



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CORTADORA HIDRÁULICA DE  
CAUCHO CRUDO PARA LA OBTENCIÓN DE PLANCHAS EMPLEANDO UNA  
GUILLOTINA CON CONTROL DE TEMPERATURA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingenieros en Mecatrónica

**AUTORES: KEVIN ANDRÉS ACHIG TOAPANTA**

**FELIPE ALEXANDER CRUZ GUTIÉRREZ**

**TUTOR: RENÉ PATRICIO QUITIAQUÉZ SARSOZA**

Quito - Ecuador

2023

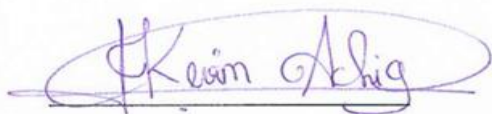
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Kevin Andrés Achig Toapanta** con documento de identificación N°1720925765 y **Felipe Alexander Cruz Gutiérrez** con documento de identificación N°1726179078, manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación

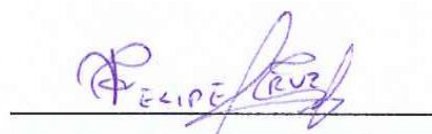
Quito, 26 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Kevin Andrés Achig Toapanta

1720925765



Felipe Alexander Cruz Gutiérrez

1726179078

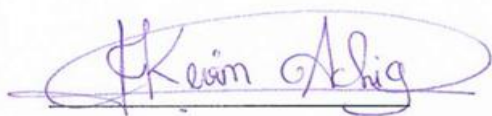
## CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, **Kevin Andrés Achig Toapanta** con documento de identificación N° 1720925765 y **Felipe Alexander Cruz Gutiérrez** con documento de identificación N° 1726179078, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores para el desarrollo de un Dispositivo tecnológico: “Diseño y construcción de una cortadora hidráulica de caucho crudo para la obtención de planchas empleando una guillotina con control de temperatura”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

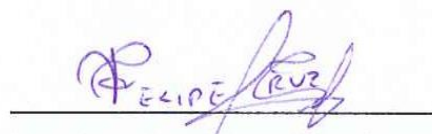
Quito, 26 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Kevin Andrés Achig Toapanta

1720925765



Felipe Alexander Cruz Gutiérrez

1726179078

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, René Patricio Quitiaquéz Sarsoza con documento de identificación N° 1710597269, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CORTADORA HIDRÁULICA DE CAUCHO CRUDO PARA LA OBTENCIÓN DE PLANCHAS EMPLEANDO UNA GUILLOTINA CON CONTROL DE TEMPERATURA, realizado por **Kevin Andrés Achig Toapanta** con documento de identificación N°1720925765 y por **Felipe Alexander Cruz Gutiérrez** con documento de identificación N°1726179078, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de un Dispositivo tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 26 de septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Ing. René Patricio Quitiaquéz Sarsoza, MSc.

1710597269

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios que nos ha permitido perseverar en el camino de la educación gracias a la fuerza y determinación que nos ha proporcionado. También nos sentimos agradecidos con nuestros padres y seres queridos, quienes siempre han estado a nuestro lado brindándonos motivación y respaldo incondicional durante todo nuestro proceso formativo.

La Universidad Politécnica Salesiana y su distinguida docencia son merecedores de una gratitud infinita por habernos equipado con habilidades y conocimientos de alta calidad, lo que nos ha permitido forjar un futuro prometedor en un mercado altamente competitivo gracias a una formación técnica.

Nuestro tutor el Ingeniero René Patricio Quitiaquéz Sarsoza quien merece el más profundo agradecimiento, por su valiosa aportación y su dedicación incansable para la finalización de este proyecto. Con su vasta experiencia y gran compromiso logramos alcanzar los objetivos planteados de manera exitosa.

De igual manera nuestro sincero agradecimiento a la empresa Resist Caucho S.A por brindarnos la oportunidad de realizar nuestra investigación e implementación en su renombrada institución. También nos gustaría expresar nuestro agradecimiento a todas las personas en general que contribuyeron al éxito de la obtención de nuestro título profesional.

¡Muchas gracias!

Kevin Achig – Felipe Cruz

## DEDICATORIA

En esta dedicatoria quiero expresar mi gratitud y agradecimiento hacia mis padres Sonia y Milton, Steven mi hermano, familia en general, amigos y seres queridos. Que me han apoyado durante todo este proceso de obtención de mi carrera profesional, y elaboración de mi trabajo de titulación. Reconozco que sin su apoyo no hubiera sido posible alcanzar esta meta en mi vida académica.

También quiero expresar mi sincera gratitud hacia los educadores que me brindaron valiosos conocimientos en los campos científicos y en la vida misma. Les agradezco profundamente por su dedicación y compromiso en mi formación.

Es importante mencionar que durante este proceso he aprendido la importancia de tener una actitud positiva y sobre todo perseverante, sin importar las dificultades que se presentan en la vida. Estoy seguro de que estas enseñanzas me servirán en mi futuro profesional y personal.

No hay barreras que no pueda superar con dedicación, esfuerzo y la ayuda de las personas que me rodean.

¡Gracias a todos!

Kevin Andrés Achig Toapanta

Este trabajo va dedicado a mi padre Luis Cruz que desde el cielo siempre estará conmigo acompañándome y guiándome en cada momento de mi vida y mi mamá Clara Gutiérrez que nunca dejó que me rindiera en las circunstancias más difíciles. A mi madrina Esperanza Gutiérrez por sus consejos para salir adelante y ser mejor cada día; a mi abuelito José que estuvo apoyándome en las buenas y las malas; a mis hermanas, por su cariño y respaldo incondicional. A mi tío Jaime Gutiérrez y primo Jefferson Chiguano quienes me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito, en especial a todos aquellos que me compartieron sus conocimientos.

Felipe Alexander Cruz Gutiérrez

## ÍNDICE

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA .....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
DEDICATORIA.....	VI
ÍNDICE .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XVIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	2
OBJETO DE ESTUDIO .....	2
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
OBJETIVOS.....	2
OBJETIVO GENERAL .....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
HIPÓTESIS DEL PROYECTO O LA INVESTIGACIÓN.....	3
ALCANCE DEL PROYECTO .....	3
DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS CAPÍTULOS DEL PROYECTO O DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
CAPÍTULO I.....	5
MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO SOBRE EL PROYECTO .....	5

<b>1.1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2</b>	<b>Marco teórico de la investigación .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1</b>	<b>Antecedentes de la investigación.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3</b>	<b>Fundamentación de la investigación .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3.1</b>	<b>Análisis de alternativas.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1.1</b>	<b>Trituradora de 2 ejes (Alternativa 1).....</b>	<b>8</b>
<b>1.3.1.2</b>	<b>Corte por cizalla (Alternativa 2). .....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.1.3</b>	<b>Guillotina hidráulica (Alternativa 3).....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.1.4</b>	<b>Fuerza física manual (Alternativa 4). .....</b>	<b>10</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Cuadros comparativos de selección de alternativas .....</b>	<b>11</b>
<b>1.4</b>	<b>Aspectos teóricos fundamentales .....</b>	<b>12</b>
<b>1.4.1</b>	<b>Caracterización del caucho. ....</b>	<b>12</b>
<b>1.4.1.1</b>	<b>Caucho natural. ....</b>	<b>12</b>
<b>1.4.1.2</b>	<b>Caucho sintético.....</b>	<b>12</b>
<b>1.4.1.3</b>	<b>Vulcanización.....</b>	<b>13</b>
<b>1.4.1.4</b>	<b>Propiedades del caucho natural y sintético. ....</b>	<b>13</b>
<b>1.4.2</b>	<b>Elementos constitutivos del sistema mecánico. ....</b>	<b>13</b>
<b>1.4.2.1</b>	<b>Esfuerzos en los cuerpos estáticos .....</b>	<b>13</b>
<b>1.4.2.2</b>	<b>Acero estructural .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4.2.3</b>	<b>Tipos de acero estructural .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4.2.4</b>	<b>Vigas.....</b>	<b>17</b>
<b>1.4.2.5</b>	<b>Factor de seguridad .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4.2.6</b>	<b>Procesos más comunes de soldadura. ....</b>	<b>17</b>
<b>1.4.2.6.1</b>	<b>Soldadura SMAW .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4.2.6.2</b>	<b>Soldadura GMAW .....</b>	<b>18</b>
<b>1.4.2.7</b>	<b>Soldadura para uniones permanentes .....</b>	<b>18</b>
<b>1.4.2.8</b>	<b>Juntas de unión desmontable.....</b>	<b>19</b>



1.4.2.9	Cuchilla de corte para guillotina.....	20
1.4.3	Sistema hidráulico.....	20
1.4.3.1	Ley de pascal .....	21
1.4.3.2	Motor eléctrico.....	21
1.4.3.3	Bomba hidráulica. ....	22
1.4.3.4	Filtro. ....	22
1.4.3.5	Válvulas hidráulicas. ....	23
1.4.3.6	Cilindro hidráulico. ....	23
1.4.3.6.1	Cilindro hidráulico simple efecto (CSE). ....	23
1.4.3.6.2	Cilindro hidráulico doble efecto (CDE). ....	24
1.4.3.7	Tanque de almacenamiento. ....	25
1.4.3.8	Manguera hidráulica.....	26
1.4.4	Sistema de control eléctrico.....	26
1.4.4.1	Ley de Ohm .....	26
1.4.4.2	Resistencia calentadora.....	27
1.4.4.3	Pirómetros.....	27
1.4.4.4	Sensor de temperatura.....	28
1.4.4.5	Aislante térmico.....	29
1.4.4.6	Contactador.....	29
1.4.4.7	Guardamotor. ....	29
1.4.4.8	Elementos de señalización.....	30
1.4.4.9	Paro de emergencia. ....	30
1.4.5	Normas de seguridad industrial para trabajos en altas temperaturas .....	31
1.5	Conclusiones del capítulo. ....	31
<b>CAPÍTULO II .....</b>		<b>32</b>
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>		<b>32</b>
2.1	Introducción .....	32

<b>2.2</b>	<b>Diseño de la investigación.....</b>	<b>32</b>
<b>2.3</b>	<b>Modalidad de la investigación.....</b>	<b>32</b>
<b>2.4</b>	<b>Diagrama causa – efecto.....</b>	<b>34</b>
<b>2.5</b>	<b>Operacionalización de las variables .....</b>	<b>34</b>
<b>2.6</b>	<b>Técnicas e instrumentos .....</b>	<b>35</b>
<b>2.6.1</b>	<b>Diseño mecánico .....</b>	<b>35</b>
<b>2.6.1.1</b>	<b>Análisis estáticos .....</b>	<b>35</b>
<b>2.6.1.2</b>	<b>Elección del material y tipo de viga .....</b>	<b>37</b>
<b>2.6.1.3</b>	<b>Factor de seguridad.....</b>	<b>38</b>
<b>2.6.1.4</b>	<b>Proceso de soldadura con arco eléctrico.....</b>	<b>38</b>
<b>2.6.1.5</b>	<b>Unión por pernos .....</b>	<b>38</b>
<b>2.6.1.6</b>	<b>Cuchilla para la guillotina .....</b>	<b>38</b>
<b>2.6.1.7</b>	<b>Plancha portacuchilla.....</b>	<b>39</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Sistema hidráulico.....</b>	<b>39</b>
<b>2.6.2.1</b>	<b>Motor de inducción trifásico.....</b>	<b>39</b>
<b>2.6.2.2</b>	<b>Manómetro analógico.....</b>	<b>40</b>
<b>2.6.2.3</b>	<b>Filtro de línea de retorno .....</b>	<b>40</b>
<b>2.6.2.4</b>	<b>Tanque de almacenamiento y aceite hidráulico.....</b>	<b>41</b>
<b>2.6.2.5</b>	<b>Válvula hidráulica .....</b>	<b>41</b>
<b>2.6.2.6</b>	<b>Cilindro hidráulico .....</b>	<b>42</b>
<b>2.6.2.7</b>	<b>Mangueras hidráulicas.....</b>	<b>42</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Sistema eléctrico y de control.....</b>	<b>42</b>
<b>2.6.3.1</b>	<b>Dispositivo para calentamiento de cuchilla .....</b>	<b>42</b>
<b>2.6.3.2</b>	<b>Pirómetro.....</b>	<b>43</b>
<b>2.6.3.3</b>	<b>Aislante térmico .....</b>	<b>44</b>
<b>2.6.3.4</b>	<b>Contactador .....</b>	<b>44</b>
<b>2.6.3.5</b>	<b>Guardamotor trifásico .....</b>	<b>45</b>

2.6.3.6	Elementos de señalización.....	45
2.6.3.7	Dispositivos de seguridad.....	45
2.7	Conclusión del capítulo.....	46
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>47</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>		<b>47</b>
3.1	Introducción .....	47
3.2	Descripción de la situación actual .....	47
3.3	Cálculos y Selección .....	47
3.3.1	Ensayo de corte del caucho crudo .....	47
3.3.2	Fuerza de corte de la cuchilla .....	48
3.3.3	Cálculo del peso total de la guillotina.....	49
3.3.4	Selección del sistema hidráulico .....	50
3.3.5	Cálculo de potencia del motor .....	51
3.3.6	Cálculos de pernos .....	52
3.3.7	Esfuerzo cortante .....	55
3.3.8	Resistencia de la cuchilla .....	56
3.3.9	Cálculos de soldadura.....	56
3.3.10	Soporte mecánico .....	59
3.3.11	Controlador por histéresis para la planta .....	60
3.4	Selección del cableado.....	61
3.4.1	Cableado del motor.....	61
3.4.2	Cableado de la niquelina y pirómetro.....	62
3.5	Conexiones del sistema eléctrico.....	62
3.6	Conclusiones del capítulo .....	64
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>65</b>
<b>ANÁLISIS ECONÓMICO.....</b>		<b>65</b>
4.1	Introducción .....	65

<b>4.2</b>	<b>Comprobación de la hipótesis .....</b>	<b>65</b>
<b>4.3</b>	<b>Comprobación de Resultados .....</b>	<b>65</b>
<b>4.4</b>	<b>Manual de Operación y mantenimiento .....</b>	<b>66</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Montaje de la máquina .....</b>	<b>66</b>
<b>4.4.1.1</b>	<b>Sistema hidráulico .....</b>	<b>66</b>
<b>4.4.1.2</b>	<b>Sistema mecánico .....</b>	<b>66</b>
<b>4.4.1.3</b>	<b>Sistema eléctrico y de control .....</b>	<b>67</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Instrucciones de seguridad .....</b>	<b>68</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Accionamiento de la máquina .....</b>	<b>68</b>
<b>4.4.4</b>	<b>Mantenimiento .....</b>	<b>69</b>
<b>4.4.4.1</b>	<b>Mantenimiento del sistema hidráulico .....</b>	<b>69</b>
<b>4.4.4.2</b>	<b>Mantenimiento de la cuchilla .....</b>	<b>69</b>
<b>4.4.4.3</b>	<b>Mantenimiento del sistema eléctrico .....</b>	<b>69</b>
<b>4.5</b>	<b>Análisis de costos de la implementación del proyecto .....</b>	<b>70</b>
<b>4.5.1</b>	<b>Costos directos .....</b>	<b>70</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Costos indirectos .....</b>	<b>70</b>
<b>4.6</b>	<b>Justificación de costos .....</b>	<b>70</b>
<b>4.7</b>	<b>Análisis económico .....</b>	<b>71</b>
<b>4.7.1</b>	<b>VAN .....</b>	<b>71</b>
<b>4.7.2</b>	<b>TIR .....</b>	<b>72</b>
<b>4.8</b>	<b>Conclusiones del capítulo .....</b>	<b>72</b>
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>74</b>
	<b>RECOMENDACIONES: .....</b>	<b>75</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>76</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Fig. 1</b> Diagrama causa-efecto de las posibles problemáticas. ....	6
<b>Fig. 2</b> Secuencia del proceso de producción.....	7
<b>Fig. 3</b> Trituradora de 2 ejes [4]. ....	8
<b>Fig. 4</b> Cizalla mecánica de pedal [5]. ....	9
<b>Fig. 5</b> Guillotina hidráulica de caucho [7]. ....	10
<b>Fig. 6</b> Corte manual de caucho. ....	11
<b>Fig. 7</b> Barras prismáticas sometidas a tensión y compresión. [18].....	14
<b>Fig. 8</b> Esfuerzo cortante simple. [18].....	14
<b>Fig. 9</b> Esfuerzo por torsión. [18].....	15
<b>Fig. 10</b> Esfuerzo por flexión. [18] .....	15
<b>Fig. 11</b> Formación del arco en el proceso SMAW [23].....	17
<b>Fig. 12</b> Proceso GMAW [23].....	18
<b>Fig. 13</b> Soldadura a tope [24]. ....	18
<b>Fig. 14</b> Soldadura con filete [24]. ....	19
<b>Fig. 15</b> Sujeción de perno [25]. ....	19
<b>Fig. 16</b> Ley de Pascal [26]. ....	21
<b>Fig. 17</b> Motor eléctrico. [1].....	21
<b>Fig. 18</b> Despiece de una bomba hidráulica [28]. ....	22
<b>Fig. 19</b> Gama de filtros hidráulicos [28].....	23
<b>Fig. 20</b> Válvula hidráulica [29].....	23
<b>Fig. 21</b> Partes internas de un cilindro de simple efecto [27] .....	24
<b>Fig. 22</b> Partes internas de un cilindro de doble efecto [27] .....	24
<b>Fig. 23</b> Esquema de un tanque hidráulico [28]. ....	26
<b>Fig. 24</b> Composición interna de la manguera hidráulica [30]. ....	26
<b>Fig. 25</b> Tipos de pirómetros [36] .....	28
<b>Fig. 26</b> Componentes de un termistor [38] .....	28
<b>Fig. 27</b> Sensores RTD [38] .....	28
<b>Fig. 28</b> Termocupla tipo J [38] .....	29
<b>Fig. 29</b> Contactador .....	29
<b>Fig. 30</b> Guardamotor.....	30
<b>Fig. 31</b> Luz piloto .....	30
<b>Fig. 32</b> Paro de emergencia .....	30

<b>Fig. 33</b>	Descripción de las etapas de metodología.....	33
<b>Fig. 34</b>	Diagrama causa-efecto de la problemática principal .....	34
<b>Fig. 35</b>	Diagrama cuerpo libre de la estructura en general .....	36
<b>Fig. 36</b>	Diagrama de cuerpo libre de la zona crítica .....	36
<b>Fig. 37.</b>	Diseño de la cortadora en SolidWorks .....	37
<b>Fig. 38</b>	Cuchilla .....	39
<b>Fig. 39</b>	Plancha portacuchilla .....	39
<b>Fig. 40</b>	Motor trifásico.....	40
<b>Fig. 41</b>	Manómetro analógico.....	40
<b>Fig. 42</b>	Filtro de línea de retorno .....	41
<b>Fig. 43</b>	Tanque de almacenamiento .....	41
<b>Fig. 44</b>	Válvula hidráulica .....	42
<b>Fig. 45</b>	Estructura de una resistencia tubular [32] .....	43
<b>Fig. 46</b>	Pirómetro CAMSCO REX-C700 .....	44
<b>Fig. 47</b>	Aislante térmico (Amianto).....	44
<b>Fig. 48</b>	Dimensiones en (mm) - prototipo de cuchilla .....	47
<b>Fig. 49</b>	Materiales para el ensayo. (Balanza y cuchilla) .....	48
<b>Fig. 50</b>	Peso total del accionamiento de la guillotina .....	49
<b>Fig. 51</b>	Dimensionamiento del agarre en mm.....	52
<b>Fig. 52</b>	Dimensiones tuerca. [25].....	53
<b>Fig. 53</b>	Esfuerzo cortante en el perno .....	55
<b>Fig. 54</b>	Punto crítico para las placas soldadas. ....	57
<b>Fig. 55</b>	Junta a flexión .....	57
<b>Fig. 56</b>	Propiedades flexionantes de la soldadura de filete. [25] .....	58
<b>Fig. 57</b>	Distribución de fuerzas en los parantes .....	59
<b>Fig. 58</b>	Dimensiones perfil en mm .....	59
<b>Fig. 59</b>	Curva característica del controlador ON/OFF.....	61
<b>Fig. 60</b>	Diagrama de potencia de la configuración del motor.....	63
<b>Fig. 61</b>	Diagrama de control de la activación del motor.....	63
<b>Fig. 62</b>	Conexión del pirómetro.....	64
<b>Fig. 63</b>	Sujeción del cilindro.....	66
<b>Fig. 64</b>	Implementación de la cuchilla.....	67
<b>Fig. 65</b>	Conexión sistema eléctrico.....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Análisis porcentual de las alternativas.....	8
<b>Tabla 2.</b> Análisis cuantitativo de las posibles alternativas.....	11
<b>Tabla 3.</b> Operacionalización de las variables. Corte de caucho crudo.....	35
<b>Tabla 4</b> Resultados de la fuerza de corte del caucho crudo .....	48
<b>Tabla 5</b> Regla de tres compuesta. Relación prototipo - cuchilla.....	48
<b>Tabla 6</b> Resultados del ensayo de temperatura de la cuchilla.....	61
<b>Tabla 7</b> Calibre de cables [46] .....	62
<b>Tabla 8</b> Análisis de resultados .....	65
<b>Tabla 9</b> Costos directos .....	70
<b>Tabla 10</b> Costos indirectos.....	71
<b>Tabla 11</b> Costo total .....	71
<b>Tabla 12</b> Inversión inicial y flujo de caja por periodos.....	71

## RESUMEN

En el presente proyecto se realiza el diseño y construcción de una máquina cortadora de caucho crudo, aprovechando la fuerza que genera un cilindro hidráulico y el sistema de calentamiento para la cuchilla, abarcando de esta manera áreas más grandes de corte. Mediante un análisis de campo se elige el sistema de calentamiento y de control, siendo estos el uso de una niquelina tubular de 900W a 220V y un pirómetro.

