voltaje y amperaje, de las fuentes de 5V, 24V y 110V cada 30 min, para determinar si no existen caídas de voltaje o picos de amperaje.

ELEMENTO:	ASPECTO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	OBSERVACIONES
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	5V	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	Determinar si las fuentes de alimentación funcionan sin ningún inconveniente.
	1A	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	
	24V	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	
	4,5A	F	F	F	NF	F	F	F	F	F	F	
	110V	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	

El funcionamiento eléctrico de la máquina, demuestra ser idónea, lista para su funcionamiento, excepto una, en la cual se obtuvo un pico de amperaje, en el actuador eléctrico, esto resulto a causa de un mal posicionamiento del molde, esto causo que el actuador eléctrico accione su breaker interno y se desactive.

## FORMATO DE PRUEBA 2

LUGAR:	Laboratorio de Mecánica	FECHA:	04 de junio del 2017
EQUIPO:	máquina de conformado	EMPRESA:	UTN
HORA INICIO:	10:01:00am	HORA FIN:	13:01:00 pm
RESPONSABLE DE LA PRUEBA:	Lenin Bedon		
ESTADO DE PRUEBA:	MÁQUINA EN PARO DE EMERGENCIA		

**OBJETIVO:** Determinar si el actuador retorna a posición 0, una vez se active el paro de emergencia.

ELEMENTO:	ASPECTO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	OBSERVACIONES
ACTUADORLA31	RETORNO A POSICIÓN 0	si	Determinar si el actuador regresa a posición 0									

<b>RESULTADOS:</b> todos los accionamientos del paro de emergencia, resultaron exitosos, en el retorno a la posición 0 del actuador LA31.												
<b>OBJETIVO:</b> Determinar si las resistencias eléctricas se desactivan, una vez se active el paro de emergencia.												
ELEMENTO:	ASPECTO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	OBSERVACIONES
RESISTENCIA ELÉCTRICA	DESACTIVACIÓN	si	Determinar si las resistencias eléctricas se desactivan.									
<b>RESULTADOS:</b> todos los accionamientos del paro de emergencia, resultaron exitosos, en la desactivación de las resistencias eléctricas.												

FORMATO DE PRUEBA 3			
LUGAR:	Laboratorio de Mecánica	FECHA:	13 de junio del 2017
EQUIPO:	máquina de conformado	EMPRESA:	UTN
HORA INICIO:	18:32:00pm	HORA FIN:	02:045:00 am
RESPONSABLE DE LA PRUEBA:	Lenin Bedon		
ESTADO DE PRUEBA:	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO		
<b>OBJETIVO:</b> Determinar si la maquina funciona sin inconvenientes en una jornada laboral (8 horas)			
<b>RESULTADOS:</b> la prueba se realizó sin inconvenientes, se conformó 7 bujes, de los cuales 2 mostraron imperfecciones, a causa de los porcentajes de PTC.			

### 3.4. PORCENTAJES

Para el conformado de bujes se realiza diversas pruebas, variando la temperatura a la cual se funde el PTC, el tiempo que se somete a la temperatura de fundición, el porcentaje de PTC que se coloca en el molde, aditamentos químicos en la mezcla y resultados obtenidos. Estas pruebas se muestran en el anexo 2.

## 4. CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

El análisis funcional es una herramienta muy útil, para determinar un diseño inicial, sin embargo, al momento de la construcción de la estructura se presentaron problemas, por tal motivo el diseño inicial se debe someter a pequeños cambios para obtener un producto final de buena calidad.

Se empleó una estructura compuesta por una base y una en forma de L, ya que estas emplean una menor cantidad de material, aportan un mayor factor de seguridad y permite emplear la compresión posterior, presentan una mejor presentación de la máquina, su diseño y construcción son más versátiles.

Se determina emplear una estructura empleando un tubo rectangular, para aprovechar la inercia que se tiene en su lado más largo, esto se emplea para contrarrestar los momentos flectores y cargas cortantes.

Se emplea una matriz térmica de dos resistencias, ya que estas cumplen con las temperaturas requeridas para la fundición de caucho, comprendidas entre las 150 y 180 grados centígrados, y emplear más resistencias sería un sobredimensionamiento del generador de temperatura.

La espuma de poliuretano permite sellar las fugas de la cámara de conformado.

El Protector del vástago resiste la fuga de calor, sin embargo, la transmisión de energía térmica, calienta el vástago del actuador, esto conllevaría a tener posibles problemas con el actuador y un peligro de quemaduras para el usuario.

La construcción final de la máquina de conformado, con una carga máxima de 6 KN y una temperatura máxima de fundición de hasta 180 grados centígrados, permite elaborar bujes con una compresión de 400% del volumen, permitiendo soportar cargas de hasta 4 KN.

#### 4.2. Recomendaciones

Se debe emplear un metal con un coeficiente de conductividad térmica menor, para el protector del vástago.

Se recomienda emplear un interruptor de inversión, para el control del actuador.

Se recomienda emplear 4 resistencias a 220 V, lo cual incrementa el índice de calefacción y reduce el amperaje consumido.

Se recomienda reducir el tamaño de los agujeros de sujeción de las bases de los moldes.

