



**Diseño y manufactura de probetas de ensayo mecánico a partir de la fundición de pistones reciclados, para la producción de un material idóneo que permita la fabricación de pistones**

Espinoza Morales, Stalin Wladimir y Toaquiza López, Alex Fabricio

Departamento de Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio

10 de noviembre 2022

Latacunga



## Diseño y manufactura de probetas de ensayo mecánico a...

Scanned on: 16:1 November 10, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	297
Words with Minor Changes	34
Paraphrased Words	810
Omitted Words	2241



Escaneado con cámara por:  
GUILLERMO  
MAURICIO CRUZ  
ARCOS



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica  
Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Certificación**

Certifico que el trabajo de titulación, **“Diseño y manufactura de probetas de ensayo mecánico a partir de la fundición de pistones reciclados, para la producción de un material idóneo que permita la fabricación de pistones”** fue realizado por los señores: ***Espinoza Morales, Stalin Wladimir*** y ***Toaquiza López, Alex Fabricio*** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de previsión y/o verificación de similitud de contenido; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 10 noviembre de 2022



Firmado electrónicamente por:

**GUILLERMO  
MAURICIO CRUZ  
ARCOS**

---

**Ing. Cruz Arcos Guillermo Mauricio**

C.C.: 0503010555

**Director**



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica  
Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Responsabilidad de autoría**

Nosotros, **Espinoza Morales, Stalin Wladimir** con cédula de ciudadanía N° 1725948762 y **Toaquiza López, Alex Fabricio** con cédula de ciudadanía N° 1725191744, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño y manufactura de probetas de ensayo mecánico a partir de la fundición de pistones reciclados, para la producción de un material idóneo que permita la fabricación de pistones”**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumple con los requisitos legales teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 10 de noviembre de 2022

---

**Espinoza Morales Stalin Wladimir**

C.C.: 1725948762

---

**Toaquiza López Alex Fabricio**

C.C.: 1725191744



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica  
Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Autorización de publicación**

Nosotros, **Espinoza Morales, Stalin Wladimir** con cédula de ciudadanía N° 1725948762 y **Toaquiza López, Alex Fabricio** con cédula de ciudadanía N° 1725191744, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**Diseño y manufactura de probetas de ensayo mecánico a partir de la fundición de pistones reciclados, para la producción de un material idóneo que permita la fabricación de pistones**”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 10 de noviembre de 2022

---

**Espinoza Morales Stalin Wladimir**

C.C.: 1725948762

---

**Toaquiza López Alex Fabricio**

C.C.: 1725191744

## **Dedicatoria**

Dedico esta este trabajo a mis padres Aníbal y Magdalena quienes fueron el principal pilar para que pueda cumplir con mis metas apoyándome en todo momento y dándome esa fuerza para continuar a cada instante.

También a mis hermanos Bryan y Stefania que con sus palabras han hecho que este sueño este por culminar.

A mi abuela Josefina que siempre me daba aliento para no desistir a pesar de lo difícil que fuera el camino.

Y a toda mi familia que han estado en este trayecto de mi vida dándome apoyo incondicional para poder lograr mis objetivos.

Espinoza Morales, Stalin Wladimir

## **Dedicatoria**

Dedico el presente trabajo a mis padres Jorge y Mariana que con su ejemplo y su guía me ensañaron a ser una persona de bien y con valores, además de su apoyo incondicional durante toda mi trayectoria estudiantil de quienes estuvieron presentes durante largas noches dándome ese aliento para no decaer, hoy que concluyo uno de mis muchos objetivos quiero darles mis más gratos agradecimientos.

A mi hermana Daysi agradecerle por la incondicional ayuda que me ha dado desde el momento en él llegue a la vida de todos ustedes.

A mi segunda familia Charito, Danny y Grimanesa en la cual he podido encontrar un refugio, palabras de apoyo y grandes consejos desde que era un niño, agradecerles por esto y mucho más.

A mis amigos que conocí durante toda mi trayectoria universitaria con los cuales he vivido grandes travesías y momentos inolvidables.

A mis amigos del barrio, agradecerle a cada uno por su apoyo incondicional y su gran compañerismo frente a los problemas, en especial a los que considero como mis hermanos Francisco Reina, Luder Revelo y Paul Maldonado.

Por último y el más importante agradecerle a mi mejor amigo el cual ya no se encuentra con nosotros pero que nunca lo olvidare GEOSSEPE esto es por ti, gracias por tu compañía en los momentos que más lo necesitaba.

Toaquiza López, Alex Fabricio

## **Agradecimiento**

Agradezco infinitamente a mis padres Aníbal y Magdalena por su apoyo incondicional en toda esta etapa de mi vida, así mismo a mis hermanos Bryan y Stefania que siempre han estado en todo momento junto a mí.

Un agradecimiento especial a mi abuela que siempre tenía las palabras correctas para darme esa fuerza de seguir continuando a en toda esta etapa que fue la carrera universitaria.

A los amigos que estuvieron en todo momento para darnos la mano que se han convertido en una parte fundamental para resistir todas las adversidades que se han presentado a lo largo de la carrera.

Agradezco al Ing. Guillermo Cruz la guía brindada para realizar este proyecto de investigación y su apoyo para lograr concluirlo.

Y a mi compañero de tesis Toaquiza Alex que ha estado en la recta final para lograr cumplir este objetivo y sueño.

Espinoza Morales, Stalin Wladimir

### **Agradecimiento**

Mi más profundo agradecimiento a todos los docentes, personal y autoridades que conforman la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPEL" por a verme dado la oportunidad de realizar mis estudios en tan prestigiosa carrera como es la de Ingeniería Automotriz.

Finalmente quiero expresar mis agradecimientos a mi compañero de investigación Espinoza Stalin por su grata colaboración en el cumplimiento de este trabajo de igual manera al Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio quien con su dirección, enseñanza y conocimientos permito el desarrollo de la presente investigación.

Toaquiza López, Alex Fabricio

**Índice de contenidos**

<b>Carátula .....</b>	<b>1</b>
<b>Reporte de verificación de contenido.....</b>	<b>2</b>
<b>Certificación .....</b>	<b>3</b>
<b>Responsabilidad de autoría .....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de publicación .....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>6</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>7</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>8</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>9</b>
<b>Índice de contenidos .....</b>	<b>10</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>17</b>
<b>Índice de tablas.....</b>	<b>21</b>
<b>Índice de ecuaciones.....</b>	<b>23</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>24</b>
<b>Abstact.....</b>	<b>25</b>
<b>Capítulo I: Marco metodológico de la investigación .....</b>	<b>26</b>
<b>Antecedentes investigativos .....</b>	<b>26</b>
<b>Planteamiento del problema.....</b>	<b>28</b>
<b>Descripción resumida del proyecto .....</b>	<b>29</b>
<b>Justificación e importancia .....</b>	<b>30</b>

Objetivos del proyecto .....	31
<i>Objetivo General</i> .....	31
<i>Objetivos Específicos</i> .....	31
Metas del proyecto .....	31
Hipótesis .....	32
Variables de la investigación.....	32
Cápítulo II: Marco Teórico .....	34
Fundición .....	34
<i>Defectos de la fundición</i> .....	34
Vacíos .....	35
Cierres Fríos .....	35
Gránulos fríos.....	36
Cavidad de fuga.....	36
Microporosidad. ....	37
Temperatura de fusión de los metales.....	38
Temperatura de colada .....	39
Moldes para fundición .....	39
<i>Tipos de moldes</i> .....	40
Molde permanente.....	40
Molde y modelo desechable .....	41
Molde desechable y modelo permanente. ....	42

<b>Moldeo en arena .....</b>	<b>43</b>
<i><b>Tipos de moldeo en arena.....</b></i>	<b>43</b>
<b>Arena de moldeo en verde.....</b>	<b>43</b>
<b>Método de película seca. ....</b>	<b>44</b>
<b>Proceso de molde de caja caliente. ....</b>	<b>45</b>
<b>Proceso de molde de caja fría. ....</b>	<b>45</b>
<b>Aluminio como material fundente. ....</b>	<b>46</b>
<i><b>Aleaciones de aluminio. ....</b></i>	<b>47</b>
<b>Aluminios fundidos.....</b>	<b>47</b>
<b>Aluminios forjados.....</b>	<b>47</b>
<b>Aluminio 4032 .....</b>	<b>49</b>
<i><b>Aplicaciones.....</b></i>	<b>50</b>
<b>Fabricación de pistones.....</b>	<b>51</b>
<i><b>Materiales de fabricación de un pistón .....</b></i>	<b>51</b>
<b>Probetas de ensayo.....</b>	<b>51</b>
<b>Ensayos mecánicos .....</b>	<b>53</b>
<i><b>Tipos de ensayos mecánicos.....</b></i>	<b>54</b>
<b>Ensayo de compresión. ....</b>	<b>54</b>
<b>Ensayo de flexión.....</b>	<b>54</b>
<b>Ensayo de embutición. ....</b>	<b>55</b>
<b>Ensayo de torsión. ....</b>	<b>56</b>

Ensayo de resistencia a la fatiga.....	56
Ensayo metalográfico. ....	57
Ensayo de tracción.....	57
Diseño mecánico.....	58
<i>Esfuerzo</i> .....	58
<i>Deformación</i> .....	58
<i>Diagrama esfuerzo – deformación</i> .....	58
Resistencia a la fluencia $S_y$ .....	59
Resistencia a la tensión $S_u$ . ....	60
Normativas de ensayos mecánicos .....	60
<i>Norma para ensayo de tracción</i> .....	60
<i>Norma para ensayo de compresión</i> .....	60
<i>Norma para ensayo metalográfico</i> .....	61
Análisis químico.....	61
<i>Espectrometría de emisión óptica por chispa</i> .....	62
Capítulo III: Diseño y manufactura de probetas para ensayos mecánicos.....	63
Introducción.....	63
Requerimientos .....	63
Diseño de probetas .....	64
<i>Fabricación del molde de arena</i> .....	64
<i>Dimensionamiento de los moldes</i> .....	67

<i>Compactación del molde</i> .....	68
<i>Molde de placa rectangular</i> .....	69
<i>Molde cilíndrico</i> .....	70
Fundición del material .....	71
Dimensionamiento de las probetas.....	75
<i>Probetas para ensayo de tracción</i> .....	75
Probetas para ensayo de compresión.....	75
Probetas para ensayo metalográfico.....	76
Mecanizado de las probetas .....	77
Capítulo IV: Ensayos y análisis de resultados.....	81
Ensayos mecánicos y pruebas.....	81
<i>Material de pistones reciclados</i> .....	81
<i>Procedimiento para realizar el ensayo de tracción</i> .....	82
<i>Resultados obtenidos de los ensayos de tracción</i> .....	84
<i>Promedio de resultados de ensayos de tracción</i> .....	87
<i>Resistencia a la tracción del material a base de pistones reciclados</i> .....	87
Ensayo de compresión con pistones reciclados .....	89
<i>Razón de esbeltez</i> .....	90
<i>Procedimiento para realizar el ensayo de compresión</i> .....	93
<i>Promedio de resultados de ensayos</i> .....	97
Ensayo metalográfico .....	98

<i>Moldeado en resina</i> .....	99
<i>Lijado de probetas</i> .....	100
<i>Pulido de las probetas</i> .....	101
<i>Revelado químico</i> .....	102
<i>Fotografiado micrográfico</i> .....	102
<i>Resultados obtenidos</i> .....	103
Análisis químico .....	104
Mejora del material .....	107
<i>Eliminación de porosidades internas del material</i> .....	107
Ensayo metalográfico del material mejorado a base de pistones reciclados.....	107
<i>Mejora en aleaciones</i> .....	108
<i>Ensayos de tracción con material mejorado</i> .....	110
Resistencia a la tracción máxima del material. ....	112
<i>Ensayos de compresión con material mejorado</i> .....	114
Resultado comparativo .....	117
Capítulo V: Marco administrativo .....	118
Recursos .....	118
Recursos humanos .....	118
Recursos materiales .....	119
Recursos tecnológicos .....	119
Recursos económicos .....	120