La máquina es diseñada y construida a partir de la estructura de una prensa hidráulica en desuso y utilizando materiales disponibles localmente para la elaboración de los soportes del cilindro y el acoplamiento de la cuchilla a un sistema de guillotina. Se evalúa el funcionamiento de la cortadora en la empresa RESIST CAUCHO ubicada en la ciudad de Quito.

La elaboración de esta máquina tiene el fin de reducir los tiempos de corte del caucho crudo que normalmente se lo realizan con cuchillos y machetes previamente calentados, como también, al ser un trabajo que se lo realiza de manera repetitiva resulta agotador para los empleados.

**Palabras clave:** Caucho, cortadora, cuchilla, niquelina, pirómetro



## **ABSTRACT**

In the present project, the design and construction of a raw rubber cutting machine is carried out, taking advantage of the force generated by a hydraulic cylinder and the heating system for the blade, thus covering larger cutting areas. Through a field analysis, the heating and control system is chosen, these being the use of a 900W tubular nickel at 220V and a pyrometer.

The machine is designed and built from the structure of a disused hydraulic press and using locally available materials for the manufacture of the cylinder supports and the coupling of the blade to a guillotine system. The operation of the cutter in the RESIST CAUCHO company located in the city of Quito is evaluated.

The elaboration of this machine has the purpose of reducing the cutting times of the raw rubber that is normally carried out with previously heated knives and machetes, as well as being a job that is carried out repetitively, being exhausted for the employees.

**Keywords:** Rubber, cutter, blade, nickel, pyrometer

## INTRODUCCIÓN

Además de la industria automotriz el caucho también es utilizado en la fabricación de calzado juguetes artículos deportivos y en la construcción. En Ecuador numerosas empresas se dedican a la elaboración de productos a base de caucho lo que genera una importante actividad económica en el país. La alta demanda de estos productos es impulsada tanto por la calidad de los mismos como por su durabilidad y resistencia. El caucho es un material versátil y esencial en la producción de numerosos productos y su consumo está en constante aumento.

El proceso de cortar el caucho crudo de forma manual es una labor ardua y peligrosa debido a que, requiere de un gran esfuerzo físico y de un manejo cuidadoso de las herramientas de corte que deben ser calentadas previamente para mejorar su eficacia. Sin embargo, este material es imprescindible para la fabricación de muchos componentes de los automóviles modernos como neumáticos juntas y sellos. A pesar de que existen otras tecnologías para procesar el caucho, el corte manual sigue siendo una práctica común en muchas partes del mundo especialmente en países en desarrollo donde las técnicas tradicionales siguen siendo usadas.

Utilizar esta técnica de cortado genera fatiga en los empleados quienes se encuentran expuestos a la cercanía del caucho crudo. Asimismo, este material desprende sustancias nocivas para la salud al calentarse. Adicionalmente el uso de herramientas en condiciones precarias y de pequeñas dimensiones dificulta el trabajo prolongándolo y obligando a varios trabajadores a desempeñar esta tarea durante un tiempo extenso.

Se busca actualizar y agilizar los procesos en la producción de caucho automotriz lo cual se logra mediante la implementación de un sistema semiautomático de corte. Esto permitirá reducir la carga de trabajo en los empleados, así como reducir el tiempo necesario para llevar a cabo el corte del material. Con su puesta en marcha se espera garantizar que las plantas de laminado y vulcanización operen de manera continua sin interrupciones innecesarias.

El objetivo del proyecto es buscar una alternativa para realizar el corte del caucho en su estado natural sin depender del esfuerzo manual. Para lograr esto se hace necesario desarrollar una técnica que involucre el calentamiento de la cuchilla y un mecanismo adecuado para realizar el corte de manera automática.

En el presente trabajo se muestra el desarrollo de un mecanismo que permita cortar el caucho crudo de manera fácil. Para lograr esto será necesario incluir un sistema de control de temperatura que garantice que la guillotina esté lo suficientemente caliente para realizar los cortes de manera adecuada. Además, deberá ser construida siguiendo las condiciones de diseño

que se han establecido con el fin de utilizar los recursos de manera óptima y reducir al mínimo la posibilidad de errores o fallos en el proceso.

Para asegurar el correcto funcionamiento del mecanismo deberán llevarse a cabo pruebas en campo que permitan comparar su desempeño con el método manual utilizado actualmente. Estas pruebas son esenciales para verificar que el mecanismo se ajusta a las especificaciones requeridas y garantizar que su uso será seguro y eficaz.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El caucho, es un material muy utilizado en pequeñas y grandes industrias, principalmente en la automotriz, en el Ecuador se fabrican varios productos a base de este material por lo cual tiene una elevada demanda. [1].

Si bien este polímero es conocido por ser elemento primordial de los neumáticos. Gracias a sus propiedades elásticas y aislante eléctrico, hoy en día su empleo es muy útil en el ensamble de automóviles. Los automóviles modernos contienen una gran cantidad de piezas de este material, ya sea en parte o hechas en su totalidad. [2]

La primera empresa ecuatoriana en realizar cauchos automotrices mediante el moldeado por prensas hidráulicas fue “RESIST CAUCHO” fundada por el señor Guillermo Cevallos hace 52 años en la ciudad de Quito y el método empleado para cortar el caucho crudo es de forma manual, usando para esto cuchillos y machetes calentados.

Al aplicar este método de cortado resulta agotador para los trabajadores y al estar a una distancia cercana del caucho crudo, cuando se calienta, esta desprende gases que son perjudiciales para la salud, tomando en cuenta además que el uso de las herramientas en mal estado y de tamaño reducido provoca que la labor se demore y conlleva a que varios empleados realicen esta actividad por un periodo prolongado.

Con la intervención de seis trabajadores de la empresa, se corta alrededor de 1200 kilos de caucho crudo en un tiempo de 16 horas laborables, lo que significa que la planta de laminado y vulcanización se paralizan en este periodo, esto genera retraso en cuanto a la entrega del producto. Sin embargo, los problemas que tienen los empleados de la empresa pueden ser mejorados disponiendo de: herramientas de corte resistentes o a la vez con una máquina de cortado de caucho.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿De qué manera se puede disminuir los tiempos de corte de caucho crudo y reducir la fatiga de los empleados que realizan esta labor por periodos prolongados?

## **OBJETO DE ESTUDIO**

El objeto de estudio del proyecto es encontrar una forma para cortar el caucho crudo sin tener la necesidad de usar la fuerza humana, con esto se requiere implementar un sistema de calentado de cuchilla con un sistema mecánico.

## **JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

De acuerdo con las opiniones de los trabajadores de la empresa RESIST CAUCHO, el cortar alrededor de 1200 kilos de caucho crudo toma alrededor de 16 horas laborables ejecutarlo de manera manual, volviéndose así una tarea repetitiva y pesada, además teniendo en consideración que el esfuerzo que realizan es por periodos prolongados, lo que conduce al cansancio y fatiga.

Este proyecto permitirá transformar el método de corte del caucho crudo de manual a semiautomático para disminuir esfuerzos en los trabajadores, reducir el tiempo de corte del mismo y mantener en funcionamiento continuo a las plantas de laminado y vulcanización.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir una cortadora hidráulica de caucho crudo para la obtención de planchas empleando una guillotina con control de temperatura.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar el mecanismo con un sistema de control de temperatura para calentar la guillotina y cortar el caucho crudo fácilmente.
- Construir la máquina conforme a las condiciones de diseño para optimizar el uso de recursos.
- Realizar pruebas en campo para corroborar su funcionamiento comparando con el método manual para validar el funcionamiento.

### **Hipótesis del proyecto o la investigación**

La implementación de una máquina cortadora hidráulica de caucho semiautomática permitirá reducir los tiempos de corte, disminuir los esfuerzos realizados por los trabajadores, en base a que la fuerza realizada por un cilindro hidráulico es mucho mayor a la de una persona.

### **Alcance del proyecto**

La máquina cortadora de caucho permitirá separar residuos del polímero que se encuentran unidos entre sí, teniendo una dimensión máxima de 90cm x 70cm x 80cm, con el propósito de reducir a un tamaño inferior de 10cm x 10cm x 10cm, de esta manera pasa al siguiente proceso de laminado. Esta labor se realizará en un tiempo de 16 horas laborables, cortando un total de 1200 kilos de caucho crudo.

El tipo de operación será semiautomática, es decir, dos operarios se encargarán de abrir el caucho crudo de ambos extremos y un tercer operario controla el mando del sistema hidráulico. Hay que tomar en consideración que al ser un sistema mecánico que trabaja con un cilindro hidráulico de doble efecto y una cuchilla que permanece caliente. Por tal motivo, para seguridad de la máquina contará con un paro de emergencia, además los trabajadores que manipulen la máquina deben hacerlo con las medidas de seguridad industrial, es decir, no tocar ni obstaculizar el recorrido de la cuchilla y del mecanismo en sí, por lo general, laborar con guantes de seguridad.

## **Descripción de la estructura de los capítulos del proyecto o de la investigación**

En el primer capítulo se presentan las bases teóricas que respaldan la investigación, la elaboración del plan específico tras un análisis riguroso y una evaluación exhaustiva de las soluciones previas. Se exploran los conceptos primordiales asociados con diferentes tipos de caucho, así como la estructura hidráulica, mecánica y eléctrica. Además, se estudian las opciones de diseño más viables y se justifica la selección de una máquina cortadora de caucho para llevar a cabo la solución de la problemática.

El segundo capítulo explica cómo se llevó a cabo la búsqueda de la raíz del conflicto y se exponen diversas alternativas para solucionarlo. También se muestran las fórmulas que se utilizaron en el diseño de los componentes principales de la cortadora hidráulica, y se detallan las áreas más críticas del diseño a partir del análisis científico recopilado en el capítulo anterior. Se ha diseñado un esquema para el funcionamiento de esta máquina, que comprende la utilización de un cilindro hidráulico y una cuchilla que se calienta con un sistema de control de temperatura. Este modelo de estructura está adaptado a las necesidades específicas del problema en cuestión.

En el tercer capítulo se plantea realizar experimentos empíricos con el objetivo de establecer la cantidad de fuerza necesaria para cortar el caucho crudo. También se evalúa meticulosamente el desempeño del sistema hidráulico, los procedimientos de unión temporal y permanente y la seguridad de la estructura. Se examina con detenimiento el ámbito de la histéresis que define cómo se comporta la cuchilla caliente durante un periodo de tiempo establecido.

En el último capítulo del proyecto se evalúa la comprobación de los resultados una vez que la solución ha sido ejecutada y puesta en práctica. Un manual profundo será suministrado con instrucciones precisas sobre la operatividad, el correcto uso de la maquinaria y los procesos imprescindibles para su mantenimiento. Además, se realiza un análisis pormenorizado de los costes asociados para determinar si la innovación de la máquina es económicamente viable.

# CAPÍTULO I

## MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO SOBRE EL PROYECTO

### 1.1 Introducción

En el presente capítulo se presentarán los fundamentos teóricos en el que se basa la investigación y el desarrollo del proyecto propuesto, por medio del estudio y análisis de soluciones existentes. Se tratan las principales definiciones relacionadas con los tipos de caucho, el sistema hidráulico, mecánico y eléctrico. Se analizan las posibles alternativas de diseño y se fundamenta la utilización de una máquina cortadora de caucho para el presente proyecto.

### 1.2 Marco teórico de la investigación

#### 1.2.1 Antecedentes de la investigación

En 1839 se descubre el proceso de vulcanización, ocasionando una expansión en la industria de caucho sintético. Hoy en día con el desarrollo de procesos químicos y la tecnificación de la industria, ha llegado a ser el segundo insumo más demandado en la industria automotriz [3].

Al analizar la problemática correspondiente al corte de materia prima en la industria de fabricación de caucho automotriz, surge la necesidad de disminuir el tiempo de corte de caucho crudo y el esfuerzo prolongado de los trabajadores.

Los métodos de corte tradicionales se realizan con la ayuda de cuchillos y machetes precalentados, que después de un determinado tiempo necesita nuevamente un recalentamiento, ocasionando una espera innecesaria cada vez que dichas herramientas retomen las condiciones iniciales de temperatura.

Para la selección de una máquina de corte se toma en consideración varios aspectos:

- Material por cortar
- Tamaño de la materia prima
- Presión y fuerza aplicada
- Materiales de construcción de la máquina

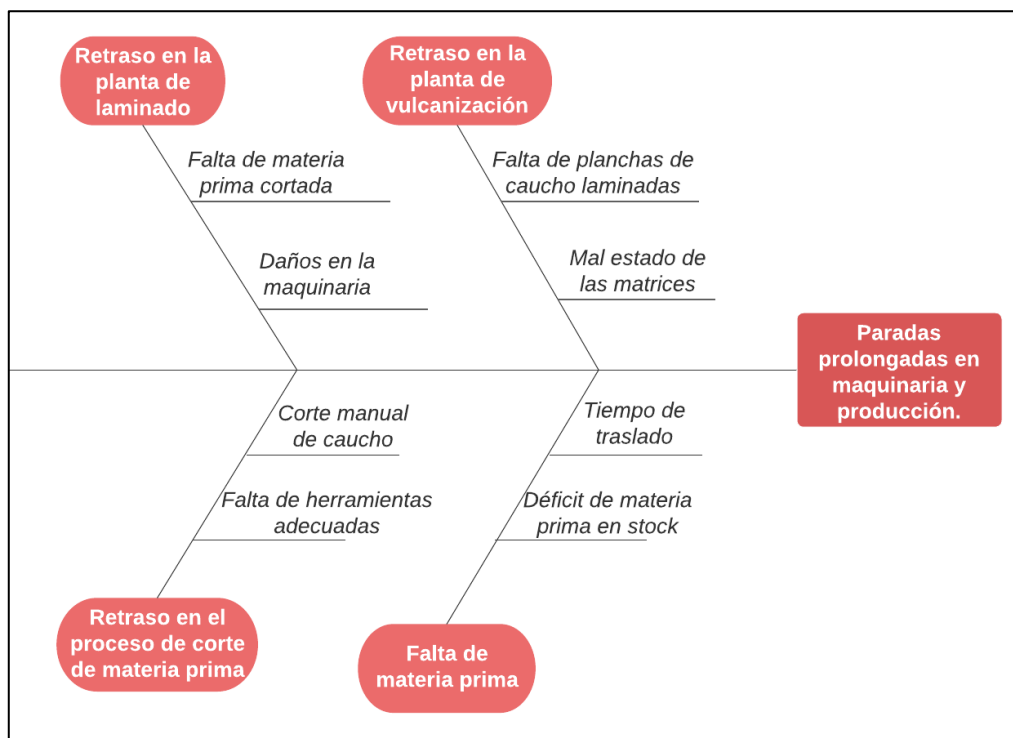
### 1.3 Fundamentación de la investigación

- Falta de materia prima: el proveedor entrega el caucho crudo mensualmente y su traslado conlleva dos días de movilización.



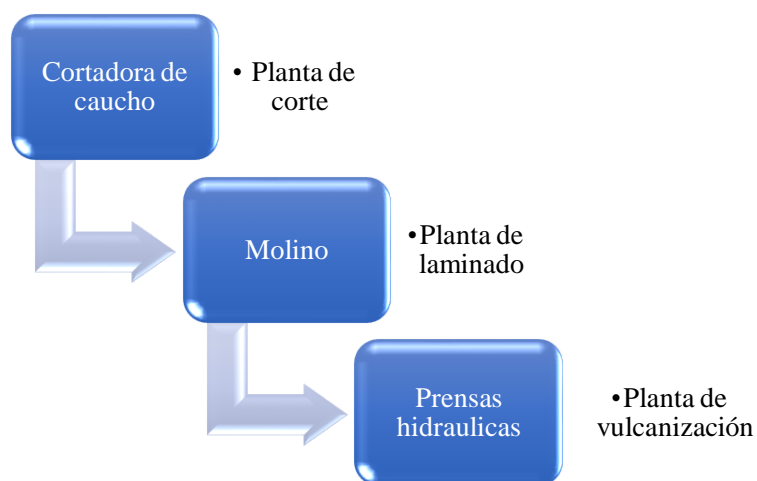
- Retraso en el proceso de corte: debido al corte manual de caucho y la falta de herramientas adecuadas, este proceso se prolonga aproximadamente por 16 horas laborables.
- Retraso en la planta de laminado: al no existir el material cortado, el operario del molino no produce planchas de caucho.
- Retraso en la planta de vulcanización: de la misma manera si el proceso anterior no se cumple, es imposible fabricar los productos finales.

En la Fig.1 se resumen los principales eventos que pueden ocasionar paradas prolongadas de maquinaria y producción.



**Fig. 1** Diagrama causa-efecto de las posibles problemáticas.

Al analizar las posibles causas y efectos se demuestra que el principal problema se genera al momento de obtener la materia prima cortada. La Fig.2 explica el proceso:



**Fig. 2** Secuencia del proceso de producción.

### 1.3.1 Análisis de alternativas

Se analizan las posibilidades para elegir la opción más conveniente para el beneficio de la empresa entre comprar, alquilar o construir una máquina cortadora de caucho.

- **Comprar:** En el mercado actual del Ecuador estas máquinas no se fabrican, por tal motivo sus precios de importación sobrepasan los 4000 dólares, además no cumplen con los requerimientos de dimensiones de corte.
- **Alquilar:** Al no fabricar este tipo de máquinas en el Ecuador, hay pocas empresas dedicadas a la fabricación del caucho automotriz, su posible traslado al ser una máquina de gran tamaño imposibilita esta acción.
- **Construir:** Al contar con una prensa hidráulica obsoleta y los materiales para su modificación son fáciles de obtener en el mercado, se considera óptima el rediseño y construcción de una máquina que satisfaga las necesidades de la empresa.

Se establecieron algunos parámetros de calificación para comparar la mejor solución. Se estimó en una escala del 6 a 10, tomando el valor de 6 como el criterio menos beneficioso y el valor de 10 como el más conveniente. Se evidencia en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Análisis porcentual de las alternativas.

Alternativas	Costo económico	Tamaño de la máquina	Mantenimiento	Operación de la máquina	Valoración global	Valoración porcentual
Comprar	7	7	7	9	30	75%
Alquilar	6	6	7	9	28	70%
Construir	9	8	10	10	37	92,50%

Una vez realizado un análisis porcentual se encuentra que la construcción de la máquina es la acción más factible para la empresa, teniendo un valor de 92.5% con respecto a las opciones de comprar y alquilar.

A continuación, se presentan posibles alternativas para dar solución a la problemática principal:

#### 1.3.1.1 Trituradora de 2 ejes (Alternativa 1).

Consta de dos ejes de rotación en sentido contrario que permite que el caucho sea atrapado y atraído hacia la trituradora. El sistema consiste en fases de tracción, aplastamiento y corte; debido a que, trabaja a velocidades bajas y los mismos ejes funcionan como una contracuchilla. Este tipo de cortadora tiene mayor capacidad porque permite cortar cauchos grandes en lugar de pedazos; pero, el costo de esta máquina es más alto que los sistemas de un eje, de igual manera, tiene un sistema de transmisión y diseño más complejo. [4]



**Fig. 3** Trituradora de 2 ejes [4].

#### Ventajas

- Facilidad de manejo de activación.
- Alta resistencia.

## Desventajas

- Difícil traslado del material a la parte superior de la máquina.
- Corte final demasiado pequeño y pérdida de material.
- Ocupa gran espacio.
- Mantenimiento costoso.

### 1.3.1.2 Corte por cizalla (Alternativa 2).

Es un tipo de mecanismo manual o hidráulico con dos cuchillas, una fija y una móvil que aplica una fuerza de corte sobre el caucho; pero también tiene aplicaciones en cortes de maderas y algunos metales dúctiles. Posee un sistema de resorte que permite el retorno del pedal. [5]

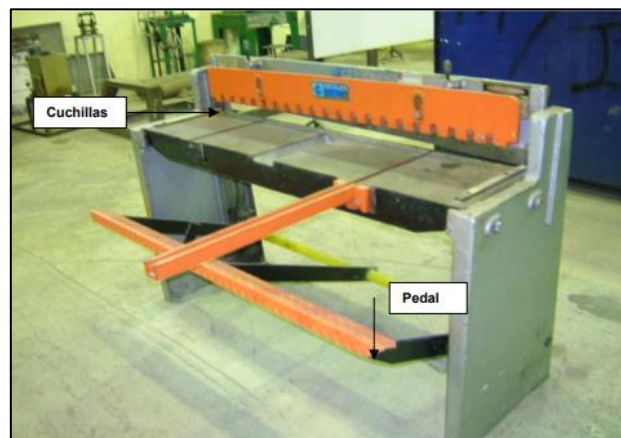


Fig. 4 Cizalla mecánica de pedal [5].

## Ventajas

- Facilidad de manejo de activación.
- Ocupa poco espacio.
- Costo de la maquinaria.

## Desventajas

- Limitación en el tamaño de corte.
- Fuerza reducida de corte.

### 1.3.1.3 Guillotina hidráulica (Alternativa 3).

Para su funcionamiento emplea el uso de fluidos incompresibles debido a que, no sufre de variaciones en su densidad cuando se encuentra en el interior de un sistema. Este tipo de máquinas son empleadas para sectores donde se requiera trabajar con una gran potencia y fuerza, como es el caso del corte de neumáticos que necesitan máquinas potentes. [6]



**Fig. 5** Guillotina hidráulica de caucho [7].

### **Ventajas**

- Facilidad de manejo de activación (semiautomática).
- Alta resistencia.
- Mayor capacidad de corte de materia prima.
- Mayor fuerza.
- Fácil mantenimiento.