El área de trabajo se puede aumentar, si se coloca la matriz térmica en las paredes.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. N. A. MARÍA, ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS ENTRE EL ADOQUÍN CONVENCIONAL Y EL ADOQUIN DE CAUCHO, Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, 2015.
- [2] E. S. Linto, Interviewee, *Supervisora de Proyectos*. [Entrevista]. 20 08 2016.
- [3] CONTITECH, MANUAL DE EMPALMES VULCANIZADOS, n/a: n/a, 2013.
- [4] H. G. Gutiérrez Andrade, Prensa hidráulica para vulcanizar compuestos de caucho, Quito: Universidad Politécnica Salesiana de Quito (Tesis previa a la obtención del título de ingeniero mecánico), 2009.
- [5] R. E. ARIZAGA BRAVO, REUTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DEL LABRADO DE NEUMÁTICOS PARA CAMINERIAS DE PARQUES, CUENCA: UNIVERSIDAD DEL AZUAY - trabajo de pregrado, 2015.
- [6] R. A. d. I. L. Española, «Real Academia de la Lengua Española,» 20 12 2016. [En línea].
- [7] M. Beltrán y A. Marcilla, Tecnología de polímeros, Alicante: Universidad de Alicante, 2012.
- [8] D. R. Lide, Handbook of Chemistry and Physics, N/A: CRC, 2009.
- [9] M. R. Laredo Garnica, Desarrollo de material plástico aditivado con caucho, Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya, 2009.
- [10] FAVENPA, «COVENIN 914,» de *Automotriz. Amortiguadores Hidráulicos Tipo Telescopio.*, CAVENEZ (Norma Técnica), 1997, p. 4ta Revisión.
- [11] A. P. Váscquez Ortiz, Universitat Politècnica de Catalunya, 2013.
- [12] C. R. Romeva, Diseño concurrente, Catalunya: politext, 2002.
- [13] J. M. Bermejo Muñoz, J. Gallego Medina y L. Saiz Rodríguez, «Guía para la fabricación de betunes con polvo de neumático,» *SIGNUS*, p. 35, 2014.
- [14] P. Ferdinand Beer, E. Russell Johnston y J. DeWolf, MECÁNICA DE MATERIALES, Mexico: Mc Graw Hill, 2004.
- [15] R. G. B. K. NISBETT, DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY, Mexico: Mc Graw Hill, 2006.

- [16] D. reservados, «LINAK,» 25 mayo 2017. [En línea]. Available: [http://www.linak-  
latinamerica.com/](http://www.linak-latinamerica.com/). [Último acceso: 15 enero 2017].
- [17] E. Delgado Plaza y A. Barriga Rivera, DIMENSIONAMIENTO DE UN HORNO PARA LA ELIMINACION DE DESECHOS HOSPITALARIOS EN ZONAS RURALES CON MINIMIZACION DE CONTAMINANTES EN LA FUNETE, Washintong, 2006.
- [18] Y. A. C. M. A. BOLES, TERMODINAMICA, MEXICO: MCGRAW HILL, 1996.
- [19] INMAICO, Aislamiento térmico para hornos de alta temperatura..
- [20] D. Reserv., «SONARMX,» [En línea]. Available: <http://sonarmx.com/blog/2012/04/como-elegir-tus-extensiones-electricas-o-cables-de-corriente/>. [Último acceso: 10 marzo 2017].
- [21] G. VASCO, Protocolo de pruebas y medidas para el mantenimiento preventivo asociado al expediente, VAZCA: BIZKAIA, 2008.
- [22] S. MUESES, Maquina trituradora de caucho, Ibarra: UTN, 2017.
- [23] A. LARA, PRUEBAS Y MANUAL DE USUARIO, QUITO: ESPE, 2014.
- [24] UMSS – Facultad de Ciencias y Tecnología, MOLDEO POR COMPRESIÓN Y TRANSFERENCIA, N.A.: N.A., 2012, p. 129.
- [25] R. J. Crawford y B. Heinemann, Plastics Engineering, vol. 3ra Edicion, Oxford, 1999.
- [26] D. A. Corzo Ponce, Máquina semiautomática para la fabricación de adoquines, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2011.
- [27] COGUANOR, NORMA TECNICA GUATEMALTECA, Guatemala : Comisión Guatemalteca de Normas, 2008.
- [28] D. Gomez Mora, Estudio de pluma telescópica para grúa autopropulsada, 2012.
- [29] S. Velásquez y D. Giraldo, Caracterización y evaluación del tiempo de vulcanización de caucho natura colombiano obtenido de tres variedades clonales de hevea brasiliensis, Antioquia: Artículo Cientifico, 2014.
- [30] J. C. Casillas Samperio y S. Hernández Osnaya, Módulo Didáctico de Trituración de PET controlado por Controlador Lógico Programable, Mexico D.F.: Instituto Politécnico Nacional , 2014.
- [31] TEMPCO (Electric Heater Corporation), «TEMPCO,» 25 Agosto 2016. [En línea]. Available: [www.tempeco.com](http://www.tempeco.com). [Último acceso: 25 Septiembre 2016].

- [32] a. Ministerio de medio, Manual de empleo de caucho de NFU, Mexico: Ministerio de Fomento - CEDEX, 2007.
- [33] C. GUILLERMO, REUTILIZACION, RECICLADO Y DISPOSICION FINAL DE NEUMATICOS, N/a: Departamento de Ingenieria Mecanica F.I.U.B.A., 2007.
- [34] E. H. CORREA MANO SALVAS, Analisis de los elementos elastomeros utilizados en aisladores y neoprenos, Sangolqui: Escuela Politecnica del Ejercito-Tesis previa a la obtencion del titulo , 2011.
- [35] I. G. CASTRO, MATERIALES Y COMPUESTOS PARA LA INDUSTRIA DEL NEUMATICO, N/A: Departamento de ingenieria mecanica F.I.U.B.A., 2008.
- [36] FESTO, Cilindros electricos ESBF, FESTO-Manual.
- [37] G. Fragoso Pissiotti y E. Prieto Parrado, Diseno y Construccion de Maquina Vulcanizadora de Caucho Automatizada, Bogota: Unversidad de San Buenavista, 2009.
- [38] H. Diaz, Proceso de Transferencia de Calor, 2005.