<b>Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>122</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>122</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>124</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>125</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>129</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Planteamiento del problema (Diagrama espina de pescado)</i> .....	28
<b>Figura 2</b> <i>Vacíos en la fundición</i> .....	35
<b>Figura 3</b> <i>Cierres fríos en la fundición</i> .....	35
<b>Figura 4</b> <i>Gránulos fríos en la fundición</i> .....	36
<b>Figura 5</b> <i>Cavidad de fuga en la fundición</i> .....	37
<b>Figura 6</b> <i>Microporosidad en la fundición</i> .....	37
<b>Figura 7</b> <i>Detalles de un molde de dos placas para molde por inyección de termoplásticos</i> .....	40
<b>Figura 8</b> <i>Molde permanente de aleación de hierro para fundición</i> .....	41
<b>Figura 9</b> <i>Molde de arena para fundición</i> .....	41
<b>Figura 10</b> <i>Modelo reutilizable en un molde desechable</i> .....	42
<b>Figura 11</b> <i>Modelado en arena verde</i> .....	44
<b>Figura 12</b> <i>Hornos de precalentamiento</i> .....	44
<b>Figura 13</b> <i>Proceso de moldeo por caja caliente</i> .....	45
<b>Figura 14</b> <i>Aglutinante para canalización del molde</i> .....	46
<b>Figura 15</b> <i>Características del aluminio</i> .....	47
<b>Figura 16</b> <i>Fundición pistón de aluminio</i> .....	51
<b>Figura 17</b> <i>Probetas para ensayos mecánicos</i> .....	52
<b>Figura 18</b> <i>Maquinaria utilizada en ensayos de compresión</i> .....	54
<b>Figura 19</b> <i>Proceso de ensayo de flexión</i> .....	55
<b>Figura 20</b> <i>Proceso para ensayo de embutición</i> .....	55

<b>Figura 21</b> <i>Maquinaria para ensayos de torsión</i> .....	56
<b>Figura 22</b> <i>Maquinaria para ensayos de resistencia a la fatiga</i> .....	56
<b>Figura 23</b> <i>Microscopios utilizados en ensayos metalográficos</i> .....	57
<b>Figura 24</b> <i>Mordazas para ensayo de tracción</i> .....	58
<b>Figura 25</b> <i>Diagrama esfuerzo deformación</i> .....	59
<b>Figura 26</b> <i>Proceso de análisis químico en aluminio</i> .....	61
<b>Figura 27</b> <i>Espectrómetro de emisión óptica</i> .....	62
<b>Figura 28</b> <i>Pistones empleados en el campo automotriz</i> .....	64
<b>Figura 29</b> <i>Arena de sílice para moldeo</i> .....	65
<b>Figura 30</b> <i>Molino de arena</i> .....	66
<b>Figura 31</b> <i>Proceso de refinamiento</i> .....	66
<b>Figura 32</b> <i>Bastidor para fundición</i> .....	67
<b>Figura 33</b> <i>Bastidor con núcleo incorporado</i> .....	68
<b>Figura 34</b> <i>Molde de arena (pieza rectangular)</i> .....	69
<b>Figura 35</b> <i>Croquis placa rectangular previo a la fundición</i> .....	69
<b>Figura 36</b> <i>Núcleo para fundición</i> .....	70
<b>Figura 37</b> <i>Croquis de cilindro previo a la fundición</i> .....	70
<b>Figura 38</b> <i>Horno industrial para fundición</i> .....	71
<b>Figura 39</b> <i>Incorporación de los pistones</i> .....	72
<b>Figura 40</b> <i>Retiro de impurezas</i> .....	73
<b>Figura 41</b> <i>Vaciado de colada</i> .....	73

<b>Figura 42</b> <i>Placa rectangular de aluminio fundido</i> .....	74
<b>Figura 43</b> <i>Cilindro de aluminio fundido</i> .....	74
<b>Figura 44</b> <i>Esquema probeta para ensayo de tracción</i> .....	75
<b>Figura 45</b> <i>Esquema probeta para ensayo de compresión</i> .....	76
<b>Figura 46</b> <i>Esquema probeta ensayo metalográfico</i> .....	76
<b>Figura 47</b> <i>Distribución de las probetas en la placa rectangular</i> .....	77
<b>Figura 48</b> <i>Proceso de fresado</i> .....	78
<b>Figura 49</b> <i>Probetas ensayo de tracción</i> .....	78
<b>Figura 50</b> <i>Probetas ensayo metalográfico</i> .....	79
<b>Figura 51</b> <i>Proceso de torneado</i> .....	79
<b>Figura 52</b> <i>Probetas ensayo compresión</i> .....	80
<b>Figura 53</b> <i>Laboratorio de mecánica de materiales</i> .....	81
<b>Figura 54</b> <i>Probetas para ensayos de tracción a base de pistones reciclados</i> .....	82
<b>Figura 55</b> <i>Máquina de ensayos universales AMSLER FM-1033</i> .....	82
<b>Figura 56</b> <i>Instructivo para el uso de la máquina de ensayos</i> .....	83
<b>Figura 57</b> <i>Mordazas de agarre de la máquina de ensayo universal AMSLER FM-1033</i> .....	84
<b>Figura 58</b> <i>Gráficas fuerza desplazamiento Excel (fundición pistones reciclados)</i> .....	86
<b>Figura 59</b> <i>Modelado gráfico probeta de ensayo de tracción, lateral</i> .....	88
<b>Figura 60</b> <i>Máquina de ensayos universal AMSLER FM-1033</i> .....	89
<b>Figura 61</b> <i>Modelado gráfico de probeta de ensayo de compresión, lado lateral</i> .....	90
<b>Figura 62</b> <i>Modelado gráfico de probeta de compresión, lado superior</i> .....	92

<b>Figura 63</b> <i>Máquina de ensayos universal AMSLER FM-1033</i> .....	93
<b>Figura 64</b> <i>Instructivo para la máquina de ensayos</i> .....	94
<b>Figura 65</b> <i>Probeta para ensayo de compresión</i> .....	95
<b>Figura 66</b> <i>Laboratorio de ciencia de los materiales</i> .....	98
<b>Figura 67</b> <i>Probetas de ensayo metalográfico</i> .....	98
<b>Figura 68</b> <i>Resina poliéster ortoftálica</i> .....	99
<b>Figura 69</b> <i>Meck Peróxido</i> .....	99
<b>Figura 70</b> <i>Probetas con molde de resina para ensayos de metalografía</i> .....	100
<b>Figura 71</b> <i>Banco de lijas</i> .....	100
<b>Figura 72</b> <i>Alúmina de 1 <math>\mu</math>m</i> .....	101
<b>Figura 73</b> <i>Máquina pulidora de pañó</i> .....	101
<b>Figura 74</b> <i>Revelador químico</i> .....	102
<b>Figura 75</b> <i>Microscopio digital IM</i> .....	103
<b>Figura 76</b> <i>Gráficas fuerza desplazamiento Excel (mejora fundición de pistones reciclados)</i> ..	112
<b>Figura 77</b> <i>Modelado gráfico probeta de ensayo de tracción, lateral</i> .....	113

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Cuadro de operacionalización de variables.....	32
<b>Tabla 2</b> Temperatura de fusión de los metales .....	38
<b>Tabla 3</b> Series del aluminio.....	48
<b>Tabla 4</b> Propiedades aluminio 4032.....	49
<b>Tabla 5</b> Ensayos mecánicos.....	53
<b>Tabla 6</b> Ensayo de tracción con material a base de pistones reciclados.....	84
<b>Tabla 7</b> Promedio de datos obtenidos en ensayo de tracción con material a base de pistones reciclados.....	87
<b>Tabla 8</b> Ensayo de compresión con material a base de pistones reciclados.....	95
<b>Tabla 9</b> Promedio de datos obtenidos en ensayo de compresión con material a base de pistones reciclados.....	97
<b>Tabla 10</b> Ensayo metalográficos con material a base pistones reciclados.....	103
<b>Tabla 11</b> Composición química del material a base de pistones reciclados.....	105
<b>Tabla 12</b> Tabla de rangos de composición química de pistones automotrices.....	106
<b>Tabla 13</b> Ensayo metalográfico con material mejorado a base de pistones reciclados.....	107
<b>Tabla 14</b> Composición química del material mejorado a base de pistones reciclados .....	109
<b>Tabla 15</b> Ensayo de tracción con material mejorado a base de pistones reciclados.....	110
<b>Tabla 16</b> Promedio de datos obtenidos en ensayo de tracción con material mejorado a base de pistones reciclados .....	112
<b>Tabla 17</b> Ensayo de compresión con material mejorado a base de pistones reciclados.....	114

<b>Tabla 18</b> <i>Promedio de datos obtenidos en ensayo de compresión con material mejorado a base de pistones reciclados</i> .....	116
<b>Tabla 19</b> <i>Resultados comparativos</i> .....	117
<b>Tabla 20</b> <i>Recursos humanos</i> .....	118
<b>Tabla 21</b> <i>Recursos materiales</i> .....	119
<b>Tabla 22</b> <i>Recursos tecnológicos</i> .....	120
<b>Tabla 23</b> <i>Presupuesto</i> .....	121

**Índice de ecuaciones**

<b>Ecuación 1</b> <i>Esfuerzo</i> .....	87
<b>Ecuación 2</b> <i>Razón de esbeltez</i> .....	90
<b>Ecuación 3</b> <i>Radio de giro</i> .....	91
<b>Ecuación 4</b> <i>Momento de inercia de la probeta</i> .....	91

## Resumen

La presente investigación consiste en el diseño y manufactura de probetas a partir de la fundición y reciclado de pistones de aluminio usados, para llevarla a cabo se recopiló información de fuentes confiables referentes a procesos de fundición, normativas y ensayos mecánicos, así mismo fuentes que determinan materiales y elementos que conforman pistones automotrices. Para la obtención de las probetas de ensayos mecánicos se necesita el proceso adecuado de fundición, en el cual los pistones usados son derretidos a altas temperaturas, por consiguiente se efectúa el colado del material en un molde de arena, donde se encuentra plasmado una plantilla con la forma de la figura a obtener, con esta pieza inicial se realiza la manufactura de las probetas teniendo en cuenta las dimensiones de acuerdo a las normativas y los ensayos que se efectuarán en dichas probetas. Una vez generadas las probetas con el dimensionamiento requerido se procede a realizar los distintos ensayos mecánicos como son tracción, compresión, análisis metalográfico y análisis químico; que nos permitirán obtener las características del material. Al conocer estas características y en comparación con datos investigados en fuentes bibliográficas se determina la calidad del material fundido, aseverando que es necesario una mejora esto siendo posible al añadir ciertos elementos como son cromo, hierro, magnesio, níquel, silicio, cobre y zinc, mejorando sus propiedades mecánicas. Finalmente, con el material mejorado se realiza nuevamente el proceso de manufactura de las probetas de ensayo, y los ensayos mecánicos comparando las características del nuevo material y dando como resultado que es idóneo para la reutilización en el campo automotriz.

*Palabras claves:* Pistones, fundición de aluminio, ensayos mecánicos, probetas de ensayo.

### **Abstract**

The present investigation consists of the design and manufacture of test tubes from the foundry and recycling of used aluminum pistons, to carry it out, information was collected from reliable sources, references to foundry processes, regulations and mechanical tests, as well as sources that determine materials and elements that make up automotive pistons. In order to obtain the mechanical test specimens, the appropriate casting process is needed, in which the pistons used are melted at high temperatures, therefore the casting of the material in a sand mold is determined, where a template is embodied. With the shape of the figure to be obtained, with this initial piece the test tubes are manufactured taking into account the dimensions according to the regulations and the tests that will be carried out on said test tubes. Once the specimens have been generated with the required dimensioning, the different mechanical tests are carried out, such as traction, compression, metallographic analysis and chemical analysis; that will allow us to obtain the characteristics of the material. Knowing these characteristics and in comparison with data investigated in bibliographic sources, the quality of the molten material is determined, determining that an improvement is necessary, this being possible by adding certain elements such as chromium, iron, magnesium, nickel, silicon, copper and zinc, improving its mechanical properties. Finally, with the improved material, the manufacturing process of the test specimens is carried out again, and the mechanical tests are carried out, comparing the characteristics of the new material and giving as a result that it is suitable for reuse in the automotive field.

*Keywords:* Pistons, aluminium casting, mechanical tests, test specimens.

## Capítulo I

### Marco metodológico de la investigación

#### Antecedentes investigativos

Menciona (Lourdes, 2004): La contaminación que produce el sector automotriz ha sido una de las más grandes preocupaciones fundamentales de las diferentes regulaciones ambientales desde hace muchos años. Estas regulaciones se han enfocado principalmente en la disminución de emisiones contaminantes al aire, para lo que ha sido necesario el rediseño vehicular para la reducción del peso del mismo y del uso de combustible. Pero se debe resaltar, que al momento de llegar al final de su vida útil los restos del vehículo son altamente contaminantes si no se reciclan de la manera más adecuada.