### **Desventajas**

- Tamaño de la máquina.
- Costo de la maquinaria.

#### **1.3.1.4 Fuerza física manual (Alternativa 4).**

Con la intervención de los trabajadores, se corta alrededor de 1200 kilos de caucho crudo en un tiempo de 16 horas laborables, lo que ocasiona paralización en las siguientes plantas de producción.



**Fig. 6** Corte manual de caucho.

### Ventajas

- No inversión de dinero en la maquinaria y su mantenimiento.

### Desventajas

- Uso mínimo de 4 personas para realizar el proceso de corte.
- Alto índice de accidentes.
- Mayor riesgo de sufrir trastornos del sistema óseo y muscular.
- Tiempo de corte aproximado de 16 horas laborables en 1200 kilos de caucho crudo.

### 1.3.2 Cuadros comparativos de selección de alternativas

Se establecieron algunos parámetros de calificación para analizar la factibilidad de cada alternativa de solución. Para la evaluación se calificó en una escala del 1 a 10, tomando el valor de 1 como el criterio menos beneficioso y el valor de 10 como el más conveniente, los cuales se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Análisis cuantitativo de las posibles alternativas.

<b>Parámetros</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b>Alternativa 4</b>
Costo	1	7	5	10
Facilidad de operación	5	7	9	1
Existencia de materiales en el mercado	8	8	10	8
Seguridad de la máquina	5	5	7	1
Tiempo de corte	9	8	9	1
Mantenimiento de maquinaria	3	7	6	5
Ergonomía	4	7	8	1
<b>PROMEDIO TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>7.7</b>	<b>3.86</b>

La opción más factible y eficaz al momento de analizar sus características, es la alternativa 3 correspondiente a la guillotina hidráulica con actuador lineal, permitiendo dar una solución ergonómica y semiautomática a los operarios de producción, siendo elegida como la ideal para el posterior diseño.

## **1.4 Aspectos teóricos fundamentales**

### **1.4.1 Caracterización del caucho.**

Según G. Castro “El origen del caucho se presenta en forma de líquido lechoso, la cual es extraída desde la corteza de varios árboles en la que se destaca la *Hevea Brasiliensis*.” Se conocen varias plantas que almacenan caucho en el interior de sus tallos, raíces u hojas en las que se puede acceder a ellas rompiendo las paredes celulares usando medios físicos u otros. [8] El documento US-2006/106183A1 describe un proceso para la separación de resinas y caucho del arbusto de guayule usando para esto dióxido de carbono supercrítico [9].

W. Lederman explica que: “El caucho se ha utilizado desde antes de la conquista de América, donde los nativos usaban este polímero para fabricar artículos médicos como son catéteres y sondas, mucho más tarde se usaría en la industria del automóvil” [10].

El estudio de BF. Greek estima que “El 60% del caucho sintético y el 75% del caucho natural es usado en la fabricación de neumáticos y demás artículos de automóviles, lo que proporciona la oportunidad de empleo en el sector industrial” [11]

Los productos más comunes del caucho son los siguientes: correas de transmisión, pastillas para frenos, son fabricados a partir de un caucho sometido a calandrado, para dar su forma final se lo lleva a vulcanización en un molde. Las mangueras de caucho en su mayoría se las realiza enrollando, tejiendo o trenzando alambre o cuerda sobre un tubo extruido y sobre esto se extruye otro tubo para recubrirlo [12].

#### **1.4.1.1 Caucho natural.**

El documento 2808113 explica que: “Para obtener el caucho natural se somete a la materia vegetal a un tratamiento en una desfibradora, un molino de rodillos, granuladora; que son capaces de romper las paredes celulares de las células que contienen el caucho natural” [13].

Según D. Fuentes: “El caucho natural se puede obtener realizando un corte en ángulo en la corteza del árbol, profundizando la sección ubicada entre la corteza y el tronco” [14].

#### **1.4.1.2 Caucho sintético.**

De acuerdo con N. Bekkedahl: “Los inicios del caucho sintético inicia con la idea de sintetizar caucho natural a partir de un líquido llamado isopreno, al final no tuvo éxito. Varios años

después se realizaron estudios y utilizaron el líquido cloropreno, gas butadieno, siendo este último la única sustancia que se polimeriza para formar uno de los tipos de caucho sintético. Como resultado final se obtuvo que los cauchos sintéticos tienen una mejor propiedad de absorción de la energía vibratoria con respecto al caucho natural” [15]

#### **1.4.1.3 Vulcanización.**

Según Charles Goodyear, quien descubrió el proceso de vulcanización del caucho natural. Consiste en calentar la combinación de caucho natural con aditivos químicos, que por lo general se utiliza al carbonato de plomo y azufre. Este proceso consigue que las moléculas de polímeros se combinen con enlaces químicos en estructuras tridimensionales con difusión molecular restringida. Obteniendo como resultado final el cambio de características químicas y físicas de un material gomoso y suave, a que el caucho final adquiera propiedades elastoméricas. [16]

#### **1.4.1.4 Propiedades del caucho natural y sintético.**

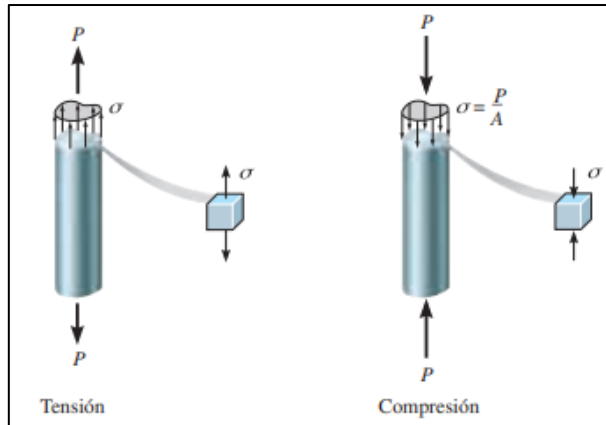
G. Palma, [17] manifiesta que “El caucho en bruto experimenta una gran alteración debido a su plasticidad, cambia sus propiedades físicas conforme a la temperatura. Se endurece a temperaturas bajas, y adquiere una estructura fibrosa cuando se congela, al calentarlo por encima de los 100°C se ablanda y cambia permanentemente”. Las características de la elasticidad pueden variar de una especie de árbol a otra de la cual fue obtenida la materia prima, también depende de la cantidad de trabajo puesto en él desde su estado de látex, así como las bacterias asociadas que modifican la oxidación, etc. Se puede mejorar la propiedad de plasticidad del material dentro de un cierto rango con la aplicación del proceso de vulcanización.

### **1.4.2 Elementos constitutivos del sistema mecánico.**

#### **1.4.2.1 Esfuerzos en los cuerpos estáticos**

- **Esfuerzo normal:** La intensidad de la fuerza se denomina esfuerzo, en la cual al aplicar una carga axial puede ser a tensión o compresión. La carga actúa perpendicular al plano de la sección transversal como se observa en la Fig. 7. [18]





**Fig. 7** Barras prismáticas sometidas a tensión y compresión. [18]

Para calcular este esfuerzo se utiliza la siguiente fórmula.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

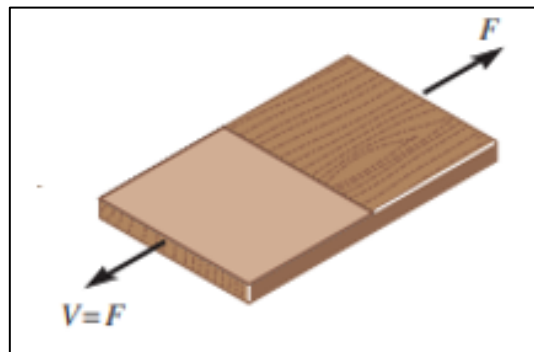
Donde:

$\sigma =$  Esfuerzo normal ( $N/m^2$ )

$P =$  Fuerza perpendicular a la sección transversal ( $N$ )

$A =$  Área de la sección transversal ( $m^2$ )

- **Esfuerzo cortante:** Es la aplicación de dos fuerzas iguales pero opuestas entre sí. Pueden ser de dos tipos: esfuerzo cortante simple y doble. [18]



**Fig. 8** Esfuerzo cortante simple. [18]

Para determinar el esfuerzo cortante se utiliza la siguiente fórmula:

$$\tau_{prom} = \frac{V}{A} \quad (2)$$

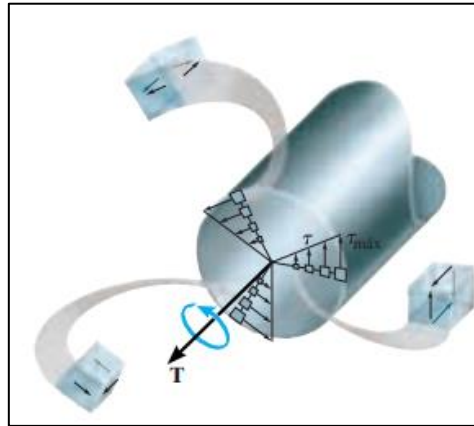
Donde:

$\tau_{prom} =$  Esfuerzo cortante promedio ( $N/m^2$ )

$V =$  Fuerza resultante interna ( $N$ )

$A =$  Área en la sección ( $m^2$ )

- **Esfuerzo por torsión:** Un par de torsión es un momento que logra hacer girar un cuerpo con respecto a su eje longitudinal, como se observa en la Fig. 9. [18]



**Fig. 9** Esfuerzo por torsión. [18]

Para calcular el esfuerzo por torsión se utiliza la siguiente fórmula.

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{Tc}{J} \quad (3)$$

Donde:

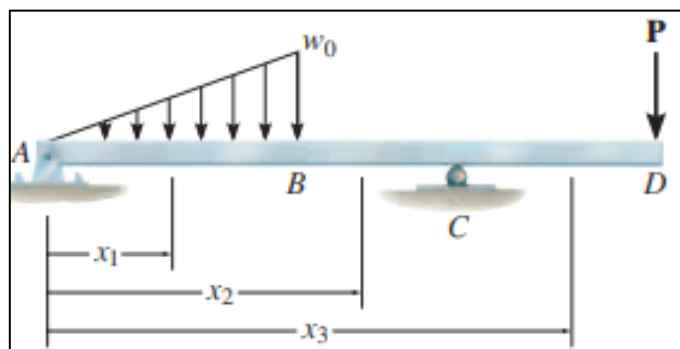
$\tau_{m\acute{a}x}$  = Esfuerzo cortante máximo ( $N/m^2$ )

$T$  = Par de torsión interno ( $Nm$ )

$J$  = Momento polar de inercia del área de la sección transversal ( $m^4$ )

$c$  = Radio exterior de la flecha ( $m$ )

- **Esfuerzo por flexión:** Al aplicar una carga  $P$  a una sección de la barra causa que el eje longitudinal se flexione en una curva denominada deflexión de viga [18]. En la Fig. 10 se dos cargas que actúan sobre la viga.



**Fig. 10** Esfuerzo por flexión. [18]

Para calcular el esfuerzo por flexión se utiliza la siguiente fórmula.

$$\sigma = -\frac{Mc}{I} \quad (4)$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo normal máximo ( $N/m^2$ )

$M$  = Momento interno resultante ( $Nm$ )

$I$  = Momento de inercia de la sección transversal ( $m^4$ )

$c$  = Distancia desde el eje neutral ( $m$ )

#### 1.4.2.2 Acero estructural

Compuesto principalmente por una mezcla de hierro y carbono en gran parte, aunque posee también otros elementos en pequeñas cantidades que proporcionan características diferentes para cada tipo de acero estructural [19].

Algunas propiedades mecánicas que se deben tener presentes al momento de escoger un acero estructural son las siguientes:

- Alta resistencia
- Elasticidad
- Durabilidad
- Ductilidad
- Tenacidad

#### 1.4.2.3 Tipos de acero estructural

En el mercado existen algunos tipos de aceros estructural y para una correcta elección de las mismas es necesario conocer sus propiedades y aplicaciones más comunes.

- **Acero ASTM A36:** Utilizados para el sector de construcción industrial y civil. Posee una buena soldabilidad y mediana resistencia. Con un esfuerzo de fluencia de  $2531 \text{ kg/cm}^2$ . [19]
- **Acero ASTM A588:** Usado en la fabricación de vagones de ferrocarril, estructuras de puentes. Acero resistente a la corrosión y de alta resistencia. Con un esfuerzo de fluencia de  $3515 \text{ kg/cm}^2$ . [19]
- **Acero ASTM A283:** Principal aplicación en la fabricación de calderas, tuberías, tanques. Es un acero laminado en caliente que tiene un esfuerzo de fluencia de  $2531 \text{ kg/cm}^2$ . [19]

- **Acero ASTM A572:** Acero de alta resistencia con especificaciones de cinco grados de acero estructura. Los grados 42, 50 y 55 usadas para estructuras remachadas y atornilladas. Los grados 60 y 65 para construcciones atornilladas de puentes. [19]

#### 1.4.2.4 Vigas

- **UPN:** Perfil laminado de acero que tiene la forma de un canal en U. Este tipo de vigas en las construcciones ayuda a aligerar el peso de la estructura. Punto de fluencia de 235 MPa. [20]
- **IPE:** Es un perfil laminado con una sección en forma de doble T y con una excelente resistencia a la corrosión. Tiene algunas utilidades como la construcción de soportes, estructuras para escaleras, etc. Punto de fluencia 235 MPa. [20]

#### 1.4.2.5 Factor de seguridad

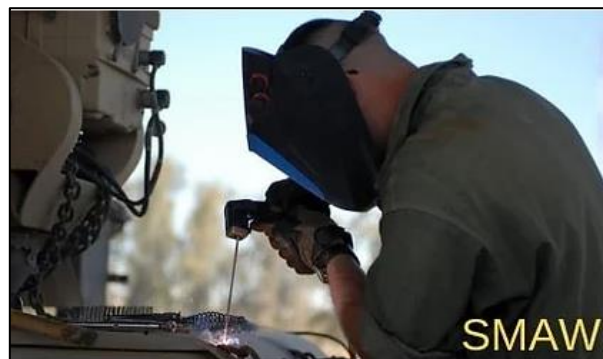
Se define como una relación entre el último esfuerzo del material y el esfuerzo de trabajo. Si el factor de seguridad es demasiado pequeño, la posibilidad de que la estructura falle es mucho mayor, en cambio, si el factor de seguridad es demasiado alto, el diseño es demasiado caro o no funcional [21].

$$F.S. = \frac{\text{Esfuerzo último}}{\text{Esfuerzo permisible}} \quad (5)$$

#### 1.4.2.6 Procesos más comunes de soldadura.

##### 1.4.2.6.1 Soldadura SMAW

Se realiza para unir dos metales utilizando un proceso de fundición del metal base a partir de un arco eléctrico. Se debe tomar en consideración el amperaje a manejar y el tamaño del arco producido. [22]



**Fig. 11** Formación del arco en el proceso SMAW [23].

#### 1.4.2.6.2 Soldadura GMAW

Es una soldadura con arco eléctrico entre la pieza a soldar y un alambre protegido por helio y CO<sub>2</sub>, el mismo actúa como electrodo consumible que es alimentado de manera continua mediante una pistola de soldar o antorcha, llegando a obtener una máxima eficiencia. [22]



Fig. 12 Proceso GMAW [23].

#### 1.4.2.7 Soldadura para uniones permanentes

##### Soldadura a tope

Se presenta una soldadura para ranuras de tipo V sometidas a cargas de tensión o compresión.

El esfuerzo promedio esta dado por: [24]

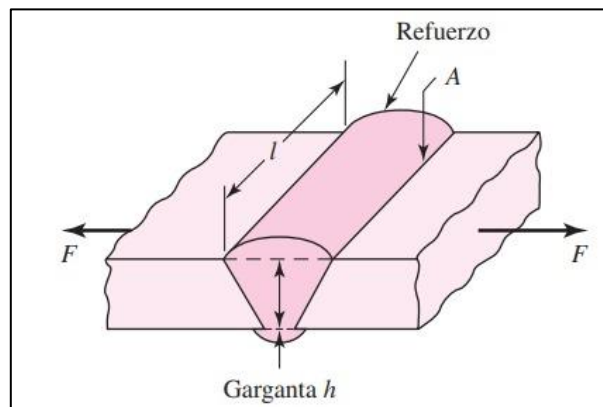


Fig. 13 Soldadura a tope [24].

Para calcular la soldadura a tope se utiliza la siguiente fórmula:

$$\tau = \frac{F}{h l} \quad (6)$$

Donde:

$\tau$  = Esfuerzo promedio (N/m<sup>2</sup>)

$F$  = Carga sometida (N)

$h$  = Gargante de soldadura (m)

$l$  = Longitud de soldadura (m)

### Soldadura con filete

Es presenta cuando la fuerza produce un esfuerzo cortante en el área mínima de la garganta.

[24] La base del análisis o diseño de la soldadura utiliza la ecuación (7).

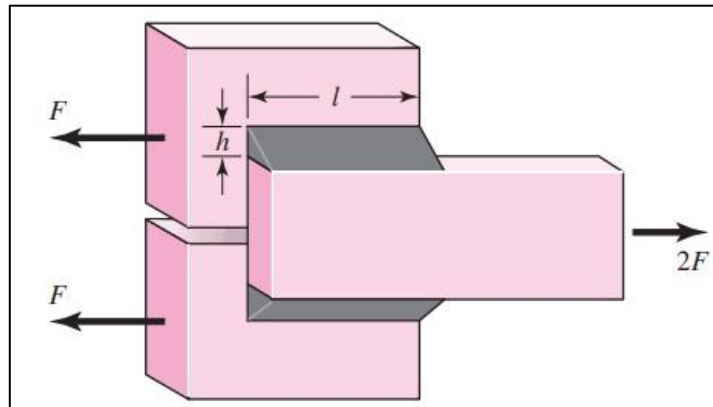


Fig. 14 Soldadura con filete [24].

$$\tau = \frac{F}{0.707h l} = \frac{1.414F}{h l} \quad (7)$$

### 1.4.2.8 Juntas de unión desmontable.

#### Pernos

El objetivo de un perno se basa en sujetar dos o más elementos. La fuerza de sujeción que genera tensión en el perno provoca compresión en los elementos. [25]

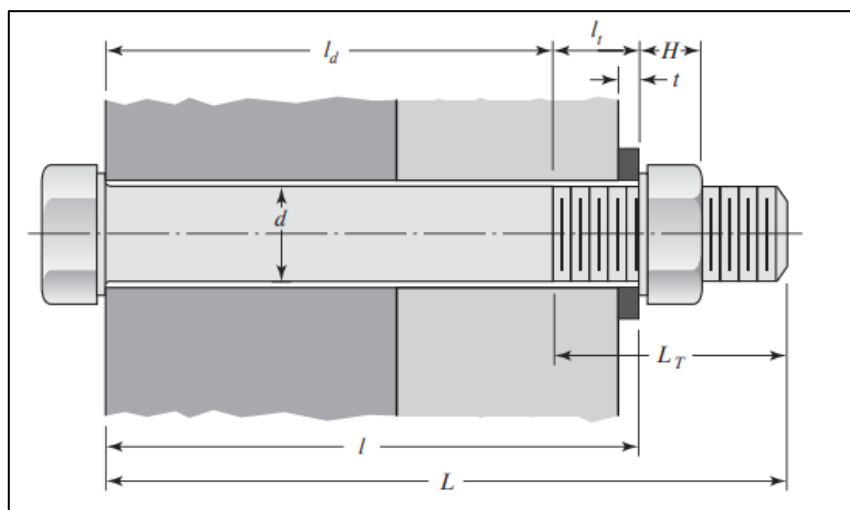


Fig. 15 Sujeción de perno [25].

- Rigidez del sujetador: Representa la rigidez efectiva estimada del perno o tornillo de cabeza en la zona de sujeción. [25]

$$K_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d} \quad (8)$$

Donde:

$K_b$ : Rigidez del sujetador (N/m)  
 $E$ : Módulo de elasticidad (N/m<sup>2</sup>)  
 $A_d$ : Área de la parte sin rosca (m<sup>2</sup>)  
 $A_t$ : Área de la parte roscada (m<sup>2</sup>)  
 $l_t$ : Longitud de la parte roscada en el agarre (m)  
 $l_d$ : Longitud de la parte sin rosca en el agarre (m)

- Relación del resorte de los elementos (Junta total)

$$K_m = \frac{0.5774\pi E d}{2 \ln \left( 5 \frac{0.5774l + 0.5d}{0.5774l + 2.5d} \right)} \quad (9)$$

Donde:

$K_m$ : Junta total (N/m)  
 $E$ : Módulo de elasticidad (N/m<sup>2</sup>)  
 $d$ : Diámetro del sujetador (m)  
 $l$ : Espesor de todo el material (m)

- Constante de unión: Relación de porcentaje de la fuerza que soporta el perno en la junta

$$c = \frac{K_b}{K_b + K_m} \quad (10)$$

- Número de pernos:  $N$

$$N = \frac{ncP}{S_p A_t - F_i} \quad (11)$$

Donde:

$n$ : Factor de carga  
 $P$ : Carga total (N)  
 $S_p$ : Resistencia prueba mínima. (N/m<sup>2</sup>) Anexo 1  
 $F_i$ : Precarga 0.75AtSp Para junta desmontable (N)  
 0.9AtSp Para junta no reutilizable (N)

#### 1.4.2.9 Cuchilla de corte para guillotina.

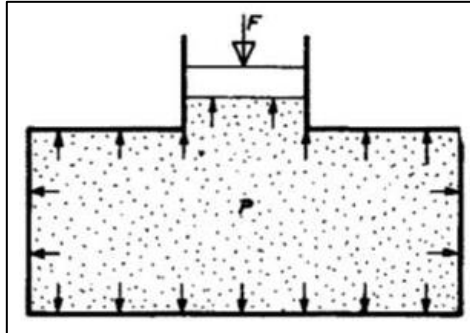
Es una hoja de acero afilada que realiza cortes simples rectilíneos de manera paralela.

#### 1.4.3 Sistema hidráulico.

La hidráulica o potencia fluida es la ciencia que se basa en el principio de pascal y examina el estudio y aplicación de los fluidos (aceite o agua), al momento de ser aplicada una presión que genere un movimiento mecánico o transmisión de energía. [26]

### 1.4.3.1 Ley de pascal

También conocida como presión por fuerzas externas, muestra que cuando una presión es ejercida a un líquido contenido en un recipiente, dicha presión se propaga de manera equivalente a todos los puntos del líquido y por consecuente a las paredes del contenedor.[26]



**Fig. 16** Ley de Pascal [26].

$$P = \frac{F}{A} \quad (12)$$

Donde:

$P =$  Presión ( $N/m^2$ )

$F =$  Fuerza ( $N$ )

$A =$  Área o superficie ( $m^2$ )

### 1.4.3.2 Motor eléctrico.

El motor se encarga de proveer al sistema de potencia hidráulica la entrada de energía. Los motores de inducción son considerados los más usados en la industria global, esto por sus características de una construcción simple y gran robustez excelente para el trabajo en el ámbito industrial.



**Fig. 17** Motor eléctrico. [1]

Para calcular la potencia del motor se utiliza la fórmula (13).

$$P = \frac{F * d}{t} \quad (13)$$



Donde:

$F = \text{Fuerza (N)}$

$d = \text{Distancia (m)}$

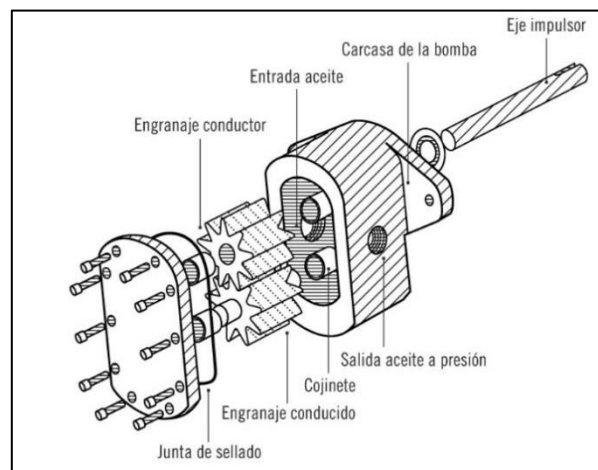
$t = \text{tiempo (s)}$

### 1.4.3.3 Bomba hidráulica.

Estos dispositivos son empleados para la transformación de la energía mecánica en hidráulica, en el mercado actual cuentan con diferentes tipos de bombeo. Se las puede clasificar en dos categorías básicas: [27]

Las bombas hidrodinámicas: se identifican por el uso de sistemas centrífugos, la presión que pueden llegar a proporcionar dependerá de la velocidad y el tamaño del rotor del elemento centrífugo.

Las bombas hidrostáticas: también conocidas como volumétricas se caracterizan porque el caudal suministrado no depende sensiblemente de la presión, son ideales para transmisión de potencia.



**Fig. 18** Despiece de una bomba hidráulica [28].

### 1.4.3.4 Filtro.

El filtro es necesario para mantener el líquido hidráulico libre de contaminación y evitar obstrucción o daños a los componentes del sistema hidráulico que ocasione paradas innecesarias de producción. Para tal objetivo se dispone de una red de filtros de retención de partículas de polvo u otras sustancias contaminantes. Adicional al filtrado de impurezas se debe mantener un cambio periódico del fluido respetando las indicaciones del fabricante. [28]



**Fig. 19** Gama de filtros hidráulicos [28].

#### 1.4.3.5 Válvulas hidráulicas.

- **Válvulas direccionales:** se encargan de dirigir el flujo del aceite hidráulico, basándose en el movimiento de una corredera que dirija la salida al orificio deseado. [29]
- **Válvulas reguladoras de presión:** cumplen la función de controlar la presión en puntos específicos del circuito, en su versión más simple se trata de una válvula de dos vías que sea sensible a la presión. [29]
- **Válvulas reguladoras de caudal:** tiene como objetivo reducir el paso del aceite, esto se puede conseguir con la implementación de estranguladores, pistones o correderas. [29]



**Fig. 20** Válvula hidráulica [29].

#### 1.4.3.6 Cilindro hidráulico.

##### 1.4.3.6.1 Cilindro hidráulico simple efecto (CSE).

Actuadores hidráulicos con traslado lineal. Tienen su accionamiento en un solo sentido, al momento de aplicar presión el vástago avanza y cuando no se suspende la presión el vástago regresa por acción de un resorte volviendo a la posición inicial sin ejercer ninguna fuerza. [27]

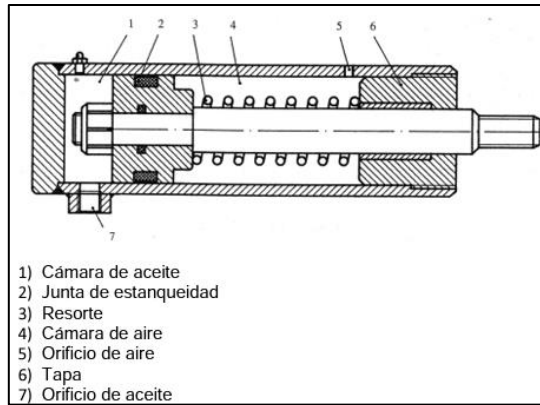


Fig. 21 Partes internas de un cilindro de simple efecto [27]

### 1.4.3.6.2 Cilindro hidráulico doble efecto (CDE).

Actuador lineal que se lo denomina de esa manera porque tiene activación en ambos sentidos y ejercen fuerza al momento de avanzar o regresar el vástago. [27]

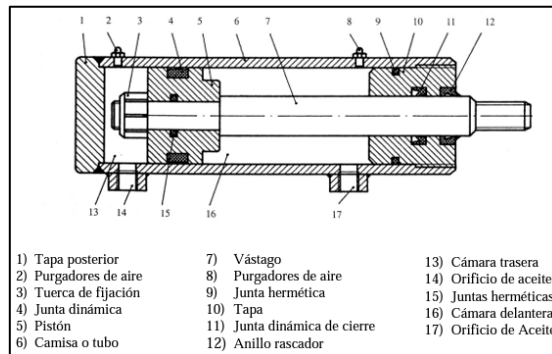


Fig. 22 Partes internas de un cilindro de doble efecto [27]

### Fuerza en los cilindros

Para cilindros de simple efecto

$$F = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot P - Fr \quad (14)$$

Para cilindros de doble efecto

Avance

$$F = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot P \quad (15)$$

Retroceso

$$F = \frac{\pi}{4} (d^2 - dv^2) \cdot P \quad (16)$$

Donde:

$F = Fuerza (N)$

$d = \text{Diámetro del cilindro (m)}$

$P = \text{Presión del fluido (N/m}^2\text{)}$

$d_v = \text{diámetro del vástago (m)}$

$Fr = \text{Fuerza debido a la compresión del resorte (N)}$

La velocidad de movimientos de los vástagos de los cilindros será:

$$V = \frac{L}{t} \quad (17)$$

Donde

$V = \text{Velocidad media del vástago (m/s)}$

$L = \text{Carrera del vástago (m)}$

$t = \text{Tiempo (s)}$

El caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) consumido por los cilindros será:

Para cilindros de simple efecto

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot V \quad (18)$$

Para cilindros de doble efecto

Avance

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot V \quad (18)$$

Retroceso

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} (d^2 - d_v^2) \cdot V \quad (19)$$

#### **1.4.3.7 Tanque de almacenamiento.**

Estos sistemas al trabajar con un fluido hidráulico, tiene la necesidad de contar con un tanque de almacenamiento que provea a la bomba de aceite para propagar la presión por todo el sistema. El tanque cumple la función de contener las reservas, ayuda al enfriamiento del líquido que al ser sometido a grandes presiones eleva su temperatura, permite recolectar algunos contaminantes en el fondo del tanque y asiste la eliminación de aire que en la hidráulica actúa como un contaminante. Para cumplir estos objetivos el tanque está dotado de una placa deflectora que separa la tubería de succión y retorno permitiendo que el aceite repose un tiempo antes de su posterior uso. [28]

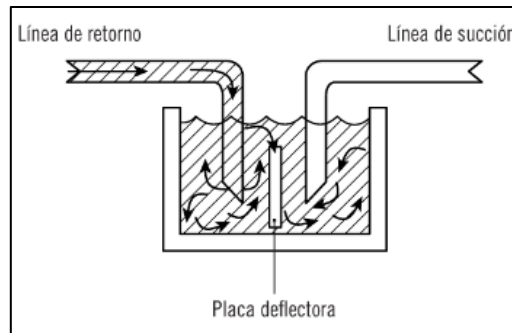


Fig. 23 Esquema de un tanque hidráulico [28].

### 1.4.3.8 Manguera hidráulica

También llamada tubería flexible se encarga de trasladar el aceite a todos los componentes del conjunto hidráulico. Es capaz de soportar elevadas presiones debido a su construcción a base de capas de malla metálica y tejidos de goma alternadas entre sí. [26]



Fig. 24 Composición interna de la manguera hidráulica [30].

## 1.4.4 Sistema de control eléctrico.

### 1.4.4.1 Ley de Ohm

Es la ley que explica el comportamiento de la electricidad y su relación con la corriente, voltaje y resistencia.

- **Intensidad o corriente:** la unidad de medida es el amperio (A), representa los electrones que circulan de un punto a otro.
- **Voltaje:** la unidad de medida es el voltio (V), es la fuerza que permite el movimiento de los electrones a través de un material conductor.
- **Resistencia:** la unidad de medida es el ohmio ( $\Omega$ ), es la fuerza de obstrucción del paso de los electrones por un material conductor.

La ley de ohm dice que la intensidad de corriente es directamente proporcional al voltaje y inversamente proporcional a la resistencia. [31]

$$V = IR \quad (20)$$

Donde:

$V = \text{Voltaje (V)}$

$I = \text{Intensidad (A)}$

$R = \text{Resistencia } (\Omega)$

#### 1.4.4.2 Resistencia calentadora

Se utilizan para la conversión de energía eléctrica en calor, el tiempo de calentamiento depende de la potencia inducida a dicho material. [32]

El efecto Joule define matemáticamente la cantidad de energía calorífica:

$$Q = P * t \quad (21)$$

Donde:

$Q = \text{Energía calorífica (J)}$

$P = \text{Potencia (W)}$

$t = \text{Tiempo (s)}$

#### 1.4.4.3 Pirómetros.

- **Pirómetro óptico:** Los objetos a temperaturas elevadas irradian demasiada energía en la zona visible que permite la medición óptica, por lo tanto, estos pirómetros son usados para medir temperaturas que superan los 700°C, sin la necesidad de entrar en contacto físico con estas. [33]
- **Pirómetro de radiación:** Miden la temperatura de un objeto en función de su radiación. Se basa en la ley de Stefan Boltzmann, que dice que la energía emitida por un cuerpo es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo. [34]
- **Pirómetro de resistencia:** Utilizado principalmente para medición de calor en los metales, debido a que, estos poseen una resistencia eléctrica que varía en función de la temperatura. [35]



Fig. 25 Tipos de pirómetros [36]

#### 1.4.4.4 Sensor de temperatura.

- **Termistores:** Compuesto por un material semiconductor que cambia su resistencia en respuesta a una variación de temperatura. [37]

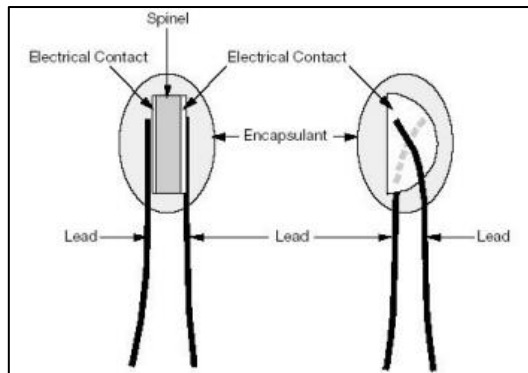


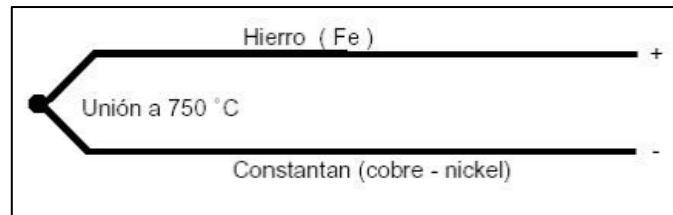
Fig. 26 Componentes de un termistor [38]

- **Sensores RTD:** Aprovecha la temperatura dentro de un conductor para aumentar o disminuir la resistencia. [37]



Fig. 27 Sensores RTD [38]

- **Termopares:** Compuesto por dos metales diferentes que se unen en un extremo. Al calentarse estas dos partes, crea una tensión que es proporcional a la temperatura. [37]



**Fig. 28** Termocupla tipo J [38]

#### 1.4.4.5 Aislante térmico.

Es la propiedad que poseen ciertos materiales para reducir la transferencia de calor de una cara a otra. Para seleccionar un correcto aislamiento eléctrico se debe tener en consideración la conductividad térmica, propiedades mecánicas y el costo económico que representa. [39]

#### 1.4.4.6 Contactor.

Dispositivo electromagnético que permite cerrar o abrir circuitos en donde existan intensidades altas que resultan peligrosas para el ser humano. Estos contactores pueden ser de fuerza y de control, en donde la primera soporta altas intensidades de corrientes y la segunda son mandos de maniobra. Estos se accionan con la intervención de una bobina que es energizada en ambos extremos ya sea en CD o AC. [40]



**Fig. 29** Contactor

#### 1.4.4.7 Guardamotor.

Dispositivo electromecánico para el accionamiento de motores, está conformado por un relé térmico y un contactor. Proporciona protección a posibles sobrecargas o picos altos de tensión. [41]





Fig. 30 Guardamotor

#### 1.4.4.8 Elementos de señalización.

Correspondientes a los dispositivos que se encargan de indicar si los equipos están funcionando correctamente, aumentando de esta manera la seguridad de los operarios y posibles mantenimientos de maquinarias. [40]



Fig. 31 Luz piloto

#### 1.4.4.9 Paro de emergencia.

Interruptor accionado manualmente o por control eléctrico, utilizado para interrumpir los procesos de maquinarias en caso de posibles fallas o anomalías.



Fig. 32 Paro de emergencia

#### **1.4.5 Normas de seguridad industrial para trabajos en altas temperaturas**

De acuerdo al artículo 136 literal 16 [42]. Los operarios utilizarán botas de puntas de acero para evitar golpes y, que no posean suela lisa para evitar caídas.

El Art. 176 literal 3 [42] especifica que: la ropa de protección personal debe ser de tejido y confección adecuadas a las condiciones de temperatura, recomendable usar overol fabricado de polipropileno cubierto con un laminado microporoso.

Según el Art. 181 literal 1 [42] manifiesta que: se utilizará guantes para los trabajos que impliquen exposición a altas temperaturas.

#### **1.5 Conclusiones del capítulo.**

El caucho es un polímero con alta demanda en la industria automotriz debido a que, con ellas se puede fabricar neumáticos, burletes, acoplamientos, mangueras, pedales, extruidos, correas transportadoras, bandas, productos moldeados y prensados, revestimientos, rodillos, aislantes eléctricos, etc.

Se estima los posibles elementos a usarse para el correcto diseño y construcción de la máquina, tomando en consideración los sistemas de unión permanentes y desmontables. El análisis de las diferentes alternativas permite identificar las problemáticas presentes en la industria productora de caucho automotriz, y de esta manera innovar y agilizar los procesos de producción. Se hace mención de las normas de seguridad industrial para manipular materiales que están sometidos a altas temperaturas.

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1 Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo mostrar la metodología utilizada para identificar la causa principal de la problemática, las diversas formas planteadas para su resolución. Las ecuaciones correspondientes al diseño de las partes principales de la cortadora hidráulica. Partiendo del estudio científico recopilado en el capítulo anterior, se especifica los puntos más críticos en el diseño. Para esta maquinaria se establece un modelo de una estructura que consta de un cilindro hidráulico, una guillotina formada por una hoja de cuchilla la cual se calienta y es regulada por un control de temperatura.

#### 2.2 Diseño de la investigación

El aumento de tiempos muertos de producción en la empresa RESIST CAUCHO se deben a la falta de materia prima cortada en un periodo moderado. Para conocer la situación real es necesario determinar cuánto material se corta en una hora de trabajo laboral.

Para cumplir el objetivo del proyecto se medirá cuantitativamente los siguientes argumentos.

- La cantidad exacta de caucho crudo cortado de manera manual, utilizando para esto un dispositivo de medición de tiempo y peso.
- La fuerza necesaria para obtener el corte de este polímero, realizando pruebas con un prototipo de cuchilla y guillotina.
- La temperatura óptima para facilitar el corte del material, realizando pruebas de rotura a distintas temperaturas.

Una vez recogido los datos de los dispositivos de medición, se especificará en tablas los valores obtenidos para su posterior análisis estadístico.

#### 2.3 Modalidad de la investigación

La metodología aplicada para llevar a cabo la investigación son las siguientes:

- **Bibliográfica:** Para aportar con información importante tanto en la formación académica como investigativa es de ayuda el indagar en: revistas, artículos académicos, tesis [43]. Se revisará en proyectos de titulación los posibles mecanismos de

accionamiento que se pueden usar para que el corte de caucho crudo sea rápido y sencillo; los sistemas de calentamiento y control de temperatura.

- **Campo:** Recolección de datos directamente del espacio donde se suscita el hecho sin manipular o controlar ninguna variable [44]. Esta metodología no experimental ayudará al momento de registrar la cantidad de caucho cortado en una hora de trabajo sin alterar ninguna de las condiciones existentes.
- **Cualitativa:** Permite profundizar y caracterizar las causas del problema en general que pueden ser tratados antes, durante o después de la obtención y análisis de datos [45]. Se identifica las causas principales y posibles soluciones para agilizar el proceso de corte.
- **Cuantitativa:** Recopilación de datos basada en la medición numérica y análisis estadístico, con el propósito de sustentar teorías y comportamientos [45]. Empleada en la obtención de variables de temperatura, fuerza, peso, tiempo, etc.
- **Estadística:** Las técnicas estadísticas favorecen a la organización y planificación de datos experimentales de una forma eficiente [45]. Se aplica este procedimiento para la toma de decisiones y proponer soluciones en condiciones de incertidumbre.
- **Aplicada:** En este tipo de investigación se resolverán problemas prácticos, basándose en una investigación que muestren desarrollos tecnológicos [43]. Usados para la modificación de una prensa hidráulica en desuso para el posterior diseño de la máquina cortadora semiautomática.

En la Fig. 33 se describe las etapas de la metodología de la investigación usadas para este proyecto.



**Fig. 33** Descripción de las etapas de metodología.

## 2.4 Diagrama causa – efecto

En la Fig.34 se detalla el principal problema en el que se sustenta el trabajo de titulación, para el posterior análisis de una solución que satisfaga la necesidad que presenta la empresa.

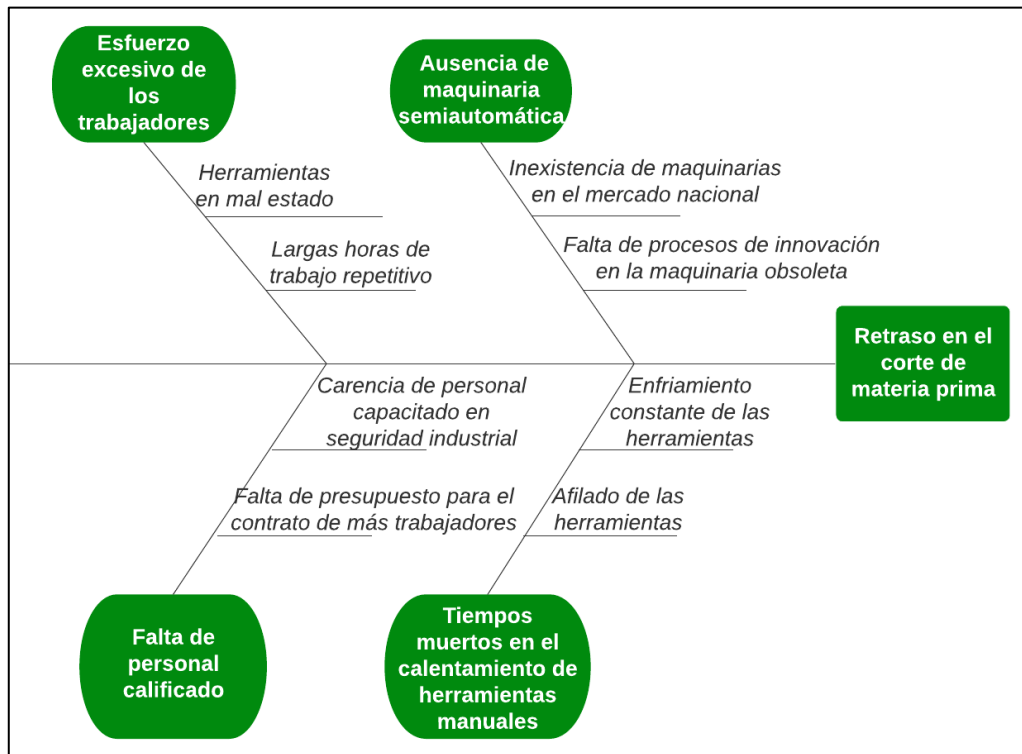


Fig. 34 Diagrama causa-efecto de la problemática principal

## 2.5 Operacionalización de las variables

En la Tabla 3 se analiza la operacionalización de la variable independiente que describe la problemática de la empresa y la solución respectiva para cada definición operacional.