En su investigación (Carrizosa Isaza, 2007) aclara que la fundición es mayormente utilizada dentro del mundo de los metales para dar forma a infinidad de productos o piezas mecánicas que son de gran importancia para la vida diaria del ser humano, desde simples objetos de uso doméstico, hasta piezas que se utilizan en la industria aeroespacial, automotriz y mecánica entre otros, en su mayoría se utilizan en partes que intervienen dentro de los procesos de producción industrial.

Asevera (Intelángelo & Benato, 2018) que los procesos de transformación se basan en una serie de procesos y operaciones que parten de un material en bruto y modifican sus características hasta transformarlas en una pieza o producto elaborado que tiene una utilidad industrial. La forma final de una pieza industrial, debe cumplir una serie de requisitos y normas imprescindibles para ser considerada útil dentro de la industria. Para fabricar una pieza o elemento mecánico, además de realizar un pre diseño en el que se especifiquen dimensiones, características, propiedades y materiales, lo cual es necesario elegir el procedimiento más

adecuado al momento de la fabricación, con el fin de dar forma y una utilidad al material. Para crear este tipo de piezas mecánicas se necesita un recipiente denominado molde, el cual presenta una cavidad por donde se introduce una materia prima en estado de fusión el cual, al momento de solidificarse, toma la forma de la cavidad presente en el molde. Luego de que el estado de solidificación tome una temperatura ambiente este se extrae del recipiente. Este tipo de moldes por lo general, constan de dos elementos denominadas piezas, con una perfecta acoplación una con la otra. Por medio de este proceso se puede realizar la fabricación y obtención de piezas de formas muy diversas, siendo utilizado ampliamente en el campo de los recipientes de productos industriales y carcasas de elementos mecánicos.

Menciona (Rodríguez, 2015): El Aluminio es una materia prima metálica cuyas propiedades y características no sufren mayor alteración cuando se las transforma en un determinado producto o pieza mecánica. Por lo cual el aluminio, puede ser reciclado y reutilizado varias veces para la fabricación de nuevos productos con la cualidad de que no sufre gran afectación a la calidad de los mismos. Por lo cual el aluminio conserva el gran valor de este metal y ofrece un incentivo económico lo suficientemente aceptable para que pueda ser recolectado, tratado, fundido y reutilizado de una forma similar o comparable con su proceso inicial de fabricación.

Menciona (Delgado et al., 2015): El aluminio es considerado uno de los materiales con un alto potencial de aprovechamiento, es obtenido habitualmente gracias a los planes de reciclaje entre estos los post consumo y post industriales que implementan las diferentes ciudades en el mundo. Pero se debe resaltar que para poder llevar estos residuos al mercado nacional e internacional es necesario dar un tratamiento adecuado al material para evitar las impurezas y cumplir con todas normas de calidad que necesita este material, además del cumplimiento de

estas normas se debe controlar su composición química para obtener las propiedades mecánicas deseadas en el producto o pieza industrial.

### Planteamiento del problema

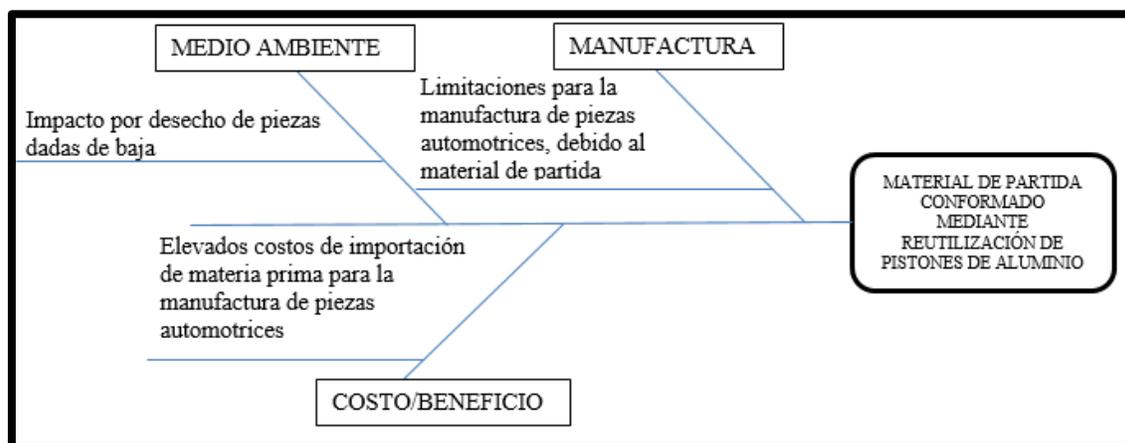
La industria automotriz es una de las más amplias a nivel mundial con lo cual esta se encuentra en un cambio y mejora constante, teniendo como consecuencia la generación de desechos derivados de autopartes y vehículos obsoletos.

Así mismo se presentan inconvenientes al momento de realizar búsquedas de piezas automotrices que ya no se producen, para vehículos los cuales siguen en funcionamiento en el país, de esta manera se determina una desventaja en el sector productivo dando así una acumulación de desperdicios como chatarra debido a la discontinuación de estos vehículos por la falta de piezas automotrices, y los mismos inconvenientes en la generación de chatarra debido a las autopartes antes mencionadas por falta de procesos de reutilización.

Al momento de verse en la necesidad de manufacturar repuestos automotrices uno de los inconvenientes más referentes es la obtención del material el cual no contiene las propiedades mecánicas adecuadas.

### Figura 1

*Planteamiento del problema (Diagrama espina de pescado)*



## **Descripción resumida del proyecto**

Se procederá a realizar una búsqueda en bibliografías digitales, así mismo se investigará en sitios web confiables acerca de la manufactura, materiales y tratamientos que se llevan a cabo en el proceso de fabricación de piezas automotrices, los cuales ayudarán al desarrollo correcto del presente trabajo de investigación.

Se estudiarán distintos materiales utilizados en la construcción de piezas automotrices industriales para determinar la factibilidad del uso de material reciclado a partir de pistones de aluminio, en la manufactura de un nuevo pistón.

Se determinarán los parámetros para el diseño y fabricación de probetas de ensayo de acuerdo a las especificaciones necesarias para su correcto análisis.

El principal componente de las probetas de ensayo es el aluminio, el cual al momento de ser fundido presenta ciertos inconvenientes tanto en su composición como en su apariencia, para lo cual se deberá usar un tipo de fundente o utilizar el proceso desgasificador, adicional a esto se debe realizar una reconfiguración a la composición inicial de la colada, para ello se debe tomar en cuenta las diferentes aleaciones entre las cuales tendremos la adición del cobre, hierro, zinc etc., con el fin de mejorar el producto final.

Una vez que se han obtenido las probetas de ensayo, se procede la realización de las pruebas mecánicas utilizadas en la manufactura de piezas automotrices, para así conseguir datos y realizar una comparación de las distintas propiedades y características del material obtenido frente al material utilizado comúnmente en la fabricación de piezas automotrices nuevas.

## **Justificación e importancia**

Debido a la creciente demanda de vehículos en el mercado existe una dependencia de generar autopartes para el abastecimiento de dichos vehículos, con lo cual existe una generación desmedida de residuos provenientes de los desechos de dichas autopartes ya obsoletas.

Con lo cual la presente investigación procura determinar un reciclaje de pistones de aluminio dados de baja para disminuir el impacto ambiental por el manejo y producción de los desechos, producto de la obsolescencia de las autopartes antes mencionadas.

Dando así que la producción de un nuevo material de partida para nuevos pistones por lo tanto esto implica un nuevo proceso de manejo de desechos de dichas partes ya obsoletas, el proceso a utilizar es la fundición de piezas dadas de baja del sector automotriz, para ello se procura diseñar y fabricar probetas de ensayos mecánicos las cuales nos permitirán obtener un nuevo material de partida creado a partir de pistones reciclados, y así pueda ser comparado con un material totalmente virgen, pero con diferentes características tanto económicas como de disponibilidad, para lo cual este proceso de reducción de desechos en sector automotriz genera una gran ayuda al medio ambiente que es uno de los problemas más significativos en la conservación de nuestro planeta hoy en día.

Así mismo la generación de un nuevo material de partida da apertura para la fabricación de piezas automotrices idóneas en el país, por lo cual se puede evitar importaciones innecesarias de las mismas.

## **Objetivos del proyecto**

### ***Objetivo General***

Obtener un material de partida, idóneo que permita la fabricación de pistones a partir de la fundición de piezas recicladas.

### ***Objetivos Específicos***

Recopilar información bibliográfica que sustente los procesos de fundición, la obtención de materiales a partir de fundición y pruebas de ensayos en materiales.

Utilizar pistones reciclados de aluminio para la formación de un nuevo material.

Diseñar y manufacturar probetas de ensayo mecánico.

Realizar pruebas de fundición para la obtención de un material óptimo para la producción de pistones automotrices.

Realizar los ensayos y pruebas mecánicas a las probetas fabricadas y determinar las correctas propiedades que se necesitan para la fabricación de piezas automotrices.

Comprobar los resultados de las pruebas y determinar un material idóneo para la fabricación de pistones automotrices.

### **Metas del proyecto**

Diseñar y manufacturar probetas de ensayo a partir de la fundición de pistones dados de baja en el sector automotriz.

Comprobar la eficiencia de la materia prima obtenida a partir de la fundición de pistones reciclados, para la manufactura de un nuevo pistón.

## Hipótesis

¿El diseño y fabricación de piezas automotrices con material reutilizable es una alternativa para ayudar al medio ambiente y además de presentar la misma resistencia mecánica al trabajo?

## Variables de la investigación

Para el proyecto de investigación se aplicarán las variables como son: variables dependientes y variables independientes.

### ***Variable Independiente***

Diseño de probetas de ensayo.

### ***Variable Dependiente***

La reutilización de material dado de baja a partir de pistones reciclados para la fundición y fabricación de probetas de ensayo.

**Tabla 1**

*Cuadro de operacionalización de variables*

<b>Variables</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Diseño de probetas de ensayo	Independiente	Diseñar y realizar probetas de ensayo mecánico para determinar un material idóneo para la fabricación de pistones automotrices	Diseño	Utilización de herramientas CAD/CAM para el diseño preliminar
			Fabricación	Determinación de propiedades mecánicas de los materiales

<b>Variables</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Reutilización de material dado de baja para la fundición y fabricación de probetas de ensayo	Dependiente	Utilizar material reciclado de pistones dados de baja para la fabricación de probetas de ensayo	Economía Medioambiente	Búsqueda de un material idóneo con menor gasto de fabricación Utilización de material reciclado para un menor impacto ambiental

## CAPÍTULO II

### Marco Teórico

#### **Fundición**

La fundición es una de las actividades humanas más antiguas, que nace de la necesidad de dar forma y características especiales a distintas piezas metálicas, el proceso consta de transformar un material metálico o aleación en otro utilizando altas temperaturas y un molde que contiene la forma de la pieza que se desea fabricar, en donde se deposita el metal en estado líquido y se deja enfriar hasta que vuelva a su estado sólido, la técnica ha ido evolucionando al pasar de los años con la mejora de la destreza de los artesanos, esta actividad marca el desarrollo de las civilizaciones antiguas y el avance industrial de las naciones, por lo cual el arte de la fundición se ha vuelto una ciencia moderna donde se busca mecanizar, automatizar o reemplazar equipos antiguos, mediante sistemas adecuados que conduzcan a disminuir los costos (Quintero,2018).

#### ***Defectos de la fundición***

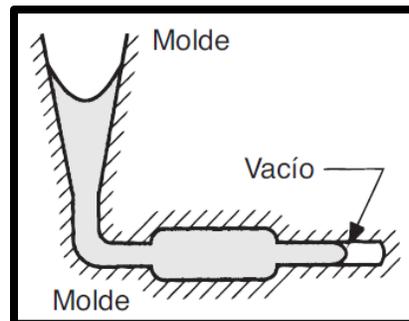
Al momento de la fundición existen inconvenientes que determinan la calidad de la misma, con lo cual se ve afectado el resultado final, estos inconvenientes se presentan debido a diferentes factores como son el material de partida, la estructura del molde, temperatura de la colada, etc.

Por lo tanto, para (Groover, 2007) los defectos que se presentan en la fundición son los siguientes:

**Vacíos.** Se determina como vacíos a los espacios dejados en las fundiciones que se endurecen o solidifican antes de que el molde se llene por completo, esto se da por diferentes factores como son, la pérdida de fluidez en la colada, calor de descarga muy bajo, vertido de la colada extremadamente lento y sección de la cavidad transversal demasiado delgado.