**Tabla 3.** Operacionalización de las variables. Corte de caucho crudo

Variable	Tipo	Dimensión conceptual	Definición operacional	Indicadores	Ítems básicos	Técnicas Instrumentales
Corte de caucho crudo	Independiente	En la industria de la fabricación de caucho automotriz se necesita materia prima cortada para su posterior laminado y vulcanización. Para este proceso se requiere hacerlo en un tiempo determinado con la aplicación de herramientas de corte manual calentadas a una cierta temperatura.	Peso del material cortado	Peso (Kilos)	¿De qué manera se puede medir la cantidad de caucho cortada?	Uso de instrumento para medir la materia prima (Balanza)
			Tiempo de corte	Tiempo (Horas)	¿Cómo disminuir el tiempo que conlleva realizar el corte de caucho crudo?	Diseño y construcción de una cortadora semiautomática
			Temperatura de las herramientas	Temperatura (Celsius o Fahrenheit)	¿Es posible mantener la temperatura constante de las herramientas?	Aplicando un sistema de calentamiento controlado (Niquelina - Pirómetro)
			Fuerza requerida para el corte	Fuerza (Newton) $F = ma$	¿Cómo generar una fuerza continua para el corte?	Usando una herramienta mecánica (Actuador hidráulico)

## 2.6 Técnicas e instrumentos

Para el diseño y construcción de la máquina se toman en consideración aspectos de fuerza, soporte, electrónica y control. Estos parámetros serán descritos en los siguientes puntos.

### 2.6.1 Diseño mecánico

A continuación, se especifican las ecuaciones y teorías para el análisis de los puntos críticos en la estructura mecánica, así como los métodos de unión.

#### 2.6.1.1 Análisis estáticos

- **Esfuerzo normal:** Para los cálculos de los puntos de tracción y compresión de la estructura, expuestas en las Fig. 35, Fig. 36 y Fig. 37

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

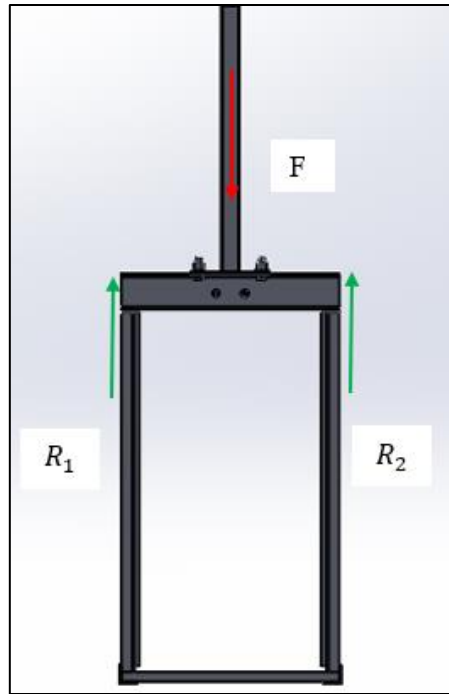


Fig. 35 Diagrama cuerpo libre de la estructura en general

- **Esfuerzo cortante:** Para los cálculos del punto crítico en la unión emperrada. Ver Fig. 36

$$\tau_{prom} = \frac{V}{2A} \quad (2)$$

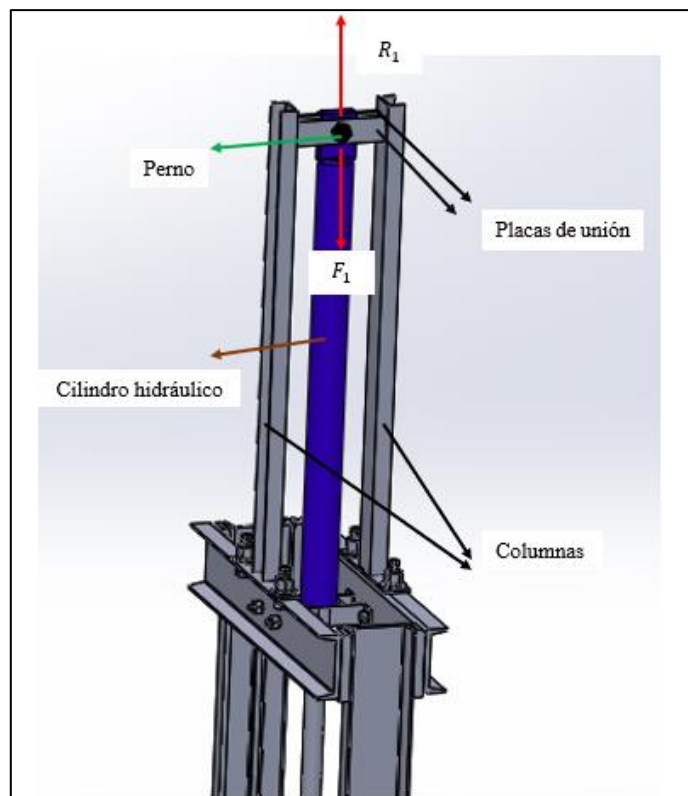
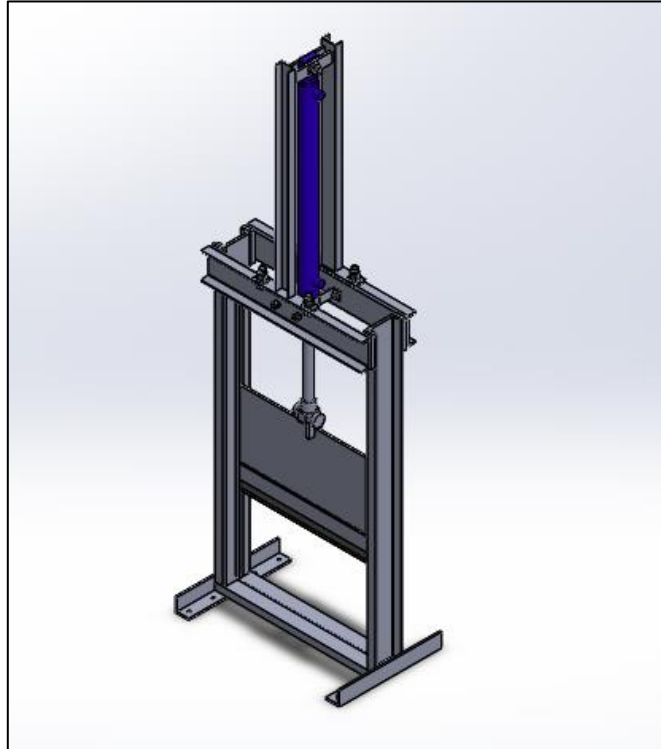


Fig. 36 Diagrama de cuerpo libre de la zona crítica

- **Esfuerzo por flexión:** Para encontrar los tipos de reacciones y momento máximo que se produce en la estructura

$$\sigma = -\frac{Mc}{I} \quad (4)$$



**Fig. 37.** Diseño de la cortadora en SolidWorks

### 2.6.1.2 Elección del material y tipo de viga

Acero ASTM A36, por la disponibilidad en el mercado y sus características mecánicas:

- Esfuerzo de fluencia:  $220\text{MPa}$  ó  $32\text{ksi}$
- Límite de rotura:  $410\text{MPa}$
- Densidad:  $78860\text{kg}/\text{m}^3$
- Resistencia a la tracción:  $400 - 550\text{MPa}$
- Elongación: 23%
- Dureza: *Brinell* → 119HBM
- Módulo de elasticidad:  $200\text{GPa}$

Acero AISI 304, por ser un acero resistente para el soporte de los puntos críticos

- Recocido
- Resistencia a la fluencia:  $276\text{MPa}$
- Límite de rotura:  $1600\text{MPa}$



- Densidad:  $7.3g/cm^3$
- Módulo de elasticidad:  $210GPa$
- Resistencia a la tracción:  $460MPa$
- Dureza: *Brinell*  $\rightarrow 190$
- Elongación: 60%

Viga tipo UPN

- Costo económico accesible
- Disponibilidad en el mercado
- Ayuda aligerar el peso de la estructura
- Alta resistencia a la corrosión
- Punto de fluencia de  $235 MPa$ .

### 2.6.1.3 Factor de seguridad

Para el respectivo análisis del factor de seguridad de los puntos críticos, asegurando un diseño confiable.

$$F.S. = \frac{\text{Esfuerzo último}}{\text{Esfuerzo permisible}} \quad (5)$$

### 2.6.1.4 Proceso de soldadura con arco eléctrico

Para la unión permanente se utiliza la siguiente fórmula correspondiente a la soldadura a tope.

$$\tau = \frac{F}{h l} \quad (6)$$

### 2.6.1.5 Unión por pernos

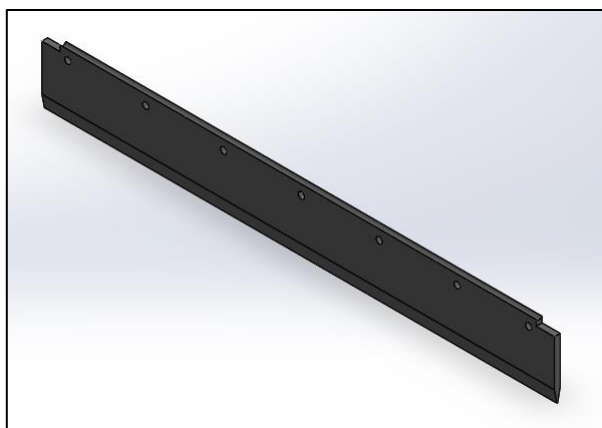
Para determinar que la mayor cantidad de fuerza soporte la junta y no el perno se utiliza la siguiente expresión:

$$c = \frac{K_b}{K_b + K_m} \quad (10)$$

### 2.6.1.6 Cuchilla para la guillotina

Una cuchilla de dimensiones de  $700mm \times 100mm \times 9mm$

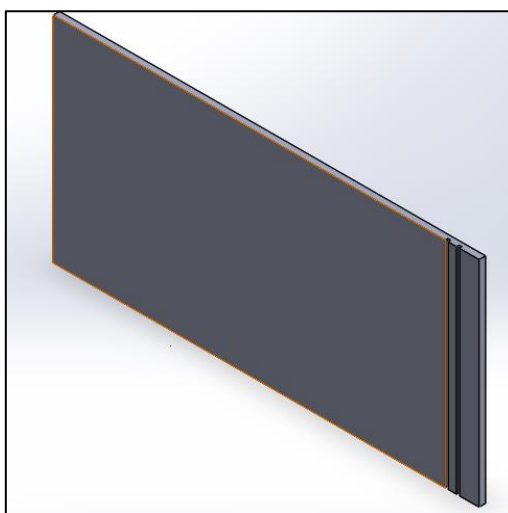
- Fabricada con materia de hoja de resorte para una mayor dureza
- Resiste altas temperaturas
- Resistente a la corrosión



**Fig. 38** Cuchilla

### **2.6.1.7 Plancha portacuchilla**

Plancha de hierro de dimensiones  $790\text{mm} \times 400\text{mm} \times 12\text{mm}$



**Fig. 39** Plancha portacuchilla

## **2.6.2 Sistema hidráulico**

### **2.6.2.1 Motor de inducción trifásico**

Se utilizará un motor en desuso proporcionado por la empresa para la disminución de costos económicos del proyecto. Marca EBC, es robusto, genera grandes potencias y fácil mantenimiento. Sus características son las siguientes:

- Modelo: CC058A
- Potencia:  $10\text{Hp}$
- Velocidad:  $1750\text{rpm}$
- Temperatura ambiente:  $400^{\circ}\text{C}$
- Voltaje:  $230 - 460\text{V}$
- Amperaje:  $26.4 - 13.2\text{A}$

- Factor de servicio: 1.15
- Peso: 185*lbs*



**Fig. 40** Motor trifásico

### 2.6.2.2 Manómetro analógico

Para el sistema de monitoreo de la presión se eligió el manómetro marca STAUFF.

- Presión: 5000*Psi*
- Caja de acero inoxidable
- Montaje de vástago macho NPT
- Peso: 0.15*Kg*



**Fig. 41** Manómetro analógico

### 2.6.2.3 Filtro de línea de retorno

Marca STAUFF

- Modelo RTF48N25XXXB/SI/V
- Presión operacional: 5000*Psi*
- Clasificación de flujo: 379*lt/min*
- Conexión: NPT

- Material: Cabeza de aluminio y tazón de poliamida o acero.
- Filtro de 25  $\mu m$



**Fig. 42** Filtro de línea de retorno

#### **2.6.2.4 Tanque de almacenamiento y aceite hidráulico**

Capacidad de 20 galones para almacenaje del aceite hidráulico.

El aceite hidráulico ISO68 que cuenta con las siguientes características:

- Estabilidad termo oxidante
- Protección anti - desgaste para los elementos mecánicos
- Resistencia a la emulsión de agua y formación de espuma

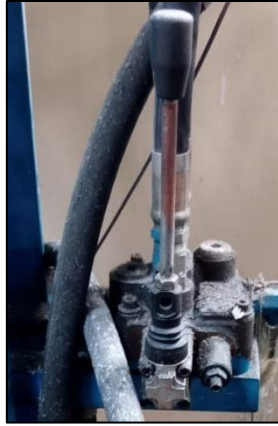


**Fig. 43** Tanque de almacenamiento

#### **2.6.2.5 Válvula hidráulica**

Válvula de dirección marca FTZ.

- 3 posiciones de manipulación
- Regulación de presión
- Velocidad constante
- 2 puertos de entradas y salidas
- Centro de enchufe cerrado
- Válvula de alivio de 900 – 3000Psi



**Fig. 44** Válvula hidráulica

### **2.6.2.6 Cilindro hidráulico**

Cilindro de manufactura nacional que cuenta con las siguientes características

- Camisa bruñida *INT. 2 1/2 X 3 1/4" X 110 cm* longitud
- Diámetro del vástago: *45mm*
- Carrera: *93cm*
- Presión máxima: *3500Psi*

Para calcular la fuerza del cilindro de doble efecto

Avance

$$F = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot P \quad (15)$$

Retroceso

$$F = \frac{\pi}{4} (d^2 - dv^2) \cdot P \quad (16)$$

### **2.6.2.7 Mangueras hidráulicas**

Mangueras fabricadas de caucho y estructura de acero prensado interno.

- Soporta presiones de hasta *3500Psi*
- Longitud de *150cm*

## **2.6.3 Sistema eléctrico y de control**

### **2.6.3.1 Dispositivo para calentamiento de cuchilla**

La opción más fiable es trabajar con una resistencia eléctrica, se elige una niquelina de forma tubular debido a las características que se describen:

- La transferencia de calor se realiza de manera directa y homogénea hacia la parte superior de la cuchilla.
- Óptimo para espacios reducidos.
- La potencia es de  $900W$  a un voltaje de  $220V$
- Dimensiones de  $700mm$  de longitud y  $11mm$  de diámetro.

Las partes principales de la niquelina tubular se presentan en la Fig. 45

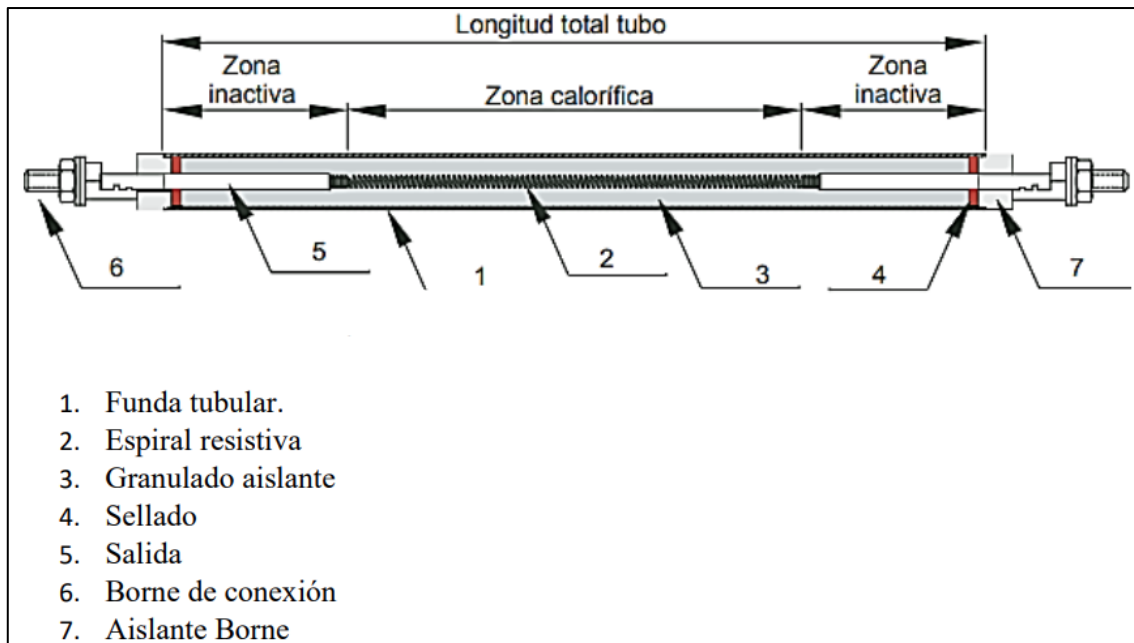


Fig. 45 Estructura de una resistencia tubular [32]

### 2.6.3.2 Pirómetro

Se selecciona un pirómetro digital de la marca CAMSCO REX C700 para el control de la temperatura de la cuchilla. Este cuenta con las siguientes características.

- Voltaje de entrada:  $110V$  y  $220V$  a  $60Hz$
- Rango de temperatura:  $32$  a  $752^{\circ}F$
- Precisión de control de temperatura:  $1.0$
- Método de control: PID y ajuste automático
- Control por histéresis
- Consumo de energía: Menos de  $10 VA$
- Método de salida: Relé
- Sensor recomendado: Termocupla tipo K PT100 con sonda de acero inoxidable



**Fig. 46** Pirómetro CAMSCO REX-C700

### 2.6.3.3 Aislante térmico

La transferencia de calor ocasionada por la niquelina provoca que aparte de la cuchilla se calienten las piezas metálicas que se encuentran junto a la misma, para esto se utiliza un aislante térmico llamado amianto, el cual resiste temperaturas de hasta  $300^{\circ}\text{C}$  en un tiempo aproximado de 10 horas de trabajo, de esta manera se disminuye la transferencia de calor para los elementos que necesitan protección térmica. En la Fig. 46 se muestra el tipo de aislante empleado.



**Fig. 47** Aislante térmico (Amianto)

### 2.6.3.4 Contactador

Contactador trifásico marca *CHINT NC1 – 4011*. Las características del contactador son las siguientes.

- Voltaje boina: 220V/60Hz
- Corriente: 40A AC
- 1 contactor abierto y 1 cerrado.
- Potencia 12Hp

### 2.6.3.5 Guardamotor trifásico

Guardamotor SASSIN:

- Modelo LR2-D3353
- Margen de regulación de relé térmico: 23 a 32 A
- Temperatura de trabajo:  $-5^{\circ}C$  a  $40^{\circ}C$
- Grado de protección: IP20
- Potencia motor: 3 – AC3: 7.5 Kw (10Hp)

### 2.6.3.6 Elementos de señalización

Luz piloto CAMSCO color verde:

- Modelo AD 16-12 D/S
- Voltaje permitido: 220V – 240V AC

### 2.6.3.7 Dispositivos de seguridad

Botón de paro de emergencia marca CAMSCO

- Modelo: LMB-ES5
- Giro con retención, hongo 40mm
- Contactor NC

Breaker marca CHIN

- Modelo: NXB 63-2PC10
- Monofásico para 6A
- Tensión nominal: 220V

Breaker marca MCCB

- Modelo: ABE 53b



- Trifásico para 40A
- Tensión nominal: 690V
- Frecuencia 50/60Hz
- Temperatura máxima de trabajo 40°C

## **2.7 Conclusión del capítulo**

Frente a la falta de maquinaria especializada en el corte de caucho que ocasiona paradas prolongadas en la producción de la empresa, se propone la solución de diseñar y construir una cortadora hidráulica implementando un control de temperatura, comenzando con una investigación metodológica y la recopilación de datos numéricos para finalizar con un análisis estadístico de las variables estudiadas (tiempo, fuerza, temperatura y peso).

Se especifican los materiales y componentes principales para llevar a cabo la construcción de la mencionada máquina, tomando en consideración el diseño mecánico, sistema hidráulico, sistema eléctrico y de control. La correcta elección de los materiales permite agilizar el proceso de construcción y abastecimiento de los posibles proveedores en el mercado nacional.

## CAPÍTULO III

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1 Introducción

En el presente capítulo se realizarán ensayos experimentales de la fuerza necesaria para el corte de caucho crudo, así como los cálculos correspondientes del sistema hidráulico, los mecanismos de unión temporal y permanente, la resistencia de la estructura y el rango de la histéresis que describe el comportamiento de la cuchilla caliente en un periodo específico.