## Figura 2

*Vacíos en la fundición*

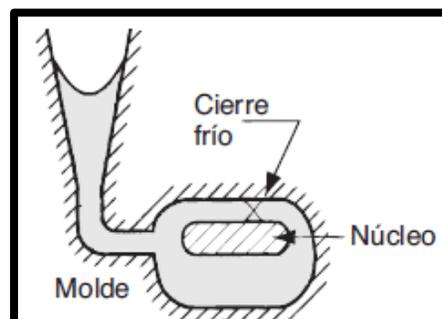


*Nota.* Adaptado de FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA Materiales, procesos y sistemas (p.238), por M. P. Groover, 2007, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

**Cierres Fríos.** Este fenómeno se da debido a que existen dos partes de metal las cuales fluyen juntas, pero no existe una fusión entre las mismas por la solidificación anticipada de una de ellas, eso se asemeja a los vacíos en la fundición.

## Figura 3

*Cierres fríos en la fundición*

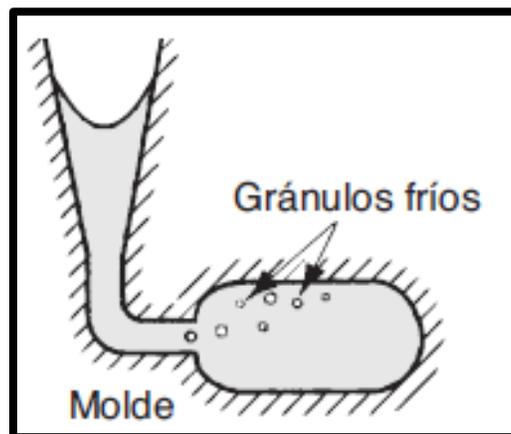


*Nota.* Adaptado de FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA Materiales, procesos y sistemas (p.238), por M. P. Groover, 2007, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

**Gránulos fríos.** Se producen por la salpicadura de la colada en el momento del vertido, dando como resultado la formación de pequeños elementos sólidos que se introducen y quedan atrapados en la fundición, esto se puede evitar dando un diseño especializado de paso de la colada en el molde y un procedimiento estructurado al momento del vertido.

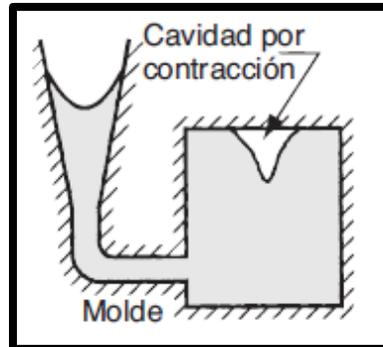
#### Figura 4

*Gránulos fríos en la fundición*



*Nota.* Adaptado de FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA Materiales, procesos y sistemas (p.238), por M. P. Groover, 2007, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

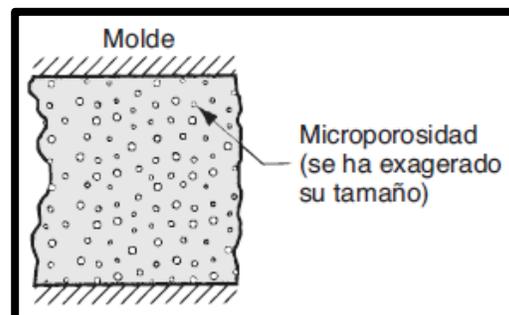
**Cavidad de fuga.** Se determina como una depresión en las superficies de la fundición, esto es debido a fugas en el vertido de la colada al momento del endurecimiento de la misma y así se restringe en la cantidad del metal fundido, se presenta más frecuentemente en las paredes de la fundición. Comúnmente se soluciona con un diseño apropiado en la boca de vertido del molde.

**Figura 5***Cavidad de fuga en la fundición*

*Nota.* Adaptado de FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA Materiales, procesos y sistemas (p.238), por M. P. Groover, 2007, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

**Microporosidad.** Es una serie de pequeños vacíos distribuidos a lo largo del material fundido, esto se da por una falta de solidificación en un área específica fundición final, este fenómeno se adjunta a las distintas aleaciones las cuales de manera fraccionada se presentan al momento de la solidificación.

Según (Naro y Williams, 2019) se opta por añadir ciertas cantidades de ferroselenio (FeSe), a la fundición que suprime las microporosidades en la misma.

**Figura 6***Microporosidad en la fundición*

*Nota.* Adaptado de FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA Materiales, procesos y sistemas (p.238), por M. P. Groover, 2007, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

### Temperatura de fusión de los metales

Para (Intelangelo y Bonato, 2019) esta temperatura es el punto donde comienza a fundirse los diferentes tipos de metales, por lo cual empieza a convertirse de un estado sólido a un estado líquido a continuación tenemos algunos de los metales más usados y la temperatura de fusión de cada uno.

**Tabla 2**

*Temperatura de fusión de los metales*

<b>Material</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Temperatura de fusión</b>	<b>Material</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Temperatura de fusión</b>
<b>Fosforo</b>	P	44°C	Aluminio	Al	660°C
<b>Potasio</b>	K	63°C	Calcio	Ca	780°C
<b>Sodio</b>	Na	96°C	Plata	Ag	960°C
<b>Yodo</b>	I	114°C	Oro	Au	1060°C
<b>Azufre</b>	S	120°C	Cobre	Cu	1080°C
<b>Estaño</b>	Sn	230°C	Manganeso	Mn	1250°C
<b>Plomo</b>	Pb	330°C	Níquel	Ni	1430°C
<b>Zinc</b>	Zn	420°C	Hierro	Fe	1500°C
<b>Arsénico</b>	As	500°C	Vanadio	V	1680°C
<b>Antimonio</b>	Sb	630°C	Platino	Pt	1710°C
<b>Magnesio</b>	Mg	630°C	Cromo	Cr	2000°C

*Nota.* Adaptado de Intelángelo, R., Benato, A. (2018). *Fundición y Moldeo Taller II. Politécnico.*

Universidad de Rosario

## **Temperatura de colada**

La temperatura de colada es un exceso de temperatura que se le da al material metálico para evitar el enfriamiento que se produce cuando se le retira del horno, esta temperatura debe ser más alta a la temperatura de fusión (Intelangelo y Bonato, 2019).

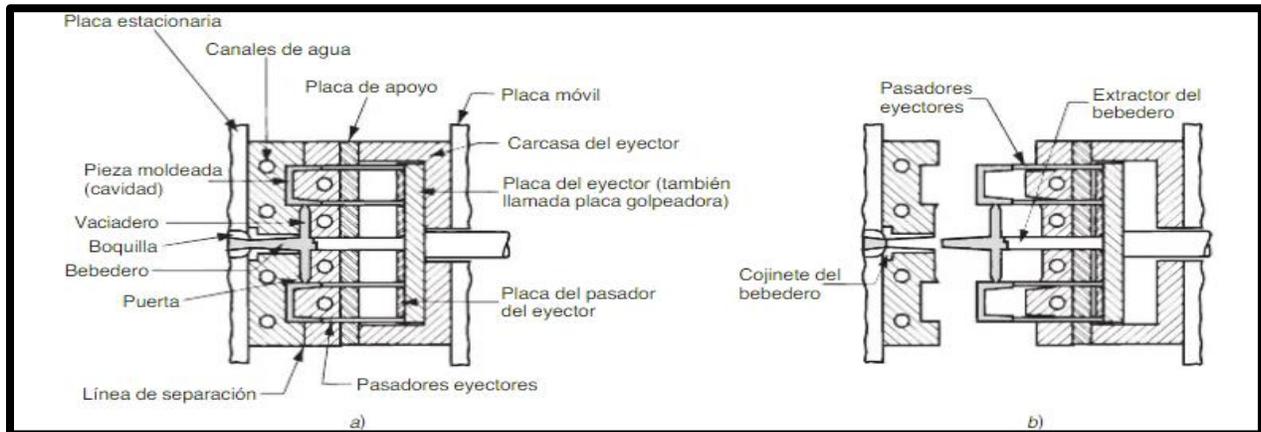
## **Moldes para fundición**

Los moldes para la fundición son el resultado de un estudio o diseño previo que se realiza en función de capturar las características que debe tener la nueva pieza, ya sea fabricado en una pieza sólida que puede ser reutilizada las veces que sean necesarios, o a su vez, los moldes pueden ser fabricados de piezas desechables, que una vez que son utilizadas para marcar las características sobre un material maleable se destruyen para dejar el espacio donde se deposita el metal fundido (Pachacama Nasimba et al., 2020).

De acuerdo a (Groover, 2007) nos muestra un ejemplo claro de un tipo de molde por placas como se aprecia en la Figura 7, en donde el molde se forma por dos piezas que se encajan para formar una cavidad, estas placas se unen por medio de abrazaderas que mantiene a las piezas juntas mientras el material metálico toma la forma de la pieza que se desea obtener, además de las abrazaderas los moldes deben tener un canal de distribución por donde fluya el material metálico fundido de la boquilla del barril de inyección a la cavidad del molde, conjunto con el canal debe existir un Bebedero que va de la boquilla al molde, un Vaciador que van de la toma a la cavidad o cavidades.

**Figura 7**

Detalles de un molde de dos placas para molde por inyección de termoplásticos: a) cerrado y b) abierto.



*Nota.* Adaptado de FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA Materiales, procesos y sistemas (p.238), por M. P. Groover, 2007, MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

### **Tipos de moldes**

Según (Carrizosa, 2007) los tipos de moldes se clasifican en 3 grupos que determinan el tipo de fundición que se va a realizar:

**Molde permanente.** El molde es reutilizable con el fin de ser usado varias veces para la producción en masa, este molde puede ser usado tanto en fundición por arena como también en la fundición por coquilla manual en donde se tiene dos piezas metálicas (macho y hembra) que encajan perfectamente para formar una cavidad en el momento de ser cerradas y aseguradas por un operario, el mismo que deposita el material metálico fundido dentro de la cavidad.

**Figura 8**

*Molde permanente de aleación de hierro para fundición*

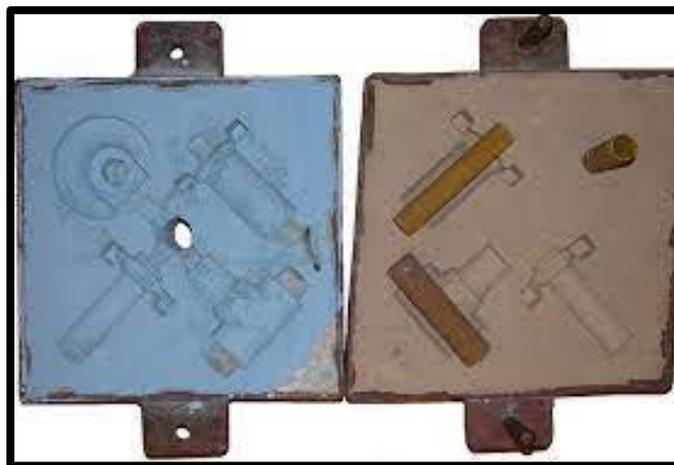


*Nota.* Adaptado de Moldes permanentes. Coquillas, por Materiales para la fabricación de moldes y modelos de fundición, BIRTLH, (<https://ikastaroak.ulhi.net>).

**Molde y modelo desechable.** Este tipo de molde es utilizado en su mayoría en la fundición por arena, en donde se utiliza un material evaporable que tiene las características de la pieza que se quiere fabricar y se ingresa a presión en la arena hasta generar una cavidad donde se ingresa el material metálico fundido, el cual evapora el molde por el exceso de calor.

**Figura 9**

*Molde de arena para fundición*



*Nota.* Adaptado de Preparación de moldes y modelos, por selección de moldes y modelos de fundición., BIRTLH, (<https://ikastaroak.ulhi.net>).

**Molde desechable y modelo permanente.** Es este caso se ingresa el molde que tiene un modelo reutilizable en arena a presión lo que genera una cavidad donde se deja el molde desechable el cual es destruido para retirar la pieza nueva.

Dado su gran utilidad dentro de la industria los moldes permanentes tienen un papel importante en la producción en masa de piezas metálicas, este tipo de moldes están hechos en su mayoría de metal que soporte altas temperaturas del material metálico fundido, los moldes permanentes consisten en dos o más secciones que forman una cavidad para el material fundido y se abren para permitir el retiro de la pieza terminada dentro del mismo, como se puede visualizar en la Figura 10. (Gómez, 2018).

#### **Figura 10.**

*Modelo reutilizable en un molde desechable*



*Nota.* Adaptado de Fundición en molde de arena para crear piezas de metal, por Logo BricoGeek, 2020, (<https://blog.bricogeek.com>).

## **Moldeo en arena**

Para (Intelangelo y Bonato, 2019) el modelado en arena es un método de fundición en el cual se copia un modelo específico, utilizando tierra o arena de moldeo, esta arena se encuentra constituida a partir de material arcilloso, obteniendo propiedades plásticas, elasticidad y maleabilidad, esto ayuda a que la pieza tenga la forma requerida mediante compactación de dicho material.

Al obtener la compactación requerida, se retira el molde quedando una cavidad en su interior, en la cual se vierte el material fundido.

Este proceso es económico y apto para temperaturas elevadas, incluyendo todo tipo de metales, una de las desventajas de este proceso es tener que realizar un molde para cada pieza.

### ***Tipos de moldeo en arena***

Según (Villacis, 2015) explica que los tipos de moldeo en arena se clasifican por medio de los tipos de arena base y los métodos utilizados en su producción.

**Arena de moldeo en verde.** Se conoce como moldeo en verde al proceso en el cual la arena utilizada en el molde contiene humedad al momento que el material fundido es vaciado en el mismo, este método es el más antiguo y utilizado debido a su economía.

Para realizar este método se mezcla arena, arcilla (bentonita) y agua en partes proporcionales las cuales son arena 90%, agua 3% y arcilla 7%.

**Figura 11**

*Modelado en arena verde*



*Nota.* Adaptado de Fundición Tecnologías, por Metal Group Fundición y Mecanizado, (<https://www.metalgroup.es/es/fundicion.html>).

**Método de película seca.** Se determina como moldeo de película a la mezcla de arena de sílice con aglutinante orgánico, y estos moldes se ingresan a un horno donde se cuecen antes de ser utilizados, esto debido a que el calor fortalece y endurece el molde, obteniendo dimensiones más precisas, este método se utiliza frecuentemente para obtener fundiciones de proporciones grandes como bloques de motor y piezas estructurales en construcción (Erickson, 2018).

**Figura 12**

*Hornos de precalentamiento*

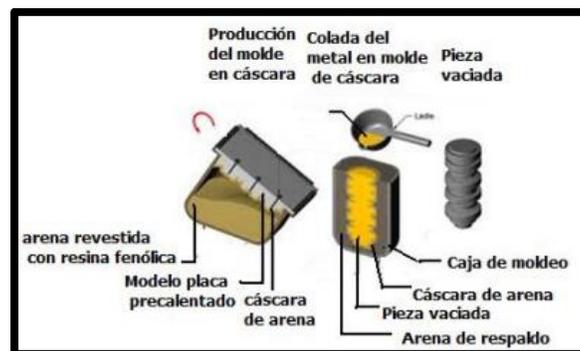


*Nota.* Adaptado de Hornos para tratamientos de moldes, por Gamboa & C Ingenieros SR, (<https://gamboaingenieros.com/productos/>).

**Proceso de molde de caja caliente.** En este proceso es necesario calentar la mezcla de arena y resina, otro método es dejar que la mezcla entre en contacto con los moldes calentados, este proceso de moldeo proporciona una precisión dimensional elevada, por este método se determina un coste elevado y su uso es más frecuentemente y limitado en sistemas de producción en masa.

### Figura 13

*Proceso de moldeo por caja caliente*



*Nota.* Adaptado de MÉTODOS DE FUNDICIÓN O COLADA, (<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2548/05-MPM-Cap2-Final.pdf?sequence=5>)

**Proceso de molde de caja fría.** Para este proceso el endurecimiento de la mezcla de arena base junto con el aglutinante orgánico se da por la acción de un catalizador ya sea en forma de gas o vapor a temperatura ambiente que pasa a través de la arena.

**Figura 14**

*Aglutinante para canalización del molde*



*Nota.* Adaptado por Molde por resinas autofraguantes y proceso de caja caliente, por Liz Laguna, (<https://prezi.com/4vwhn-w3wkhb/molde-por-resinas-autofraguantes-y-proceso-de-caja-caliente/>)

**Aluminio como material fundente.**

Según (Rodríguez, 2017) : El aluminio es una materia prima de gran contribución al desarrollo del ser humano con lo cual por el paso de los años ha sido uno de los principales metales en el avance tanto en el campo industrial como en el tecnológico.

El aluminio es uno de los tres elementos más abundantes de la corteza terrestre, entre sus características más resaltables de este elemento, es la gran resistencia a la corrosión y su baja densidad que posee, este material es muy atractivo para la fabricación de elementos o piezas industriales, por lo cual se la puede encontrar en una gran variedad de productos y dependiendo del uso se la puede encontrar en forma pura, aleado con diferentes metales y aleado con compuestos no metálicos con el fin de encontrar la mejor combinación.

Como material fundente el aluminio posee grandes beneficios, por la gran capacidad de conservar sus propiedades físicas como químicas originales, sin importar el número de veces que este sea fundido, este proceso de fundición con aluminio ayuda a garantizar un ahorro

tanto económico como un ahorro en el tiempo de producción gracias al método de fundición se puede fabricar piezas industriales que con otros tipos de métodos son muy difíciles.

### Figura 15

#### *Características del aluminio*

Símbolo:	Al	Mineral principal:	Bauxita (mezcla impura de $Al_2O_3$ y $Al(OH)_3$ ).
Número atómico:	13	Elementos de aleación:	Cobre, manganeso, silicio y zinc.
Gravedad específica:	2.7	Aplicaciones comunes:	Contenedores (latas de aluminio), láminas para envolturas, conductores eléctricos, vasijas y cacerolas, piezas para construcción, aeroespaciales automotrices y otros usos en los que el poco peso es importante.
Estructura cristalina:	FCC		
Temperatura de fusión:	660 °C (1 220 °F)		
Módulo de elasticidad:	69 000 MPa ( $10 \times 10^6$ lb/in <sup>2</sup> )		

*Nota.* Adaptado de FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA Materiales, procesos y sistemas (p.112), por M. P. Groover, 2007, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

#### ***Aleaciones de aluminio.***

Entre los principales elementos que son grandes aleantes para el aluminio tenemos al bismuto, cadmio, circonio, vanadio, litio, plomo, estaño, plata, cobalto y níquel. Dentro del mundo industrial es conocido que se producen dos tipos de aluminios los cuales según la Sociedad Americana de Materiales ASM se clasifican en:

**Aluminios fundidos.** Los grupos principales de las no tratables térmicamente son la serie 1xxx, 5xxx y 6xxx

**Aluminios forjados.** Dentro de estas aleaciones tenemos las tratables térmicamente las cuales son 2xxx, 3xxx, 4xxx y 7xxx en esta serie se encuentran aleaciones de aluminio con mayores resistencias mecánicas (Zuniga y Aguilar, 2016).

**Tabla 3***Series del aluminio*

Serie	Principales elementos aleantes	Características
<b>2xxx</b>	Cu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena relación peso y dureza</li> <li>• Baja resistencia a la corrosión</li> <li>• Pueden someterse a tratamientos de envejecimiento para mejorar sus propiedades mecánicas</li> </ul>
<b>3xxx</b>	Mn	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tienen un 20% más de dureza que el aluminio puro</li> <li>• Muy utilizado en área automotriz</li> </ul>
<b>4xxx</b>	Si	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En grandes cantidades de silicio superior al 12%</li> <li>• Bajo coeficiente de expansión térmico</li> <li>• Alta resistencia al desgaste utilizado en la construcción de pistones del área automotriz</li> </ul>
<b>5xxx</b>	Mg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena dureza, soldabilidad</li> <li>• Buena resistencia a la corrosión en ambiente marino</li> <li>• Baja capacidad de trabajo en frío</li> </ul>
<b>6xxx</b>	Mg + Si	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor dureza</li> <li>• Buena formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y resistencia a la corrosión</li> </ul>
<b>7xxx</b>	Zn	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta dureza</li> <li>• Buen tratamiento térmico</li> </ul>
<b>8xxx</b>	Otros	
<b>9xxx</b>	No usada	

*Nota.* Adaptado de Zuniga, A. C. P., Aguilar, M. de J. S. (2016). Aleaciones de aluminio A-319 T6 en la industria automotriz.

### **Aluminio 4032**

El aluminio perteneciente a la serie 4xxx se caracteriza por tener aleaciones al aluminio-silicio, produciendo que el material obtenga distintas características como son una buena resistencia al desgaste y a temperaturas elevadas.

El Aluminio 4032 es uno de los aluminios que se encuentra bien situado al momento de usarlo para la fabricación de pistones de motores (Ortolá, 2009).

Entre las características mecánicas y químicas que posee el aluminio 4032 tenemos los siguientes valores:

**Tabla 4**

*Propiedades aluminio 4032*

<b>ALUMINIO 4032</b>			
<b>Propiedades</b>	<b>Símbolo</b>	<b>MPa</b>	<b>PSI</b>
<b>mecánicas</b>			
<b>Resistencia a la tracción máxima del material</b>	Su	$\geq 359$ MPa	$\geq 52100$ psi
<b>Resistencia a la tracción al límite de elasticidad del material</b>	Sy	$\geq 331$ MPa	$\geq 48000$ psi

<b>ALUMINIO 4032</b>		
<b>Elementos</b>	<b>/</b>	<b>Rangos</b>
<b>Aluminio</b>	Al	85%
<b>Cromo</b>	Cr	<=0,10%
<b>Cobre</b>	Cu	0,50 – 1,3%
<b>Hierro</b>	Fe	<=0,10%
<b>Magnesio</b>	Mg	0,80 – 1,3%
<b>Níquel</b>	Ni	0,50 – 1,3%
<b>Silicio</b>	Si	11 – 13,5%
<b>Zinc</b>	Zn	<=0,25%

*Nota.* Datos obtenidos para el aluminio 4032 por el portal MATWEB Material Information (<https://www.matweb.com/>)

### **Aplicaciones**

La aplicación industrial del aluminio ha hecho que esta materia prima sea uno de los más importantes tanto en la variedad de uso como en la cantidad, siendo en la actualidad un material que tiene diferentes ámbitos en la industria, entre las más principales tenemos:

- a. En la industria de transporte
- b. En diferentes tipos de envases y embalajes
- c. En la construcción y edificación
- d. En el sector automotriz

## Fabricación de pistones

Según (Resendez, 2015) determina que un pistón tiene que diseñarse de tal modo que permita una propagación estable del calor, ayudando a evitar la deformación de las moléculas internas en el material debido a las altas temperaturas.

### Figura 16

*Fundición pistón de aluminio*



*Nota.* Adaptado de Pistón – Definición – Significado, por MOTORGIGA, (<https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/piston-definicion-significado/gmx-niv15-con195150.htm>)

### ***Materiales de fabricación de un pistón***

Para la fabricación de un pistón se toma en cuenta distintas aleaciones estas pueden ser: aluminio-cobre, aluminio-cobre-níquel-hierro o aluminio-silicio, en donde esta última aleación es la que tiene mayor demanda debido a sus propiedades mecánicas las cuales incluyen alta resistencia y conducción térmica así mismo de una menor dilatación térmica, uno de sus inconvenientes más notables es que al aumento del silicio disminuye su capacidad de ser maquinado por lo tanto aumenta el costo de producción (Hernández et al., 2015).

### **Probetas de ensayo**

Según (Nieto y Avedaño, 2018) menciona que para poder entender la resistencia que tiene cualquier tipo de material se deben efectuar diferentes pruebas, las cuales demuestren

los distintos cambios que sufre estos materiales ante las posibles situaciones que se pueden presentar durante su vida útil.

Para poder obtener diferentes propiedades y características de un material o una combinación de varios materiales es necesario realizar pruebas, para así poder simular algunas de las condiciones en las cuales están sometidas este tipo de elementos.

Entre estos elementos tenemos las probetas de ensayo las cuales están compuestas por diferentes materiales, los cuales serán sometidos a diferentes ensayos mecánicos según sea el caso que se los requiera. Las probetas normalmente son modelos a escala de una pieza similar a la original, así como también pequeños trozos de diferentes formas que cumple con normas estandarizadas, para que puedan ser utilizadas en los diferentes ensayos según sea el método que se los vaya a aplicar (HAMBURG, 2020).

- a) Probetas redondas con terminaciones roscadas
- b) Probetas redondas con terminaciones lisas
- c) Probetas planas con terminales lisas
- d) Probetas cilíndricas

### Figura 17

*Probetas para ensayos mecánicos*



*Nota.* Adaptado de Dispositivos de ensayo para probetas normalizadas, por Ibertest Advanced Testing Solutions, 2022, (<https://www.ibertest.es/products/dispositivos-de-ensayo-para-probetas-normalizadas/>).