#### 3.2 Descripción de la situación actual

Debido a que los trabajadores necesitan aproximadamente 16 horas laborables para cortar 1200 kilos de caucho crudo se inclina a la idea de la construcción de una cortadora de caucho, aprovechando la fuerza que proporciona un cilindro hidráulico y disminuyendo los esfuerzos de corte mediante un sistema de calentamiento para la cuchilla empleando para este trabajo una niquelina controlando la transferencia de calor por un pirómetro. Bajo estos parámetros se busca reducir el tiempo de corte del caucho crudo y disminuir los esfuerzos en los trabajadores.

#### 3.3 Cálculos y Selección

##### 3.3.1 Ensayo de corte del caucho crudo

El ensayo de corte cuyos materiales se muestra en la Fig. 48 y Fig. 49 se llevó a cabo en cinco pruebas distintas. Las dimensiones del caucho cortado son de 50mm x 50mm x 50mm.

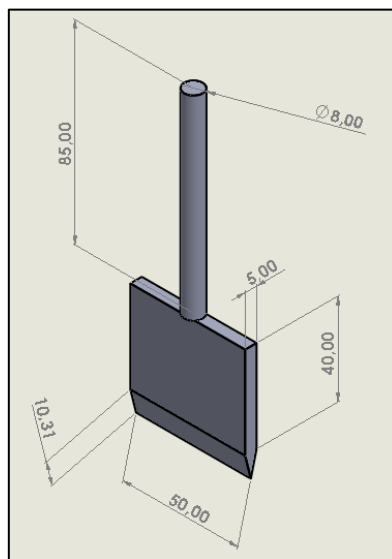


Fig. 48 Dimensiones en (mm) - prototipo de cuchilla



**Fig. 49** Materiales para el ensayo. (Balanza y cuchilla)

En el Anexo 2 se muestra el proceso experimental para encontrar la fuerza necesaria para el corte de caucho, usando un prototipo de cuchilla. Se evalúa la fuerza física con los parámetros de peso y gravedad. En la Tabla. 4 se tabulan los resultados obtenidos.

**Tabla 4** Resultados de la fuerza de corte del caucho crudo

N° Ensayos	Peso ( <i>kg</i> )	Gravedad ( <i>m/s<sup>2</sup></i> )	Fuerza de corte ( <i>N</i> )
1	18	9,8	176,4
2	17	9,8	166,6
3	17	9,8	166,6
4	19	9,8	186,2
5	17	9,8	166,6
<b>Promedio Total</b>			<b>172,48 ≈ 175</b>

### 3.3.2 Fuerza de corte de la cuchilla

Se tiene una cuchilla de área  $250\text{mm}^2$  con un espesor de  $6\text{mm}$  que ejerce una fuerza de corte de  $175\text{N}$  mostrados en la Tabla 4, para la construcción de la cuchilla a tamaño real, el área es de  $75000\text{mm}^2$  y espesor  $9\text{mm}$ . ¿Cuánta fuerza se necesita aplicar?

Para realizar los cálculos correspondientes se utiliza la Tabla 5.

**Tabla 5** Regla de tres compuesta. Relación prototipo - cuchilla

	Área <i>mm<sup>2</sup></i>	Espesor <i>mm</i>	Fuerza <i>N</i>
Prototipo	250	6	175
Cuchilla	75000	9	x

Donde:

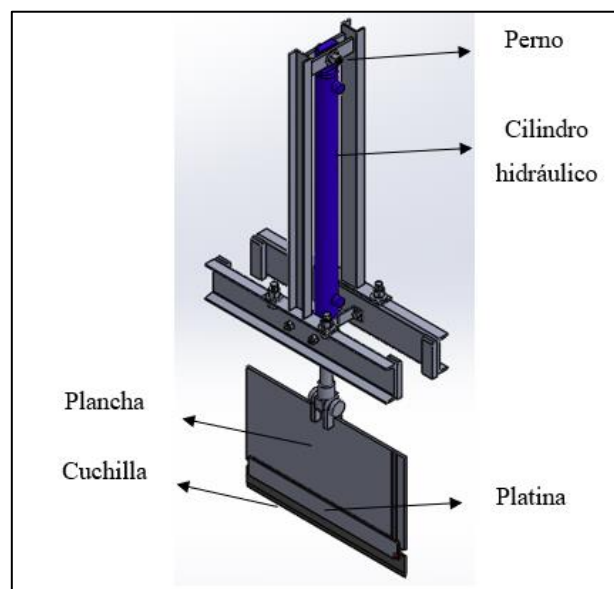
$$\frac{175}{x} = \frac{250}{75000} * \frac{6}{9}$$
$$x = 78750 \text{ N} \approx 80 \text{ kN}$$

Por lo tanto, se necesita una fuerza aproximada de  $80 \text{ kN}$  para realizar el corte del caucho a tamaño real y comprobar si el cilindro hidráulico disponible genera la fuerza requerida.

### 3.3.3 Cálculo del peso total de la guillotina

Para una correcta elección de un perno de sujeción se debe tomar en consideración el peso total de la estructura (guillotina) que va a sostener, esta se visualiza en la Fig. 50. Los parámetros a ser evaluados son los pesos de:

- 1 cilindro hidráulico:  $80 \text{ kg}$
- Aceite hidráulico dentro del cilindro:
- 1 plancha:  $31 \text{ kg}$
- 1 cuchilla:  $8 \text{ kg}$
- 2 platinas:  $12 \text{ kg}$
- Aislante, niquelina:  $1 \text{ kg}$



**Fig. 50** Peso total del accionamiento de la guillotina

Para calcular la cantidad de aceite hidráulico dentro del cilindro se utiliza la fórmula de volumen para cilindros y densidad, teniendo como datos principales el diámetro interno del

actuador lineal  $77\text{mm} = 0.077\text{m}$ , la carrera del cilindro  $930\text{mm} = 0.93\text{m}$  y densidad del aceite  $882\text{ kg/m}^3$

$$V = \frac{\pi d_i^2}{4} h$$

$$V = \frac{\pi(0.077\text{m})^2}{4} (0.93\text{m})$$

$$V = 4.33 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

$$m_{\text{aceite}} = \delta V$$

$$m_{\text{aceite}} = 882 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4.33 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

$$m_{\text{aceite}} = 3.82 \text{ kg}$$

La sumatoria de los parámetros antes mencionados se muestra a continuación

$$\text{Peso total} = m = 80\text{kg} + 3.82\text{kg} + 31\text{kg} + 8\text{kg} + 12\text{kg} + 1\text{kg}$$

$$m = 135.82\text{kg}$$

Añadiendo  $50\text{kg}$  extra al peso total, finalmente se tiene

$$m = 185.82\text{kg}$$

Por lo cual, para calcular la fuerza que ejerce todo el mecanismo en cuanto a su peso es:

$$F = ma$$

$$F = 185.82\text{kg} \left( \frac{9.8\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$F = 1821.036 \text{ N}$$

### 3.3.4 Selección del sistema hidráulico

Condiciones estándares para el trabajo del cilindro hidráulico.

- Tamaño máximo de caucho crudo a cortarse:  $90\text{cm} \times 70\text{cm} \times 80\text{cm}$
- Fuerza de corte necesaria  $80\text{kN}$
- Presión de trabajo para maquinaria de la fábrica:  $2800 \text{ Psi} \approx 19.30 \text{ MPa}$

Dimensiones del actuador lineal disponible:

- *Diámetro externo:*  $83\text{mm}$
- *Diámetro interno:*  $77\text{mm}$
- *Diámetro del vástago:*  $45\text{mm}$

Se realiza el cálculo para verificar si la fuerza ejercida por el actuador es suficiente para el trabajo de la máquina. Se analiza con las ecuaciones (15) y (16).

Avance

$$P = \frac{F_a}{A}$$
$$F_a = 19.30MPa \left[ \frac{\pi * (0.077m)^2}{4} \right]$$
$$F_a = 89.87 kN$$

El cilindro ejerce una fuerza máxima de avance de 89.87kN, cumpliendo con la condición necesaria de trabajo para el corte que es de 80kN. Esta fuerza será usada para los cálculos de los puntos críticos.

Retroceso

$$F_r = \frac{\pi}{4}(d^2 - dv^2)P$$
$$F_r = \frac{\pi}{4}[(0.077m)^2 - (0.045m)^2] * 19.30MPa$$
$$F_r = 59.18kN$$

El cilindro ejerce una fuerza máxima de retroceso de 59.18kN, cumpliendo con la condición necesaria de trabajo para levantar el peso de la guillotina por la acción de la gravedad de 1.82kN

### 3.3.5 Cálculo de potencia del motor

Condiciones de trabajo:

- Fuerza de avance del cilindro hidráulico: 89.87kN
- Distancia de corte (salida del vástago): 0.93m
- Tiempo de corte: 12segundos por cronómetro

De acuerdo a la fórmula (13)

$$P = \frac{89.87kN * 0.93m}{12s}$$
$$P = 6964.925W \approx 9.34HP$$

Por lo cual el motor de 10HP disponible, cumple con la condición de trabajo.

### 3.3.6 Cálculos de pernos

Como se observa en la Fig. 36, para el agarre se toma en consideración las dos placas de unión de  $12\text{mm} \approx 0.47\text{ pulg}$  cada una y el ancho de la placa superior del cilindro de  $30\text{mm} \approx 1.18\text{ pulg}$

De acuerdo a las condiciones de diseño del cilindro hidráulico, la parte superior posee una sujeción de forma cuadrada con un agujero central de  $1\text{ pulg}$ , en base a estos parámetros se escogió un perno de cabeza hexagonal grado 5,  $1\text{ pulg } 20\text{ UNC} \times 3\frac{1}{2}\text{ pulg}$ .

A continuación, se calcula las dimensiones que tendrá el perno:

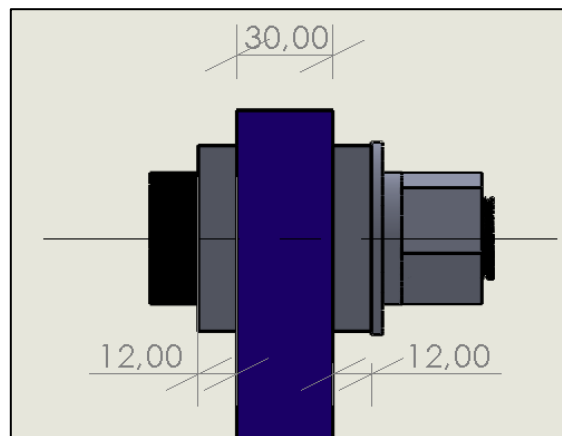


Fig. 51 Dimensionamiento del agarre en mm

$$l = 2 * (0.47\text{pulg}) + 1.18\text{pulg}$$

$$l = 2.12\text{ pulg}$$

El diámetro del perno es de  $1\text{pulg}$  y mediante tablas se consigue la altura de la tuerca la cual se encuentra en la Fig. 52 ( $H = \frac{43}{64}\text{ pulg}$ ), se recomienda un paso de 2 hilos, por lo tanto, se tiene una distancia de  $\frac{2}{20}$ .

Tamaño nominal, pulg	Cuadrada		Hexagonal regular		
	W	H	W	H	R <sub>mín</sub>
$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{11}{64}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{11}{64}$	0.01
$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{13}{64}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{7}{32}$	0.01
$\frac{3}{8}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{4}$	0.01
$\frac{7}{16}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{19}{64}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{19}{64}$	0.01
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{11}{32}$	0.01
$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{27}{64}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{27}{64}$	0.02
$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$	0.02
<b>1</b>	$1\frac{1}{2}$	$\frac{21}{32}$	$1\frac{1}{2}$	<b><math>\frac{43}{64}</math></b>	0.03

Fig. 52 Dimensiones tuerca. [25]

La arandela recomendada según el Anexo 3 para 1 pulg es de  $D_i = 1.062 \text{ pulg}$ ,  $D_e = 2 \text{ pulg}$  y  $\text{Espesor} = 0.134 \text{ pulg}$

La rodela de presión recomendada para 1 pulg es de  $D_i = 1,062 \text{ pulg}$ ,  $D_e = 1\frac{1}{2} \text{ pulg}$  y  $\text{Espesor} = \frac{15}{64} \text{ pulg}$

La longitud total del perno se obtiene mediante la sumatoria del agarre, la altura de la tuerca, el paso, los espesores de la arandela y rodela de presión.

$$L = 2.12 \text{ pulg} + \frac{43}{64} \text{ pulg} + \frac{2}{20} \text{ pulg} + 0.134 \text{ pulg} + \frac{15}{64} \text{ pulg}$$

$$L = 3.26 \text{ pulg}$$

De acuerdo al Anexo 4 se aproxima el valor de la longitud total del perno a valores disponibles en catálogos, siendo  $L = 3\frac{1}{2} \text{ pulg}$

Para calcular la rigidez efectiva del perno se utiliza la ecuación (8), para esto se evalúa los siguientes parámetros:

- Longitud total roscada:

$$L_T = 2d + \frac{1}{4}$$

$$L_T = 2(1 \text{ pulg}) + \frac{1}{4}$$

$$L_T = 2.25 \text{ pulg}$$

- Longitud no roscada:



$$l_d = L - L_T$$

$$l_d = 3\frac{1}{2}pulg - 2.25pulg$$

$$l_d = 1.25pulg$$

- Longitud roscada en el agarre:

$$l_t = l - l_d$$

$$l_t = 2.12 pulg - 1.25pulg$$

$$l_t = 0.87pulg$$

- Área de la parte no roscada:

$$A_d = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A_d = \frac{\pi(1pulg)^2}{4}$$

$$A_d = \frac{\pi}{4}pulg^2$$

- Área de la parte roscada y módulo de elasticidad del perno se encuentran en Anexo 5 y Anexo 6 correspondientemente.

$$K_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d}$$

$$K_b = \frac{\left(\frac{\pi}{4}pulg^2\right)(0.606pulg^2)(30x10^6Psi)}{\left(\frac{\pi}{4}pulg^2\right)(0.87pulg) + (0.606pulg^2)(1.25pulg)}$$

$$K_b = 9.91Mlb/pulg$$

Utilizando la ecuación (9), se obtiene el valor de la junta total

$$K_m = \frac{0.5774\pi Ed}{2 \ln \left(5 \frac{0.774l + 0.5d}{0.5774l + 2.5d}\right)}$$

$$K_m = \frac{0.5774\pi(30x10^6Psi)(1pulg)}{2 \ln \left(5 \frac{0.5774(2.12 pulg) + 0.5(1pulg)}{0.5774(2.12 pulg) + 2.5(1pulg)}\right)}$$

$$K_m = 32.52Mlb/pulg$$

La carga externa soportada por el perno se encuentra con la fórmula (10)

$$c = \frac{K_b}{K_b + K_m}$$

$$c = \frac{9.91 \frac{Mlb}{pulg}}{9.91 \frac{Mlb}{pulg} + 32.52 \frac{Mlb}{pulg}}$$

$$c = 0.2335 \cong 23.35\%$$

Lo que significa que la carga externa es soportada en un 23.35% por el perno y un 76.65% por la junta, lo que es factible porque la mayor cantidad de carga externa soportada debe hacerla la junta y no el perno.

Para determinar el factor de carga en relación a la fuerza de avance del cilindro  $89.87kN \approx 20204.59lbf$  se utiliza la fórmula (11)

$$n = \frac{S_p A_t - F_i}{c \left( \frac{P}{N} \right)}$$

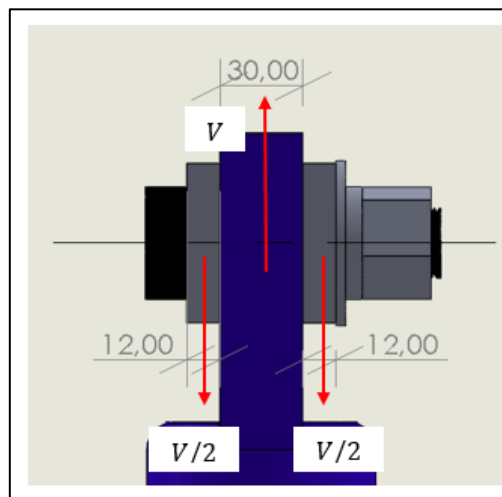
$$n = \frac{(85kPsi)(0.606in^2) - 38632.5lbf}{0.23 \left( \frac{20204.59lbf}{1} \right)}$$

$$n = 2.77$$

Con el resultado final se concluye que el factor de carga es correcto y funcional para el diseño.

### 3.3.7 Esfuerzo cortante

Para determinar la cantidad de fuerza que soporta el perno como se muestra en la Fig. 54, es necesario comparar la fuerza de avance del cilindro  $89.87kN$ , con la fuerza producida por la acción del esfuerzo cortante determinada por el grado del perno y el área de la sección con espesor más pequeño. Teniendo como datos, la resistencia de fluencia de  $85kpsi$  del Anexo 1 y el área mínima de la placa de unión  $12mm \approx 0.47 pulg$ . En la Fig. 53 se observa el comportamiento de las fuerzas.



**Fig. 53** Esfuerzo cortante en el perno

$$\tau_{prom} = \frac{V}{2A}$$

$$V = \tau_{prom} 2A$$

$$V = 85kpsi \left( 2 \frac{\pi(0.47pulg)^2}{4} \right)$$

$$V = 29494.06 lbf \approx 131.20kN$$

Por lo tanto, se deduce que: el perno soporta una fuerza máxima de  $131.20kN$ , superando a la fuerza de avance del cilindro, lo que significa que el perno logra resistir 1.45 veces la fuerza ejercida por el actuador.

### 3.3.8 Resistencia de la cuchilla

La fuerza de corte del caucho es de  $80kN$  para tamaño real de la máquina, puesto que la carga de rotura se calcula con la fuerza necesaria para el corte de caucho sobre la muestra dividida por el área de la misma de  $75000mm^2$ , se obtiene la resistencia:

$$\sigma_{caucho} = \frac{80kN}{75000mm^2}$$

$$\sigma_{caucho} = 1.067 MPa$$

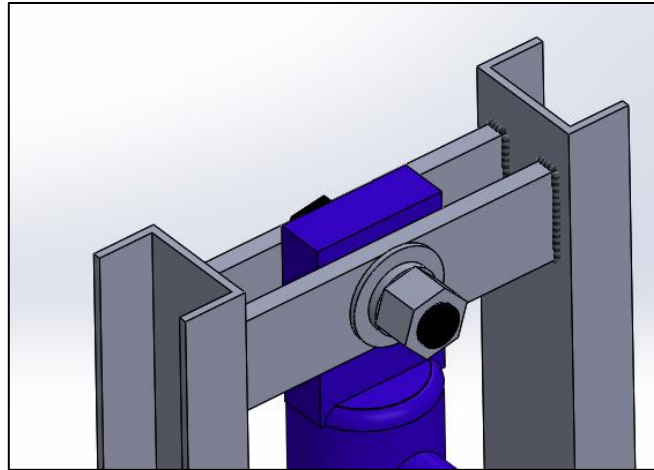
El material de la cuchilla presenta una resistencia de  $275MPa$  al ser un acero SAE 5160 utilizado principalmente para la elaboración de hojas de resorte, ideal para una buena resistencia al momento de realizar los cortes.

Por lo tanto, la resistencia de la cuchilla es superior a la del caucho, lo que posibilita la ejecución del trabajo presentado.

La cuchilla al ser calentada con la niquelina y ejecutando el corte del caucho crudo, se adhieren pequeñas partes del polímero a la herramienta principal, por lo cual es necesario colocar un químico desmoldante llamado “ALCOSPERSERIL”, su ficha técnica se presenta en el Anexo 7.

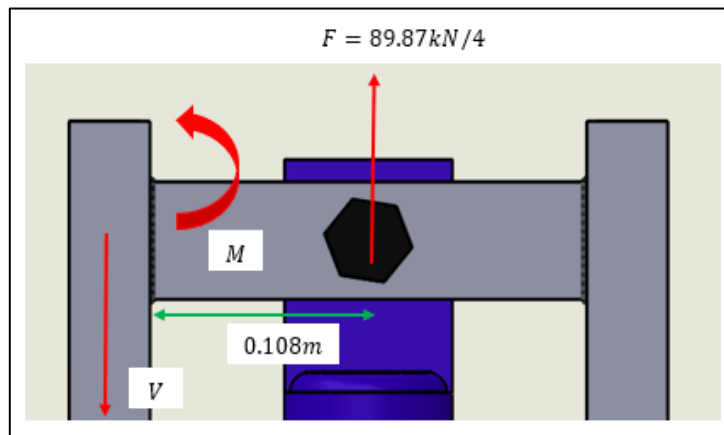
### 3.3.9 Cálculos de soldadura

En la Fig. 54 se muestra las dos placas y los cuatro cordones de suelda que soportan la fuerza máxima que ejerce el cilindro.



**Fig. 54** Punto crítico para las placas soldadas.

Para un mejor análisis se reparte la fuerza en cuatro soportes, por lo cual solo es necesario analizar un cordón de soldadura como se muestra en la Fig. 55



**Fig. 55** Junta a flexión

El valor de  $V$ :

$$\sum F_x = 0$$

$$F = V = 22.46 \text{ kN}$$

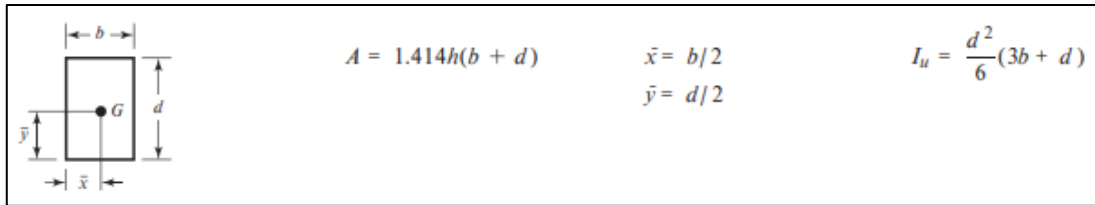
El momento resultante es:

$$M = F * d$$

$$M = \frac{89.87 \text{ kN}}{4} * 0.108 \text{ m}$$

$$M = 2426.49 \text{ Nm}$$

Las placas tienen el cordón de soldadura como se muestra en la Fig. 56, donde  $b = 12 \text{ mm}$ ,  $d = 58 \text{ mm}$  y una garganta de suelda de  $11.5 \text{ mm}$



**Fig. 56** Propiedades flexionantes de la soldadura de filete. [25]

En donde el área es:

$$A = 1.414(0.0115m)(0.012m + 0.058m)$$

$$A = 1.13 \times 10^{-3} m^2$$

Segundo momento polar de inercia:

$$I_u = \frac{(0.058m)^2}{6} [(3 * 0.012m) + 0.058m]$$

$$I_u = 52.70 \times 10^{-6} m^3$$

Esfuerzo cortante primario

$$\tau' = \frac{V}{A}$$

$$\tau' = \frac{22.46kN}{1.13 \times 10^{-3} m^2}$$

$$\tau' = 19.88 MPa$$

Esfuerzo cortante secundario

$$\tau'' = \frac{\frac{Md}{2}}{0.707hI_u}$$

$$\tau'' = \frac{(2426.49 Nm) \left(\frac{0.058m}{2}\right)}{0.707(0.0115m)(52.70 \times 10^{-6} m^3)}$$

$$\tau'' = 164.23 MPa$$

Esfuerzo cortante equivalente

$$\tau = \sqrt{(\tau')^2 + (\tau'')^2}$$

$$\tau = \sqrt{(19.88 MPa)^2 + (164.23 MPa)^2}$$

$$\tau = 165.43 MPa$$

Factor de seguridad con el acero AISI 304 Recocido = 40kPsi  $\approx$  276MPa

$$fs = \frac{276 MPa}{165.43 MPa}$$

$$fs = 1.67$$

Se comprueba que los cordones de soldadura en el punto crítico son seguros.

### 3.3.10 Soporte mecánico

Se realiza los cálculos correspondientes para los parantes que sujetan al cilindro hidráulico y todo el peso que lo constituye. La distribución de fuerzas se observa en la Fig. 57 y, en la Fig. 58 las dimensiones de la columna disponible que fueron proporcionadas por la empresa para la optimización de recursos, realizando los cálculos respectivos para una condición de diseño seguro.

Para la columna se consideró el acero AISI 1018 HR con un límite a la fluencia de 220MPa y un módulo de elasticidad de 190GPa

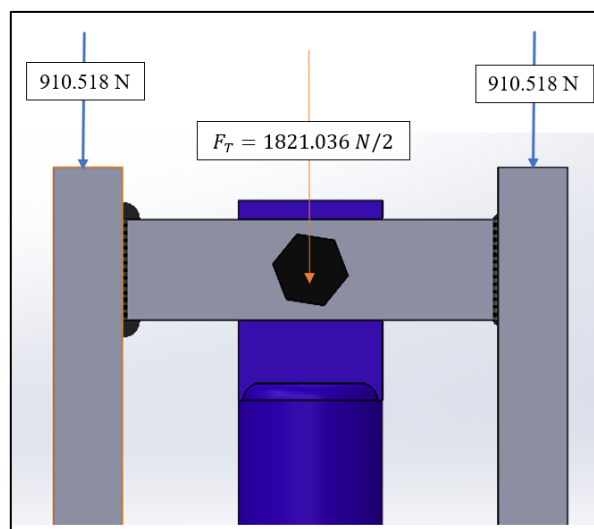


Fig. 57 Distribución de fuerzas en los parantes

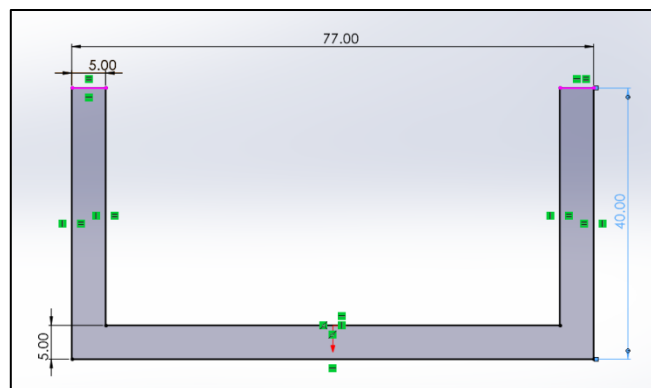


Fig. 58 Dimensiones perfil en mm

$$I = 1.27 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$A = A_{\text{externa}} - A_{\text{interna}}$$

$$A = (77 * 40) - (67 * 35) \text{ mm}^2$$

$$A = 735 \text{ mm}^2 = 735 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Según [25] para análisis de columnas:

La relación de esbeltez real:

$$SR = \frac{Cl}{r} = \frac{\frac{1}{4} * 1.11m}{0.013m} = 20.88$$

Relación de esbeltez de transición:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$
$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2(190GPa)}{220MPa}}$$
$$C_c = 130.56$$

Comparación:

$$SR < C_c$$
$$20.88 < 130.56$$

Por lo tanto, la columna es corta y se aplica:

$$P_{cr} = A * S_y * \left[ 1 - \frac{s_y * (SR)^2}{4\pi^2 E} \right]$$
$$P_{cr} = (735 \times 10^{-6} m^2) * (220 MPa) * \left[ 1 - \frac{(220 MPa) * (20.88)^2}{4\pi^2 (190 GPa)} \right]$$
$$P_{cr} = 159.63 kN \text{ Compresión}$$

La carga crítica que puede soportar la columna en compresión es de 159.63kN, siendo que en la Fig. 57 se aplica una fuerza de 910.518N, por lo tanto, la columna es segura para el soporte necesario.

### 3.3.11 Controlador por histéresis para la planta

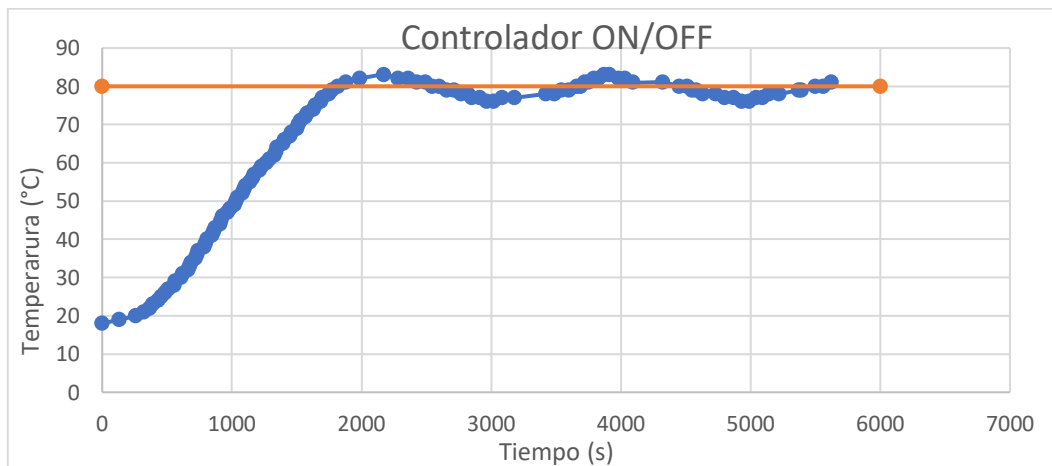
El controlador implementado para la activación de la niquelina es de tipo ON/OFF manejado por el pirómetro, su funcionamiento consiste en activar o desactivar el paso del voltaje hasta obtener la temperatura requerida, la cual es monitoreada por la termocupla tipo K PT100 ubicada en el extremo superior de la cuchilla.

Realizando ensayos experimentales de corte con la máquina en funcionamiento a diferentes temperaturas, se obtienen los resultados en la Tabla 6.

**Tabla 6** Resultados del ensayo de temperatura de la cuchilla

N° Ensayos	Temperatura (°C)	Tiempo de calentamiento (min)	Presión para el corte (Psi)
1	20	4	2800
2	35	15	2750
3	50	20	2715
4	70	28	2700
5	80	35	2600

En base a los valores obtenidos en los ensayos se logra delimitar la temperatura ideal para el corte cuyo valor es  $80^{\circ}\text{C}$  la cual no permite que el caucho se vulcanice y pierda sus propiedades en el proceso, pero a la vez esta temperatura permite realizar un corte con menor esfuerzo. Para llegar a los  $80^{\circ}\text{C}$  se necesita un tiempo de 40min para calentar la cuchilla, por lo tanto, la histéresis a manejar es de  $2^{\circ}\text{C}$ , al tomar los datos de temperatura vs tiempo se obtiene la oscilación de la Fig. 59



**Fig. 59** Curva característica del controlador ON/OFF

### 3.4 Selección del cableado

#### 3.4.1 Cableado del motor

Para determinar el calibre del cable para el motor conectado a líneas trifásicas se utiliza la fórmula (20) en función de la potencia.

- Potencia del motor:  $10\text{HP} \approx 7457\text{Watts}$
- Voltaje:  $330\text{V}$



$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{7457Watts}{330V}$$

$$I = 22.59A \approx 23A$$

De acuerdo a la Tabla 7 para una intensidad de 23A se necesita un calibre 10.

### 3.4.2 Cableado de la niquelina y pirómetro

Para determinar el calibre del cable para la niquelina se emplea la fórmula (20)

- Potencia de la niquelina: 900Watts
- Voltaje: 220V

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{900Watts}{220V}$$

$$I = 4.05A \approx 5A$$

De acuerdo a la Tabla. 7 para una intensidad de 5A se necesita un calibre 12.

**Tabla 7** Calibre de cables [46]

Corriente Normalizada (A)	Calibre seleccionado (AWG)		
	Alambre TW	Alambre 90°C	THHN/THWN
25	12		14
30	10		12
35	8		10
40	8		10
45	6		8
50	6		8

### 3.5 Conexiones del sistema eléctrico

Para la activación del sistema del motor de la bomba se realizó la configuración en estrella para controlar la velocidad de motor sin afectar la capacidad de carga. El diagrama de potencia se observa en la Fig. 60 y el diagrama de control en la Fig. 61

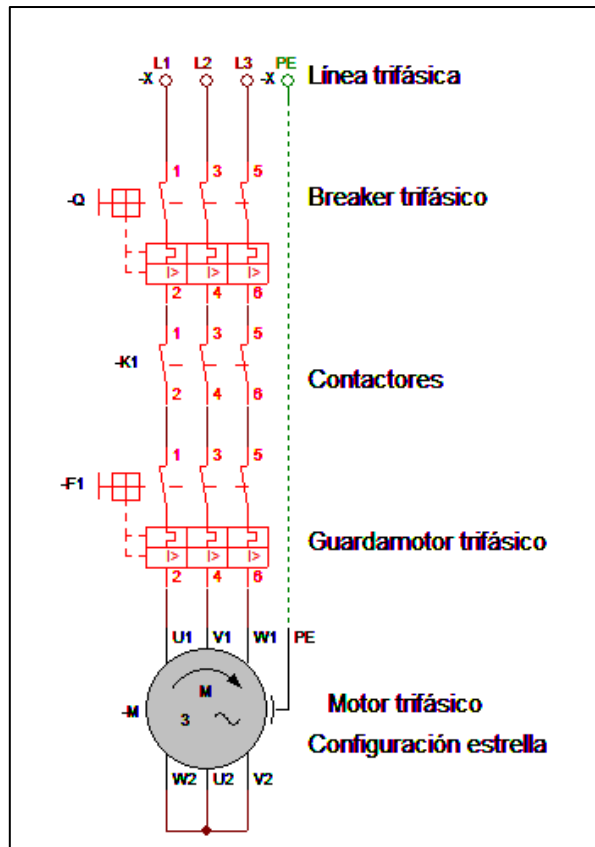


Fig. 60 Diagrama de potencia de la configuración del motor

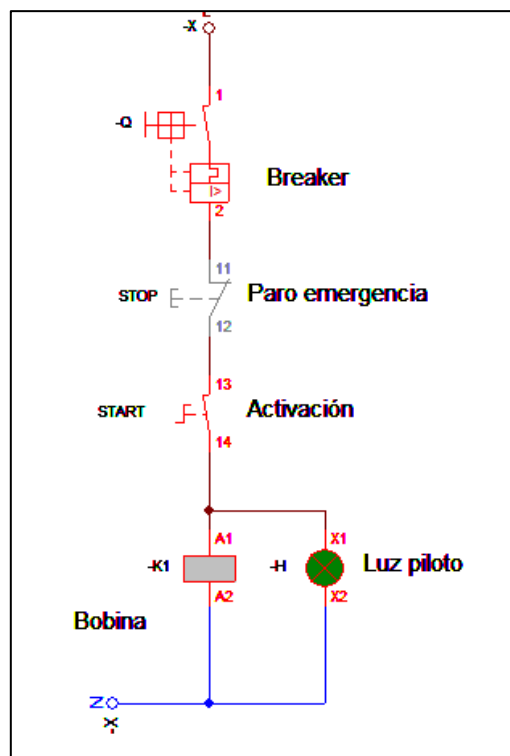
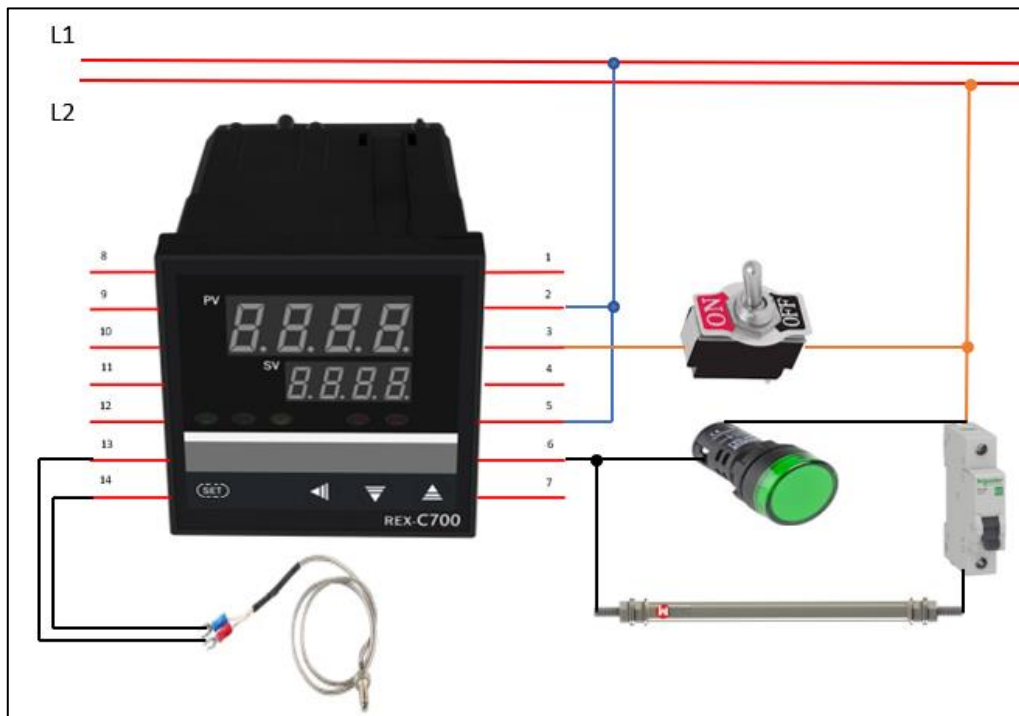


Fig. 61 Diagrama de control de la activación del motor

En la Fig. 62 se observa la conexión del pirómetro para el control de la niquelina.



**Fig. 62** Conexión del pirómetro

### 3.6 Conclusiones del capítulo

En el diseño mecánico en base a los cálculos realizados, los puntos críticos trabajan con un factor de seguridad mayor a 1.6 para las uniones de soldadura, 2,77 como factor de carga el perno principal y un sobredimensionamiento para análisis de columnas de soporte del cilindro. Se toma en consideración que todo el análisis se realizó con la cuchilla en condiciones normales, al momento que se calienta la niquelina se aplicó un control ON/OFF manejado por el pirómetro REX-C700 con una histéresis de  $2^{\circ}C$  para que el corte de la resistencia de caucho disminuya y por consecuencia la fuerza ejercida por el cilindro hidráulico es menor, se puede concluir que las variables son eficientes.

Para el sistema de protección del motor de la bomba se utiliza un breaker trifásico conectado a las líneas de alimentación y un guardamotor que soportan una tensión máxima de 690V a 40A y cumple con la seguridad europea ISO 9001, estos dispositivos brindan protecciones contra sobrecargas, cortocircuitos, variaciones anormales de corriente y bajas de tensión.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 4.1 Introducción

En el presente capítulo se analizará la comprobación de los resultados finales de implementación del proyecto en base a la hipótesis planteada, se detallará mediante un manual como es el funcionamiento de la máquina, la forma correcta de uso y los mantenimientos requeridos además de, realizar un análisis de costos para evidenciar si es factible la modificación de la máquina.

#### 4.2 Comprobación de la hipótesis

La máquina implementada puede realizar el trabajo de corte que se empleaba en un inicio con un tiempo menor y conservando las condiciones de temperatura ideal en las herramientas principales, se eliminan los sobreesfuerzos de la persona que realizaba el corte manualmente y se reemplaza esta acción por una fuerza hidráulica que es mucho mayor y puede ejecutarse en ciclos repetitivos.

#### 4.3 Comprobación de Resultados

Para el diseño mecatrónico se basa en la estructura de una cortadora de tipo guillotina utilizando un sistema hidráulico como principal fuerza de corte, para facilitar la acción y la seguridad de la maquinaria en general se emplea un sistema de calentamiento por niquelina en la cuchilla, la cual es controlada por un pirómetro que cumple la función de establecer una temperatura seteada, empleando un control ON/OFF para la activación de la resistencia eléctrica.

Los parámetros de evaluación de la planta son: los métodos de corte, cantidad de material cortado, tiempos y personal requerido. Las variables mencionadas se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8** Análisis de resultados

<b>Método de corte</b>	<b>Cantidad de material cortado <i>kg</i></b>	<b>Tiempo de corte (<i>h</i>)</b>	<b>Personal requerido</b>
Manual	1200	16	5
Cortadora hidráulica	1200	0.75	2

Se demuestra que la implementación de la máquina disminuye el tiempo y personal requerido para este trabajo, optimizando la producción para las posteriores plantas que son dependientes de la obtención del material cortado.

#### 4.4 Manual de Operación y mantenimiento

##### 4.4.1 Montaje de la máquina

La máquina se divide en tres secciones

##### 4.4.1.1 Sistema hidráulico

- Conectar el motor a la bomba para proveer la fuerza de succión de aceite.
- Acoplar la válvula de accionamiento, desde la bomba a la válvula y, de la misma al cilindro hidráulico empleando las respectivas mangueras.
- Ensamblar el actuador lineal en el centro de la estructura principal, sujetado con parantes y un perno como se muestra en la Fig. 63

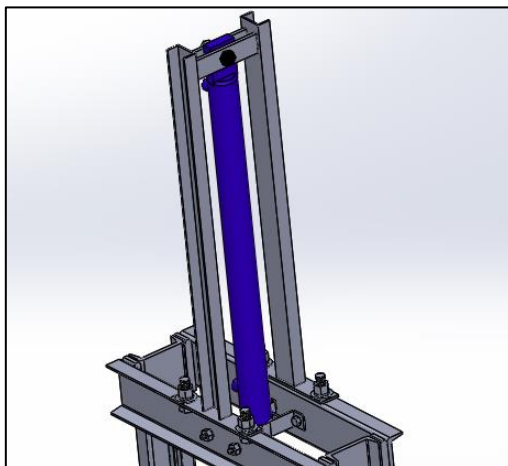
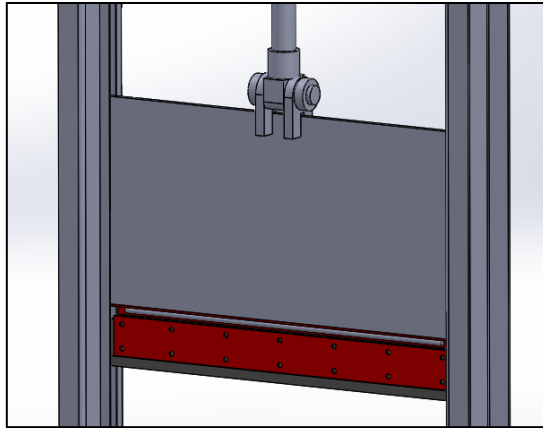


Fig. 63 Sujeción del cilindro

##### 4.4.1.2 Sistema mecánico

- Unir el vástago del cilindro a la porta cuchilla.
- Ensamblar la cuchilla que está compuesta por una niquelina en la parte superior separada por aislantes como se observa en la Fig. 64
- Asegurar la base de la estructura sujetando con pernos auto expandibles al suelo.



**Fig. 64** Implementación de la cuchilla

#### 4.4.1.3 Sistema eléctrico y de control

- Conectar la toma de 330V al motor
- Conectar la toma de 220V al pirómetro
- Montar los elementos eléctricos de acuerdo con los requerimientos como se observa en la Fig. 65.
- Utilizar los elementos correspondientes: un contactor trifásico con guardamotor de 40 amperios para el sistema de potencia del motor. Un pirómetro de 220V, un breaker de 6 amperios, una niquelina de 900W a 220V, una termocupla tipo K PT100 para el control de temperatura. Para los sistemas de señalización y activación: luz piloto, interruptores y un paro de emergencia.
- Si no está familiarizado con las conexiones contactar con el técnico proveedor.