## Ensayos mecánicos

Los ensayos mecánicos estudian los diferentes comportamientos a los cuales son sometidos los materiales con distintos tipos de esfuerzo, para lo cual se utiliza una relación tanto entre la fuerza aplicada como en los resultados de deformación.

Dependiendo del tipo de ensayo que se utilice y con los resultados obtenidos se pueden diseñar nuevos componentes y desarrollar nuevas combinaciones de materiales según sea el caso y así poder mejorar la calidad de la pieza a desarrollar.

Para poder obtener las características y propiedades mecánicas más exactas de los diferentes materiales se emplea uno o varios métodos de ensayos normalizados según sean los más convenientes, entre los métodos de ensayo tenemos:

**Tabla 5**

*Ensayos mecánicos*

Propiedad mecánica	Método de ensayo
Elasticidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensayo de tracción</li> </ul>
Plasticidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensayo de compresión</li> </ul>
Comportamiento del material y esfuerzo estático	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensayo de flexión</li> <li>• Ensayo de torsión</li> </ul>
Comportamiento de fluencia	Ensayo de fluencia
Dureza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brinell</li> <li>• Rockwell</li> <li>• Vickers</li> </ul>
Tenacidad	Ensayo de resiliencia

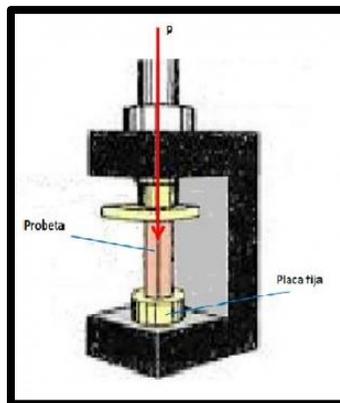
Propiedad mecánica	Método de ensayo
Resistencia a la fatiga	Ensayo de wohler

### ***Tipos de ensayos mecánicos***

**Ensayo de compresión.** Para (Morral et. al,2004) el ensayo de compresión determina el comportamiento de un material sometido a una carga compresiva uniaxial, este ensayo permite conocer el límite elástico, el límite de fluencia de dicho material, así mismo como el máximo esfuerzo compresivo que puede soportar un material, que se determina como la capacidad de soportar una carga compresiva sin romperse.

### **Figura 18**

*Maquinaria utilizada en ensayos de compresión*

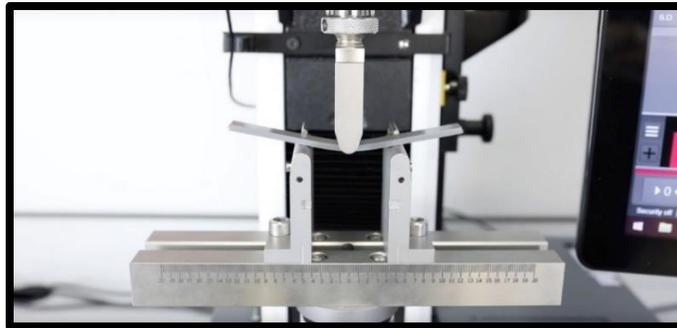


*Nota.* Adaptado de Comprueba la resistencia de materiales con el ensayo de compresión, por Structuralia, 2022, (<https://blog.structuralia.com/ensayo-de-compresion-como-se-hace>).

**Ensayo de flexión.** El ensayo de flexión es uno de los más comunes y más estudiados dentro del campo de los ensayos de los materiales, el más habitual es el ensayo por flexión en tres puntos. En el cual se analiza una viga elevada en dos puntos en cada lado de los extremos, y la fuerza se la aplica en el centro.

## Figura 19

*Proceso de ensayo de flexión*

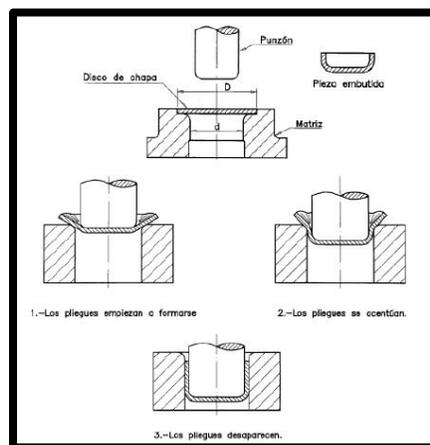


*Nota.* Adaptado de Cómo realizar una prueba de flexión en plásticos según ASTM D790, por Metalinspec Blog, 2021, (<https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/como-realizar-una-prueba-de-flexion-en-plasticos-segun-astm-d790>).

**Ensayo de embutición.** En el ensayo de embutición puede analizar el nivel de ductilidad de chapas y bandas en frío.

## Figura 20

*Proceso para ensayo de embutición*



*Nota.* Adaptado de EMBUTICIÓN, por Documentación y análisis: Conformado de productos sin arranque de viruta, 2014, (<http://de-duce-tu.blogspot.com/p/embuticion-2.html>).

**Ensayo de torsión.** En este tipo de ensayos a los materiales se les aplica fuerzas opuestas en los extremos de su estructura, por lo cual se ven sometidos a rotaciones, este tipo de giro se le denomina torsión. Gracias a la resistencia a la torsión que sufre el material se puede analizar la resistencia a los esfuerzos que puede soportar el mismo.

**Figura 21**

*Maquinaria para ensayos de torsión*

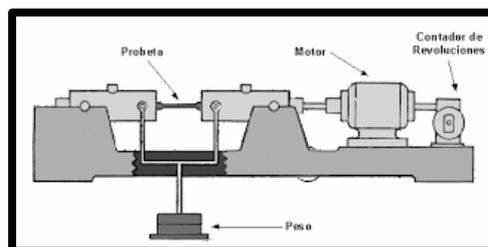


*Nota.* Adaptado de MÁQUINA PARA ENSAYOS DE TORSIÓN, TNS-J02, por MELDIC, 2015, (<https://www.meldic.cl/area-industrial/maquinas-para-ensayo-de-materiales.html>).

**Ensayo de resistencia a la fatiga.** Este tipo de ensayo va directamente dirigido a elementos mecánicos los cuales son sometidos a diferentes cargas dinámicas como lo son las vibraciones. Por lo cual el ensayo a la resistencia a la fatiga analiza el límite de carga el cual resiste el material a la carga dinámica sin sufrir una ruptura en su estructura (HAMBURG, 2020).

**Figura 22**

*Maquinaria para ensayos de resistencia a la fatiga*



*Nota.* Adaptado de Introducción al Análisis de Fatiga o Durabilidad, por IBERISA, 2001, (<http://www.iberisa.com/soporte/fatiga/intro.htm>).

**Ensayo metalográfico.** El objetivo de realizar el ensayo de metalografía es la de poder analizar y determinar los componentes que se encuentran en la probeta de ensayo, con ayuda de un microscopio el cual nos dará varios niveles de amplificación visual y un mejor reconocimiento de los elementos anteriormente nombrados. Este estudio metalográfico puede dividirse en dos métodos de análisis los cuales son:

1. Análisis macroscópico.
2. Análisis microscópico.

### Figura 23

*Microscopios utilizados en ensayos metalográficos*

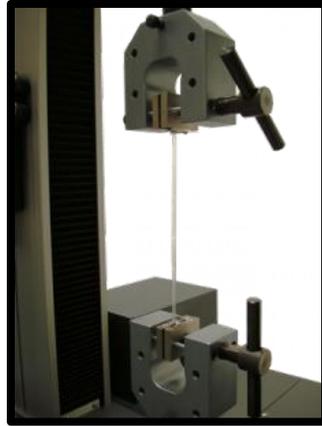


*Nota.* Adaptado de Análisis metalográfico, por SIMET USACH, (<https://www.simet.cl/analisismetalografico.php>).

**Ensayo de tracción.** Para este ensayo es necesario sujetar la probeta en una maquinaria adecuada, sometiendo la probeta a un esfuerzo de tracción, el cual va creciendo gradualmente hasta que se produce la rotura (Giachino y Weeks, 2007).

**Figura 24**

*Mordazas para ensayo de tracción*



*Nota.* Adaptado de Ensayo de Tracción, por ibertst ADVANCED TESTING SOLUTIONS, 2022, (<https://www.ibertest.es/products/ensayo-de-traccion/>).

**Diseño mecánico*****Esfuerzo***

El esfuerzo se hace referencia a la razón que se determina dividiendo una carga  $P$  aplicada entre el área  $A_0$  de la sección transversal original del espécimen, con lo cual se determina que el esfuerzo es constante en dicha sección transversal y en toda la región entre los puntos calibrados (Hibbeler 2006).

***Deformación***

Se determina como la variación longitudinal de un espécimen y se expresa como el cambio en la longitud calibrada  $\delta$  sobre la longitud calibrada original  $L_0$ , se supone que la deformación unitaria es constante en la región entre los puntos calibrados (Hibbeler 2006).

***Diagrama esfuerzo – deformación***

Según (Valera, 2005) el diagrama esfuerzo deformación expresa el comportamiento de distintos materiales a los cuales se les aplica una carga estática ya sea a tensión o a

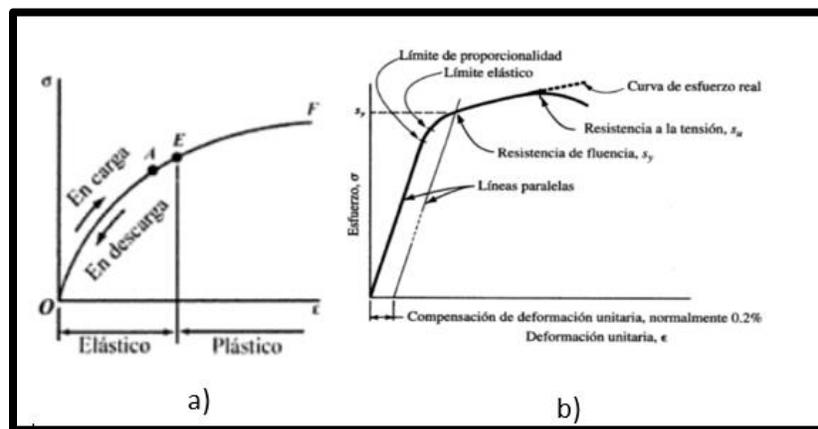
compresión, así mismo determina su estructura al momento que la carga sea retirada y el material se descarga.

Igualmente, este diagrama ayuda a determinar las distintas zonas en las que se encuentra un material al momento de generarse un esfuerzo como son la zona elástica y la zona plástica como se puede observar en la Figura 25 (a).

Este diagrama también presenta los parámetros de esfuerzo y resistencia que tiene un material como son la resistencia a la fluencia “ $S_y$ ” y la resistencia a la tensión “ $S_u$ ” tal como se observa en la Figura 25 (b).

### Figura 25

*Diagrama esfuerzo deformación*



*Nota.* Adaptado de Valera Negrete, J. P. A. (2005). *Apuntes de Física General*. Universidad Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Acatlán

**Resistencia a la fluencia  $S_y$ .** Se determina como el punto del diagrama esfuerzo – deformación en el cual existe un mayor incremento de la deformación con poco o ningún aumento del esfuerzo, lo cual indica que el material ha cedido o se ha alargado en gran medida y forma plástica permanente (Mott, 2004).

**Resistencia a la tensión  $S_u$ .** Es el punto máximo de la curva esfuerzo – deformación, en este punto se mide el máximo esfuerzo aparente que se le aplica a un material ya sea con cargas de tensión o compresión, dando como resultado un aumento de esfuerzo real hasta el punto de ruptura (Mott, 2004).

### **Normativas de ensayos mecánicos**

Para el desarrollo de las probetas de ensayos mecánicos es necesario conocer las normativas a las cuales se rigen para de este modo dimensionar cada probeta de una manera correcta y utilizar la maquinaria necesaria para cada ensayo.

Los ensayos serán realizados conforme a la normativa ASTM (American Society for Testing and Materials), que establece estándares para su realización y establece las condiciones más adecuadas para la obtención de resultados acercados a la realidad.

### ***Norma para ensayo de tracción***

El ensayo de tracción se basa en la normativa ASTM E8M la cual proporciona métodos de prueba que determinan la tensión de materiales metálicos en distintas formas a una temperatura ambiente, esta norma más específicamente determina la resistencia a la fluencia, el rendimiento del punto de alargamiento, la resistencia a la tracción, elongación y la reducción de área (ASTM E8M, 2018).

### ***Norma para ensayo de compresión***

Para la realización del ensayo de compresión la norma en la cual se basa es la ASTM E9 en la cual se determina datos de las propiedades mecánicas de los materiales a temperatura ambiente, así mismo como la fuerza de compresión uniaxial, la cual se aplica a probetas de un material cilíndrico que debe ser sólido, o a una lámina delgada que darán resultados para la investigación del comportamiento de los materiales en tensión/deformación y

sus propiedades críticas, otros resultados serán la resistencia a la compresión, límite elástico y módulo de elasticidad (ASTM E9, 2018).

### ***Norma para ensayo metalográfico***

El ensayo metalográfico se basa en la normativa ASTM E112-96 la cual permite determinar la medición del tamaño de grano incluyendo los procedimientos de comparación, el procedimiento planimétrico y los procedimientos de intercepción, estos métodos de ensayo ocupan únicamente de la determinación del tamaño de grano plano, lo que quiere decir la caracterización de las secciones de grano bidimensional reveladas por el plano de seccionamiento.

Estos métodos describen técnicas realizadas manualmente utilizando una serie estándar de imágenes de gráficos graduados para el método de comparación o plantillas simples para los métodos de conteo manual (ASTM E11-96, 2004).

### **Análisis químico**

Para el análisis químico de un material se utiliza la espectrometría que es una técnica que utiliza el análisis cualitativo y cuantitativo de una sustancia química, esta técnica se usa en la evaluación de sustancias por medio de muestras para investigar el espectro de composición que conforman dicha muestra (Espectrometría, 2020).

### **Figura 26**

*Proceso de análisis químico en aluminio*



*Nota.* Adaptado de Laboratorio Metalográfico, por METELMEX, 2017,  
(<https://www.metelmex.com/es/services-servicios/metallographic-lab-laboratorio-metalografico/>)

### ***Espectrometría de emisión óptica por chispa***

Es una técnica espectroscópica que analiza las longitudes de onda de los fotones emitidos por los átomos o moléculas durante su transición desde un estado inferior de energía.

Cada elemento emite un conjunto característico de longitudes de onda en función de su estructura electrónica, y mediante la observación de estas longitudes se determina la composición elemental de la muestra (Metalinspec, 2021).

### **Figura 27**

*Espectrómetro de emisión óptica*



*Nota.* Adaptado de Espectrómetro de emisión óptica (OES), por PANATEC,  
(<https://www.panatec-industria.com/espectrometro-oes.php>)

## Capítulo III

### Diseño y manufactura de probetas para ensayos mecánicos

#### Introducción

El propósito del diseño y la manufactura de las probetas para ensayos mecánicos es determinar la factibilidad de un material para cumplir con especificaciones de acuerdo al tipo de uso que se le va a efectuar por lo tanto es importante tener en cuenta los distintos métodos y circunstancias a las cuales serán sometidas las probetas que ayudarán a esclarecer dichas especificaciones.

En este capítulo se desarrollará el dimensionamiento y manufactura de las probetas de acuerdo a las diferentes normativas que rigen los ensayos mecánicos logrando así optimizar el comportamiento de un nuevo material que será utilizado para la formación de pistones.

#### Requerimientos

Para los requerimientos necesarios en la producción de las probetas de ensayos mecánicos en primera instancia se necesita la recopilación de material reciclado que en este caso serán pistones automotrices.

Los pistones automotrices son de una aleación compuesta principalmente de aluminio y añadido distintos metales, los cuales ayudan a mejorar sus propiedades mecánicas permitiendo resistir los impactos y desgaste en su trabajo continuo dentro del motor.

**Figura 28**

*Pistones empleados en el campo automotriz*

**Diseño de probetas**

Para el diseño de las probetas como paso inicial es la realización de dos moldes de arena para los distintos ensayos: un molde que servirá para obtener una placa rectangular de aluminio para las probetas de ensayos de tracción y metalográfico, así mismo un molde para obtener un cilindro de aluminio que se utilizará en los ensayos de compresión, de los cuales posteriormente tanto la placa como el cilindro serán mecanizados y se obtendrán las probetas de acuerdo a las medidas y estándares conforme a cada normativa.

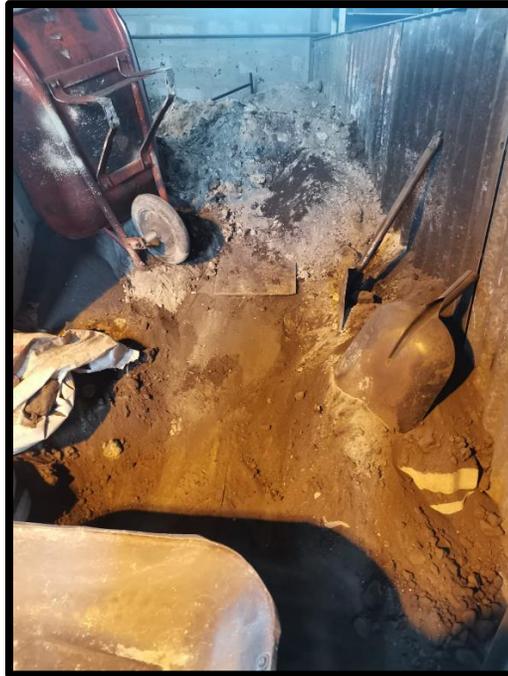
***Fabricación del molde de arena***

Para la fabricación del molde, la arena de fundición que se utiliza comúnmente es sílice, ya que contiene buenas propiedades refractarias, lo que quiere decir que puede soportar altas temperaturas sin fundirse o sufrir alguna alteración en su estructura.

Otra característica que es necesario conocer para la fabricación del molde de arena es el tamaño de grano y su distribución en la mezcla, la mezcla común que se utiliza para su fabricación es 90% arena, 3% de agua y 7% de arcilla.

**Figura 29**

*Arena de sílice para moldeo*



La arena de sílice se la acumula anteriormente al proceso de moldeo con lo cual el tamaño de grano es el inadecuado para obtener un buen resultado, por eso se le conoce arena en bruto.

Al momento de obtener la arena necesaria se procede a refinarla esto en un molino el cual permite que la arena se separe en partículas más pequeñas y el tamaño de grano sea el adecuado para poder mezclarla más fácilmente con un aglutinante que es la arcilla (bentonita) y agua, para su posterior compactación a este proceso se lo conoce como moldeo en arena verde.

**Figura 30**

*Molino de arena*



El molino contiene un rodillo que permite refinar la arena para obtener el tamaño de grano adecuado.

**Figura 31**

*Proceso de refinamiento*



Los rodillos además de moler y refinar la arena de sílice mezclan la bentonita y el agua para obtener la arena utilizada en los moldes finales.

### ***Dimensionamiento de los moldes***

Para la fabricación de los moldes se necesita de un bastidor el cual ayudará para compactar la arena y así obtener la pieza deseada, así mismo de un núcleo de madera que conformará la cavidad dentro del molde para dar forma a la pieza final en la fundición.

El bastidor es una caja en dos partes, a la cual se introduce el núcleo base y la arena para formar el molde final.

### **Figura 32**

*Bastidor para fundición*



El bastidor puede estar elaborado de distintos materiales como son hierro fundido, aluminio, madera, etc.

### ***Compactación del molde***

Al obtener el núcleo de los diferentes moldes se procede a realizar la compactación de la arena en el bastidor junto con el núcleo previamente hecho, esto para obtener una cavidad lo suficientemente estable y así permitir que el producto final de la fundición tenga una estructura aceptable para su posterior manufactura.

### **Figura 33**

*Bastidor con núcleo incorporado*



El bastidor estándar tiene un tamaño proporcional que abarca el núcleo en su totalidad, para evitar que la arena se pegue al núcleo al momento de realizar la compactación del molde es necesario cubrir la superficie del mismo con una capa generosa de grafito, evitando que se generen poros en las paredes de la cavidad del núcleo al momento de dividir el bastidor y extraerlo, para el posterior proceso de vertido de material.

**Figura 34**

*Molde de arena (pieza rectangular)*

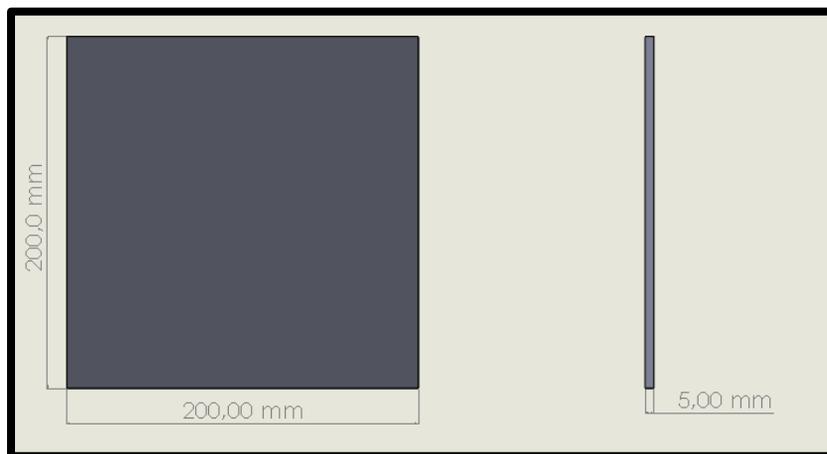


### ***Molde de placa rectangular***

Teniendo en cuenta las necesidades de cada probeta para ensayos de tracción, se determinó la estructura base que ayudará a la manufactura de probetas planas, por lo tanto, se diseñó un molde rectangular con una forma base que tiene una dimensión de 200 mm x 200 mm x 5 mm.

**Figura 35**

*Croquis placa rectangular previo a la fundición*



**Figura 36**

*Núcleo para fundición*



El núcleo es una pieza previa a la fundición de las mismas dimensiones fabricada de madera.

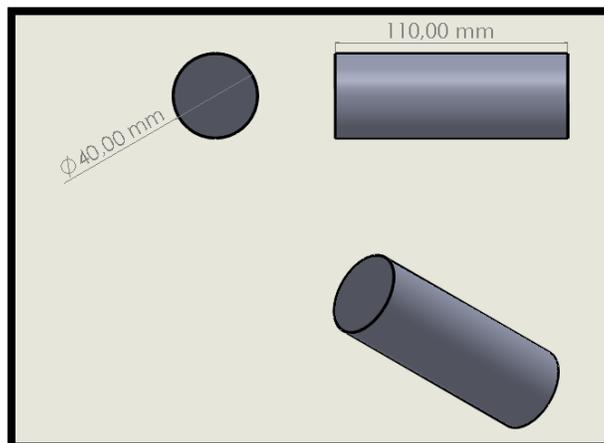
### ***Molde cilíndrico***

Para realizar las probetas que serán utilizadas en los ensayos de compresión se determinó un cilindro base que será manufacturado posteriormente de acuerdo a los estándares que determina la norma para cada probeta.

El cilindro tiene una dimensión de 40 mm de diámetro x 110 mm de longitud como se puede apreciar en la figura 37.

**Figura 37**

*Croquis de cilindro previo a la fundición*



El croquis del cilindro preliminar lo se realizó en el programa solidwork.

### **Fundición del material**

Para la fundición del material que en este caso es aluminio, provisto de pistones reciclados hay que tener en cuenta su temperatura de fusión, la cual se conoce que es 660 °C (1 220 °F), se necesita de un horno que ayude a llegar a esa temperatura.

### **Figura 38**

*Horno industrial para fundición*



Estos hornos son alimentados con un compresor que suministra aire para aumentar su temperatura según las necesidades del material que se necesita fundir.

Una vez que el horno se encuentra encendido y precalentado se procede a integrar de uno en uno los pistones hacia el interior del mismo por medio de un agujero en la tapa superior denominado boca, el cual envía directamente los pistones hacia el crisol que se encuentra en el interior que servirá para recolectar la colada.

**Figura 39**

*Incorporación de los pistones*



Teniendo en cuenta un tiempo de 10 minutos y verificando que el aluminio se ha fundido en su totalidad se retira el crisol del horno para posteriormente verter la colada en los moldes, hay que tener en cuenta que al momento de la fundición existen impurezas del material las cuales se presentan como forma de “rebaba” en la superficie de la colada.

Por lo tanto, es importante retirar dichas impurezas ya que, si se vierten dentro de los moldes, generaran imperfecciones en la fundición, determinando una calidad inferior en la pieza final a la cual se presume llegar.

**Figura 40**

*Retiro de impurezas*



Al retirar el material se procede al vertido en los moldes de una manera constante por medio de un orificio en el molde denominado bebedero.

**Figura 41**

*Vaciado de colada*



Una vez que la colada se ha vaciado en el molde se deja enfriar por unos minutos para que se solidifique el material fundido en el molde y obtener la pieza resultante desmoldando el bastidor y extrayendo dicha pieza conforme a la estructura y forma requerida.