**Fig. 65** Conexión sistema eléctrico

#### **4.4.2 Instrucciones de seguridad**

- Colocar la máquina sobre una superficie plana y de suelo tipo concreto.
- Conectar la máquina a una toma trifásica.
- Revisar el nivel correcto de aceite a través de la mirilla ubicada al costado superior derecho del tanque de almacenamiento.
- Revisar que las rieles cuenten con la lubricación necesaria para el desplazamiento de la cuchilla.
- Usar el equipo de protección personal: overol, guantes, gafas, botas punta de acero, mascarilla.
- Encender el pirómetro con el interruptor y el breaker de protección, la temperatura de operación de 80°C ya está programada. Si se desea modificar la temperatura consultar con el técnico.
- Dejar que la cuchilla llegue a la temperatura establecida en un tiempo aproximado de 35 minutos.
- No tener contacto con la cuchilla cuando esté caliente.
- Tomar la distancia de seguridad requerida cuando se accione la guillotina.
- Evitar que la máquina corte materiales que no sean caucho.
- Accionar el motor con el interruptor y pulsar el paro de emergencia en caso de alguna anomalía.
- La maquinaria está provista de protecciones termoelectricas, si ocurre algún fallo en el sistema de potencia, desconectar la alimentación principal.

#### **4.4.3 Accionamiento de la máquina**

- Antes de manipular la máquina encender el breaker trifásico.
- Encender los interruptores del motor y del pirómetro.
- Una vez comprobada la temperatura en el pirómetro encender el breaker de accionamiento de la niquelina.
- Esperar el tiempo necesario para llegar a la temperatura seteada.
- Colocar el caucho crudo en la parte central inferior de la estructura.
- Para realizar los cortes de caucho se lo ejecuta desde el principio de carrera del cilindro.
- Accionar la válvula de mando hidráulico que permite subir y bajar el cilindro.
- Retirar el material del área de trabajo una vez culminado el corte.

- Terminada la jornada de trabajo de corte, apagar los interruptores del motor y pirómetro, después los breakers de protección.

#### **4.4.4 Mantenimiento**

##### **4.4.4.1 Mantenimiento del sistema hidráulico**

- Revisar el nivel de aceite a través de la mirilla ubicada al costado superior derecho del tanque de almacenamiento después de cada uso.
- Revisar la malla de residuos del tanque de almacenamiento, en caso de encontrar basura, retirarla y proceder con la limpieza usando aire comprimido.
- Análisis de fluido de rutina asegura el funcionamiento de la máquina en caso contrario cambiar el fluido.
- Inspeccionar visualmente si existen fugas de aceite y en el caso de que existan, comprobar si hay piezas desacopladas, y para daños permanentes contactarse con el técnico autorizado.
- Inspeccionar el estado del vástago del cilindro.
- Verificar que los resortes de la válvula se accionen correctamente, en el supuesto fallo revisar la correcta alineación de los resortes en el muelle de la válvula, evitando flexiones laterales.
- Examinar si no existen desgaste en las mangueras, si presentan desgaste excesivo, realizar la sustitución de las mismas.

##### **4.4.4.2 Mantenimiento de la cuchilla**

- Emplear líquido desmoldeante “ALCOSPERSERIL” para la limpieza de la cuchilla, en caso de existir contacto involuntario revisar el Anexo 7.
- Colocar lubricante en los rieles de desplazamiento de la cuchilla.
- Revisar las condiciones del aislante y la silicona de protección térmica cada seis meses.
- Inspeccionar los cables de fibra de vidrio que están sometidas a altas temperaturas.

##### **4.4.4.3 Mantenimiento del sistema eléctrico**

- Comprobar el estado de los cables, las conexiones y borneras; verificando con el multímetro si llega el voltaje y amperaje adecuado para cada dispositivo, además pruebas de continuidad para evidenciar el correcto contacto entre cables y borneras.
- Limpiar el panel de control de residuos después de cada uso, utilizando aire comprimido y una brocha de cerda delgada.



- Revisar el estado de los componentes eléctricos del panel de control, en caso de existir fallas o anomalías, comunicarse con el jefe de planta.

#### 4.5 Análisis de costos de la implementación del proyecto

##### 4.5.1 Costos directos

Materiales necesarios para el posterior proceso de producción, los elementos a tomar en cuenta son: sistema hidráulico, estructura base y de sostenibilidad, componentes electrónicos para el control, esto se observa en la tabla 9.

##### 4.5.2 Costos indirectos

Elementos requeridos para llevar a cabo la construcción de la maquinaria, se presenta en la tabla 10 y toma en cuenta los siguientes parámetros: mano de obra, préstamo de equipos de manufactura, imprevistos.

Finalmente, el costo total del proyecto es generado en la Tabla 11.

#### 4.6 Justificación de costos

**Tabla 9** Costos directos

<b>Detalle</b>	<b>Valor unidad [\$]</b>	<b>Valor total [\$]</b>
Estructura (vigas acero)	150	150
Elementos de sujeción	20	20
Tanque hidráulico	200	200
Motor	500	500
Cilindro hidráulico	900	900
Porta cuchilla	50	50
Cuchilla	70	70
Niquelina	40	40
Aislante	10	10
Caja de control	30	30
Pirómetro	80	80
Breaker	25	25
Contactador	20	20
Mando	30	30
Cableado	3	21
Mangueras	40	80
Aceite	58	174
<b>Total</b>		<b>2400</b>

**Tabla 10** Costos indirectos

Detalle	Valor unidad [\$]	Valor total [\$]
Mano de obra	500	450
Uso de equipos	250	200
Imprevistos	100	100
<b>Total</b>		<b>750</b>

**Tabla 11** Costo total

Detalle	Valor total [\$]
Costo directo	2400
Costo indirecto	750
<b>Total</b>	<b>3150</b>

## 4.7 Análisis económico

### 4.7.1 VAN

El indicador financiero VAN se utiliza para comprobar si la realización del proyecto es viable o no, para determinarlo se asocian los egresos e ingresos restando la inversión inicial, y está dado por la siguiente ecuación: [47]

$$VAN = \left( \frac{f_1}{(1+i)^1} + \frac{f_2}{(1+i)^2} + \frac{f_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{f_n}{(1+i)^n} - I_o \right) \quad (21)$$

Donde:

$f_n$ : Flujo efectivo del proyecto

$I_o$ : Inversión inicial

$i$ : Tasa de rentabilidad

En la Tabla 12 se indica la inversión inicial y el flujo de caja por tres periodos para determinar el VAN, con una tasa de rentabilidad del 15%

**Tabla 12** Inversión inicial y flujo de caja por periodos

	Periodo 0	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
<b>Inversión inicial</b>	\$ 3.150,00			
<b>Flujo de caja</b>	\$ -3.150,00	\$ 1.500,00	\$ 2.000,00	\$ 1.800,00

$$VAN = \left( \frac{1500}{(1 + 0.15)^1} + \frac{2000}{(1 + 0.15)^2} + \frac{1800}{(1 + 0.15)^3} - 3150 \right)$$

$$VAN = \$850.16$$

Las condiciones para que un proyecto sea rentable son: [47]

$VAN > 0$ : *Proyecto rentable*

$VAN < 0$ : *No rentable*

$VAN = 0$ : *No hay ganancia ni pérdida*

#### 4.7.2 TIR

El indicador financiero TIR cuantifica los valores en porcentaje, los cálculos se estiman a partir del VAN igualando a cero la ecuación (21), la misma se muestra a continuación: [47]

$$\left( \frac{f_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{f_2}{(1 + TIR)^2} + \frac{f_3}{(1 + TIR)^3} + \dots + \frac{f_n}{(1 + TIR)^n} - I_o \right) = 0 \quad (22)$$

$$\left( \frac{1500}{(1 + TIR)^1} + \frac{2000}{(1 + TIR)^2} + \frac{1800}{(1 + TIR)^3} - 3150 \right) = 0$$

$$TIR = 30\%$$

Las condiciones para que un proyecto sea rentable en base a la Tasa Interna de Retorno: [47]

$TIR > i$ : *Proyecto rentable*

$TIR < i$ : *No rentable*

$TIR = i$ : *No hay ganancia ni pérdida*

Del resultado obtenido en el cálculo del valor actual neto que es de 850.16 y la tasa interna de retorno 30%, se concluye que el proyecto realizado es totalmente viable con lo cual se garantiza la sustentabilidad del mismo.

#### 4.8 Conclusiones del capítulo

Se demuestra que la implementación de la máquina reduce los tiempos de corte de 16 horas laborables a solo 4 horas y, el número de trabajadores de 5 a 2 operarios, afirmando la hipótesis planteada inicialmente. Se presenta los detalles que permiten ensamblar a la máquina correctamente de acuerdo a las secciones en las que se divide y al ser una máquina robusta e

industrial se especifica la manera correcta en cómo se debe operar y llevar a cabo su mantenimiento y los principios de seguridad industrial.

Con un análisis de costos se justifica que es mejor la construcción del proyecto, debido a que, en el país no se comercializan estas máquinas que realizan este tipo de trabajo de corte y, además, los proveedores de otros países no implementan los sistemas de calentamiento por níquelina.

## CONCLUSIONES

La máquina cortadora de caucho se diseñó en base a varias opciones de alternativas, siendo la más viable una guillotina de tipo vertical en la cual el cilindro hidráulico de 930mm de carrera y la estructura de 800mm de largo sirve para cortar caucho de mayor área a comparación de las guillotinas convencionales que cortan este material en proporciones más pequeñas.

Los factores de seguridad son de: 1.6 para las uniones soldadas; 2.77 como factor de carga para el perno principal, siendo que el valor mínimo para factor de seguridad es de 1.5; se puede decir que, los elementos mecánicos se encuentran sobredimensionados, además las columnas de sujeción del cilindro hidráulico se encontraban disponibles en la empresa y mediante cálculos se verificó que cumple con las necesidades de diseño, disminuyendo así los costos de construcción del proyecto.

La implementación de un sistema de calentamiento para la cuchilla se basa en el funcionamiento de una níquelina, colocando este componente en la parte superior de la cuchilla para que transfiera el calor a todo el cuerpo, la temperatura ideal para que se efectúe el corte correctamente y no se vulcanice el caucho en el proceso es de  $80^{\circ}\text{C}$  que es controlando por un pirómetro y una termocupla de tipo K PT100 con una histéresis de  $2^{\circ}\text{C}$ , y el tiempo esperado para que se caliente la cuchilla uniformemente es de 40 minutos.

La máquina fue diseñada en base al espacio donde se lo utilizará, tomando en consideración el ancho y el alto máximos, la máquina adquiere una dimensión final de 2800mm de alto, 910mm de largo y 300mm de ancho. Los materiales para su construcción son productos nacionales y de fácil adquisición.

Para cortar 1200 kilos caucho de manera manual usando herramientas como cuchillos y machetes precalentados se demora un tiempo de 16 horas laborables, con la implementación de la máquina se toman alrededor de 45 minutos laborables cortar la misma cantidad de caucho, descartando tiempos de movilidad y tiempos muertos, optimizando en un 95.3% la eficacia de este proceso, además mejorando la calidad de vida de los colaboradores y disminuyendo riesgos físicos.

Mediante el análisis del VAN y del TIR se determina que el proyecto es rentable con una inversión de \$3150, debido a que, la rentabilidad en base a los cálculos realizados del TIR fue del 30%, superando al valor inicial que fue del 15%.

### **RECOMENDACIONES:**

Usar los accesorios de protección necesarios tales como: anteojos de protección, tapabocas, protectores auditivos, guantes y calzado de seguridad.

Antes de poner en funcionamiento la máquina de corte es fundamental que la persona responsable de su operación cuente con conocimientos detallados acerca del manual de operación y mantenimiento correspondiente.

Es necesario encender el pirómetro con anticipación antes de comenzar a cortar y permitir que se caliente gradualmente hasta alcanzar la temperatura necesaria. De esta manera se evita tanto el desperdicio de recursos como el daño innecesario de los componentes de la cortadora.

Es esencial llevar a cabo una revisión rigurosa de la materia prima para detectar la presencia de objetos extraños como piezas de metal grandes, ya que esto puede causar daños graves al filo de la cuchilla.

Es importante llevar a cabo una limpieza exhaustiva de la máquina en especial de la cuchilla al término de cada jornada laboral.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Rodríguez, "Estudio de factibilidad para la producción de caucho "Hevea brasiliensis" en Quevedo, provincia de los Ríos", Proyecto de grado, Universidad San Francisco de Quito, Quito, 2009.
- [2] R. Sánchez, "Segunda vida de los neumáticos usados", *Química Viva*, vol. 11, n.º 1, pp. 24–39, 2012.
- [3] Y. Pastor, "Tecnología del caucho y aplicación en la industria automotor", Informe para optar el título profesional, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2003.
- [4] W. Espinosa y R. Tatamués, "Diseño y simulación de una máquina trituradora de llantas, de una tonelada de hora por capacidad, para la empresa OPTRA-SEMBRES", Proyecto de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2016.
- [5] F. Albuja, "Implementación de un sistema de aire comprimido en la automatización de la cizalla manual del taller de procesos de producción mecánica", Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2011.
- [6] D. Archundia, "Diseño de guillotina automática para panecillos", Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F., 2015.
- [7] "Guillotina vertical para caucho". ETW Cloud. [En línea]. Disponible en: <https://mx.etwinternational.com/1-1-vertical-rubber-bale-cutter-53508.html>
- [8] G. Castro, "Materiales y compuestos para la industria del neumático", Universidad FIUBA, Buenos Aires, 2008.
- [9] K. Cornish, J. Martin, R. Marentis, S. Plamthottam, "EXTRACTION AND FRACTIONATION OF BOPOLYMERS AND RESINS FROM PLANT MATERIALS," US 2006/0106183 A1, May 18, 2006
- [10] W. Ledermann, "El camino del caucho", *Revista chilena de infectología*, vol.35, n. º2, 2018.
- [11] BF. Greek, "Rubber demand is expected to grow after 1991". *Noticias de Química e Ingeniería*, 1991, pp. 37-54.
- [12] L. Beliczky y J. Fajen, "Industria del caucho", en *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1998, p. 80.
- [13] Y. Huang, M. Smale, R. White, H. Mouri, W. Cole, "Procesos para la extracción del caucho de plantas que no son hevea" 2 808 113, marzo 6, 2013

- [14] D. Fuentes, "Obtención de láminas impermeables a partir de caucho reciclado utilizando resina de mortero de uretano", Tesis de grado, Universidad Central Del Ecuador, Quito, 2014.
- [15] N. Bekkedahl, "Caucho Natural y Caucho Sintético", Rev. Agron. Medellín, vol. 6, núm. 22, págs. 53–64, enero de 1946.
- [16] "US3633A - Charles guodyear - Google Patents". Google Patents.
- [17] G. Palma, "Reciclaje mecánico-químico de desechos de látex de caucho natural vulcanizado", Trabajo de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2016.
- [18] R. C. Hibbeler, "Esfuerzo", de Mecánica de materiales, Sexta ed., México, D. F, Pearson Education, Inc., 2006, pp. 3-25, 32, 33, 185-189, 291-297
- [19] C. Bonilla, . Tapia, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA PARA VIVIENDA DISTRIBUIDA EN TRES PLANTAS. ÁREA TOTAL DE 321.5 m<sup>2</sup>", Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2010.
- [20] DIPAC. "Vigas". [Online]. Disponible en: <https://dipacmanta.com/categoria-producto/vigas/> (accedido el 8 de abril de 2023).
- [21] F. Beer, E. Johnston. J. DeWolf, D. Mazurek, "Introducción. El concepto de esfuerzo", de Mecánica de materiales, Quinta Ed., México D.F, México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V, 2009, capítulo 1, sección 1.13, pp. 28-29
- [22] L. G. Zarate Ordoño y L. Arriaga Segundo, Procesos de soldadura. México: Instituto Politécnico Nacional, 2008. [En Línea] Disponible en: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/lc/bibliotecaups/titulos/74742>
- [23] Área Académica de Metalurgia. "Diferencia entre los procesos de soldadura SMAW, GMAW y GTAW" [Online]. Disponible en: <https://www.areametalurgia.com/post/diferencia-entre-los-procesos-de-soldadura-smaw-gmaw-y-gtaw> (accedido el 8 de abril de 2023).
- [24] R. Budynas y J. Nisbett, "Soldadura, adhesión y diseño de uniones permanentes," de DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY, Octava Ed., México, D. F, The McGraw-Hill Companies, Inc., 2008, capítulo 9, sección 1.2, pp. 460-463.
- [25] R. Budynas y J. Nisbett, "Tornillos, sujetadores y diseño de uniones no permanentes" de DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY, Decima Ed., México, D.F, The McGraw-Hill Education Holdings LLL., 2015, capítulo 8, sección 8.3, pp. 396-415.



- [26] J. Revelo y O. Tufiño, "Diseño y construcción de un sistema de automatización hidráulico para la máquina de ensayos destructivos en juntas soldadas del laboratorio de soldadura de la Escuela Politécnica Nacional". Proyecto de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2012.
- [27] J. S. Delnero, Oleo hidráulica - Circuitos hidráulicos. Atacama: Universidad de Atacama, 2021. [En línea] Disponible en: <https://www.studocu.com/cl/document/universidad-de-atacama/metalurgia-fisica/hidraulica-a-apuntes/43053494>
- [28] R. Castillo Jiménez, Montaje y reparación de sistemas neumáticos e hidráulicos, bienes de equipo y máquinas industriales (UF0459). Antequera, Málaga: IC Editorial, 2011. [En Línea] Disponible en: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/lc/bibliotecaups/titulos/54241>
- [29] C. Renedo, J. Carcedo, F. Ortiz y I. Fernandez, Hidráulica. Santander: Universidad de Cantabria.
- [30] M. Guilcamaigua, P. Olalla, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA TERMO MOLDEADO DE PIEZAS Y PARTES AUTOMOTRICES EN CAUCHO", Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Latacunga, 2010.
- [31] H. Torres y R. Estrada. "La ley de Ohm". HETPRO. Guadalajara, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://hetpro-store.com/PDFs/La-Ley-de-Ohm.pdf?x18372>.
- [32] S. Sánchez "Diseño e implementación de baño termostático para la caracterización de sistemas microfluídicos". Tesis de grado, Universidad de los Andes, 2020.
- [33] W. López, N. Moyón, "Desarrollo de un sistema SCADA para la medición de temperatura con sistemas embebidos para el laboratorio de mecatrónica de la facultad de mecánica", Tesis de grado, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO., Riobamba, 2011.
- [34] E. Torres, C. Vásquez, "Construcción de un módulo didáctico de control de temperatura mediante PLC", Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2002.
- [35] G. Guerrero, A. Arias, "Diseño y construcción de un banco didáctico de instrumentación para la calibración de los termopares tipo j, k & t, y control de un horno de tres etapas", Tesis de grado, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Riobamba, 2021.

- [36] "Tipos y usos de los termómetros". FISICA DE FLUIDOS Y TERMODINAMICA. [En línea] Disponible en: <https://nikolasbuitragoj.wordpress.com/segundo-corte/consultas/temperatura/como-medir-la-temperatura/tipos-y-usos-de-los-termometros/> (accedido el 8 de abril de 2023).
- [37] R. Pallas, "Sensores resistivos," de Sensores y acondicionadores de señal, 4 ed., Barcelona, MARCOMBO, S.A., 2003, pp. 68-72, 273.
- [38] J. Obregón, "Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de temperatura para evaluación funcional de incubadoras", Tesis de grado, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, Perú, 2007.
- [39] J. Lalangui, "Diseño y construcción de un módulo con características de aislación térmica con materiales de bajo costo", Tesis de grado, UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA, Loja, 2019.
- [40] J. Casco, "Diseño, instalación y control automático de equipo para el procesamiento de semillas forrajeras de alfalfa y trébol en la planta piloto de la comunidad de Pungal Grande-Guano Chimborazo", Tesis de grado, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO., Riobamba, 2015.
- [41] J. León, D. Pillajo, "Diseño e implementación de un sistema de control para la dosificación de material químico en una máquina de manufactura de alfombras", Tesis de grado, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, 2013.
- [42] IEES, "DECRETO EJECUTIVO 2393 REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO", ACUERDO MINISTERIAL N° 146, 2016.
- [43] B. Paredes y F. Saavedra, "Diseño de un prototipo de máquina de corte lineal para caucho mediante el proceso de reciclaje de neumáticos en el cantón la Maná", proyecto de investigación, Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, 2021.
- [44] F. Arias, "El Proyecto de Investigación: Guía para su elaboración". Tercera Ed., Caracas, Venezuela. Editorial Episteme. 1999
- [45] R. Hernández, "Los enfoques cuantitativo y cualitativo de la investigación científica", en Metodología de la investigación, Sexta Ed., México D.F, México, MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014, capítulo 1, pp. 2-20
- [46] CENTELSA. "Alambres y cables THHN/THWN 90°C". Inicio Nexans - Centelsa - Cables de energía y telecomunicaciones Centelsa – Cables de energía y telecomunicaciones. <https://www.centelsa.com/archivos/5344cd0e.pdf>.

[47] I. Morales y P. Cárdenas, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DE MÁQUINA EXTRACTORA DE FIBRAS DE POLIÉSTER A PARTIR DE BOTELLAS RECICLADAS PET, CON UNA CAPACIDAD DE 5 kg/h", Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2022.