**Figura 42**

*Placa rectangular de aluminio fundido*



**Figura 43**

*Cilindro de aluminio fundido*



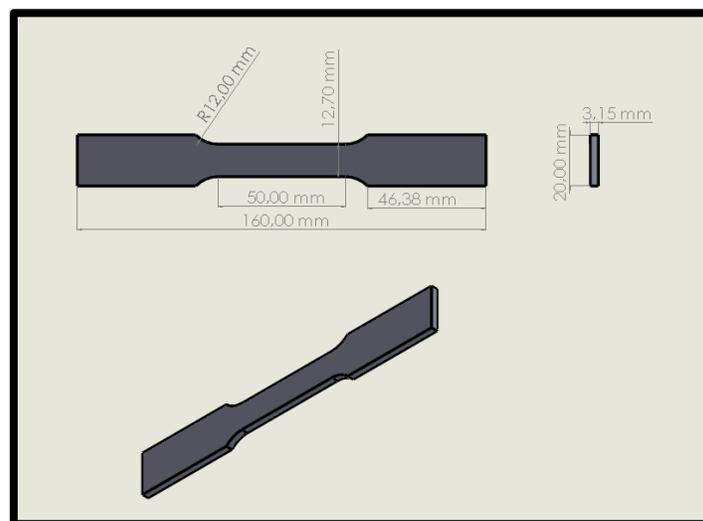
## Dimensionamiento de las probetas

### *Probetas para ensayo de tracción*

Según la norma ASTM E8M las probetas para ensayos de tracción tienen una estructura de “I” con ensanchamiento en los extremos que permiten la sujeción a la máquina, teniendo en cuenta este parámetro la probeta se estructura de la siguiente manera como se aprecia en la figura 44.

### Figura 44

#### *Esquema probeta para ensayo de tracción*



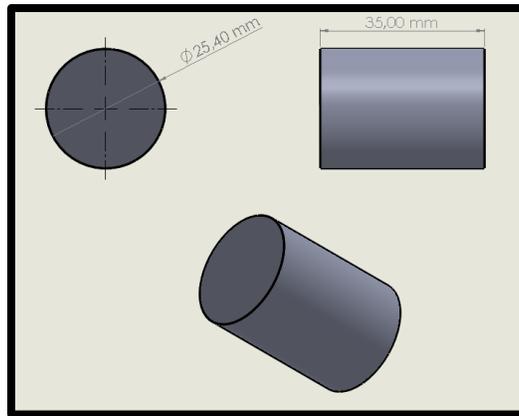
La forma que se diseñan las probetas de tracción van de acuerdo a la maquinaria que se va a emplear para el ensayo y las mordazas de sujeción.

### **Probetas para ensayo de compresión**

En la norma ASTM E9 se especifica que las probetas para ensayos de tracción tienen una forma cilíndrica con lo cual se ha dimensionado de la siguiente manera como se determina en la figura 45.

**Figura 45**

*Esquema probeta para ensayo de compresión*



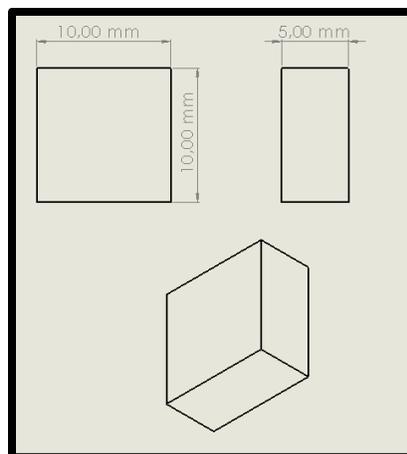
El diámetro y la longitud para las probetas se determina según la aplicación de la norma y el requerimiento del material.

### **Probetas para ensayo metalográfico**

En el ensayo metalográfico y según la norma ASTM E112-96 no especifica un dimensionamiento exacto de la probeta con lo cual se ha decidido realizar las probetas de una manera óptima que cumpla con los métodos necesarios para realizar el ensayo, dando así las dimensiones que observan en la figura 46.

**Figura 46**

*Esquema probeta ensayo metalográfico*



El tamaño para la probeta en ensayos metalográficos no está especificado en la normativa, se determina según la necesidad del investigador.

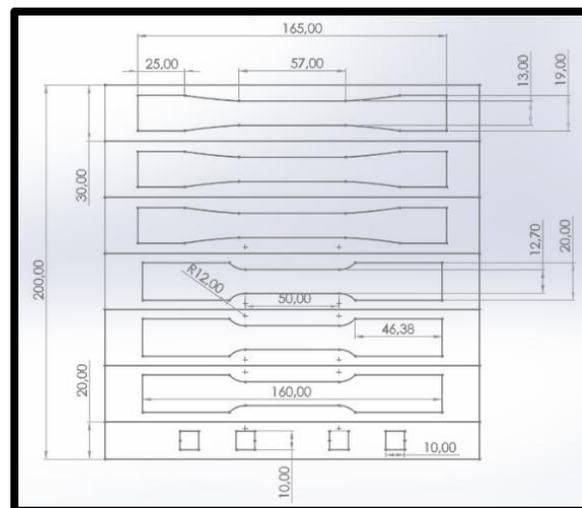
### Mecanizado de las probetas

Para obtener las probetas a las dimensiones deseadas se requiere un proceso de manufactura o mecanizado de las piezas bases, las cuales son la placa rectangular y el cilindro.

En caso de la placa rectangular que está prevista para las probetas de ensayos de tracción y metalográfico se determinan en primera instancia cortar piezas individuales las cuales serán de ayuda para manipular más fácilmente en la maquinaria y determinar la forma específica final de cada probeta, estas placas serán cada una de 30 mm x 200 mm y dejando una última de 20 mm x 200 mm de acuerdo a la figura 47.

### Figura 47

*Distribución de las probetas en la placa rectangular*



La placa se ha distribuido para obtener seis probetas de tracción y cuatro probetas para estudio metalográfico.

Obtenidos los cortes se procede a realizar el proceso de fresado para las probetas de acuerdo a las especificaciones del croquis mencionado en la figura 44.

### **Figura 48**

*Proceso de fresado*



Una vez que las dimensiones y la forma de la probeta fueron establecidas, se utiliza el proceso de manufactura por arranque de viruta en la misma fresadora para de esta manera darle un pulido a la probeta y dejarla de el espesor requerido.

### **Figura 49**

*Probetas ensayo de tracción*



**Figura 50**

*Probetas ensayo metalográfico*



En caso del cilindro y las probetas para ensayos de compresión se utilizó un torno el cual nos permite desbastar el espesor del cilindro hasta obtener el diámetro específico de las probetas.

**Figura 51**

*Proceso de torneado*



Teniendo en cuenta el diámetro requerido se procede a cortar el cilindro a la longitud deseada, para posteriormente refrentar las caras y obtener probetas totalmente rectas en sus superficies superior e inferior con lo cual nos ayudara a una estabilidad correcta al momento de utilizar la máquina de ensayos de compresión.

### **Figura 52**

*Probetas ensayo compresión*



## Capítulo IV

### Ensayos y análisis de resultados

#### Ensayos mecánicos y pruebas

Los resultados de los diferentes ensayos van a ir relacionados con el material utilizado para la manufactura de las probetas, las cuales nos ayudaran a obtener información de cada una ellas.

#### *Material de pistones reciclados*

El presente ensayo que se realizo fue con el fin de obtener valores característicos del aluminio a base de pistones reciclados con lo cual se podrá realizar una comparación entre el aluminio utilizado para la producción de pistones automotrices.

Esta recolección de datos se la realizo en el laboratorio de mecánica de materiales en la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” de Sangolquí, bajo la supervisión del laboratorista encargado.

#### Figura 53

*Laboratorio de mecánica de materiales*



Para obtener las características del material a base de pistones reciclados, previamente se diseñaron y manufacturaron 3 probetas de cada uno.

**Figura 54**

*Probetas para ensayos de tracción a base de pistones reciclados*



### ***Procedimiento para realizar el ensayo de tracción***

El ensayo mecánico de tracción se lo realizó en la máquina de ensayos universal **AMSLER FM-1033** con la supervisión del laboratorista encargado, para evitar cualquier tipo de inconveniente es necesario tomar en cuenta las advertencias que se encuentran en el instructivo de la máquina. Toca resaltar que esta máquina de ensayos posee una capacidad máxima de tracción de 10 toneladas.

**Figura 55**

*Máquina de ensayos universales AMSLER FM-1033*





**Figura 57**

*Mordazas de agarre de la máquina de ensayo universal AMSLER FM-1033*



***Resultados obtenidos de los ensayos de tracción***

El resultado de los ensayos de las probetas con material reutilizado generó los siguientes resultados:

**Tabla 6**

*Ensayo de tracción con material a base de pistones reciclados*

<b>ENSAYO DE TRACCIÓN CON MATERIAL DE PISTONES RECICLADOS</b>			
<b>ENSAYO NÚMERO 1</b>			
Fuerza máxima (Kg)	Fuerza de fluencia (Kg)	Desplazamiento máximo (mm)	Tiempo (s)
583,64	547,06	4.887	86

---

**ENSAYO DE TRACCIÓN CON MATERIAL DE PISTONES RECICLADOS**


---

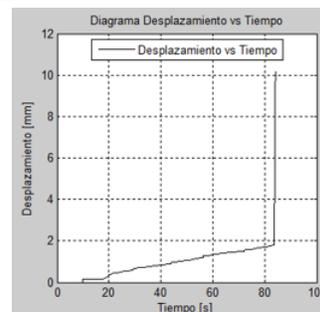
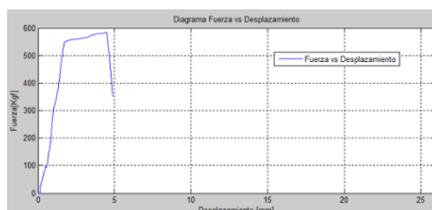
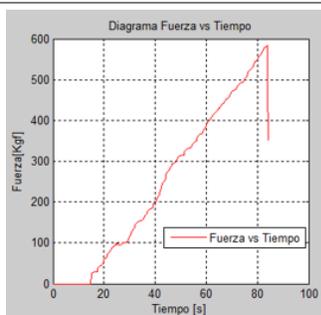
**Gráficas**


---

Fuerza – Tiempo

Fuerza – Desplazamiento

Desplazamiento - tiempo




---

**ENSAYO NÚMERO 2**


---

Fuerza máxima

Fuerza de fluencia

Desplazamiento

Tiempo (s)

(Kg)

(Kg)

máximo (mm)

469,73

428,46

4,24

92

---

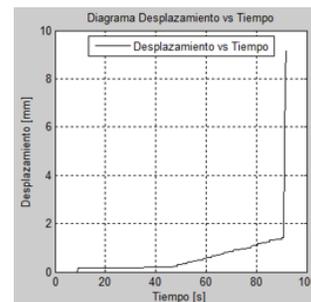
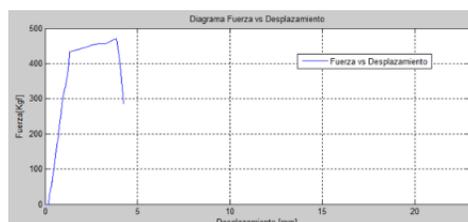
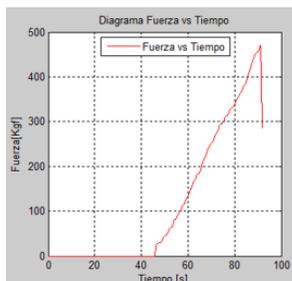
**Gráficas**


---

Fuerza – Tiempo

Fuerza – Desplazamiento

Desplazamiento - tiempo




---

**ENSAYO NÚMERO 3**


---

Fuerza máxima

Fuerza de fluencia

Desplazamiento

Tiempo (s)

(Kg)

(Kg)

máximo (mm)

316,12

245,77

4,335

43

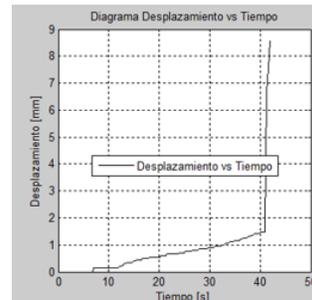
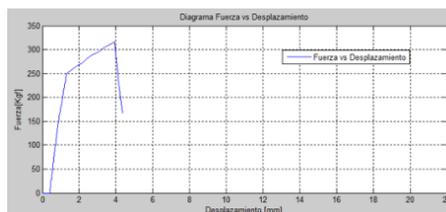
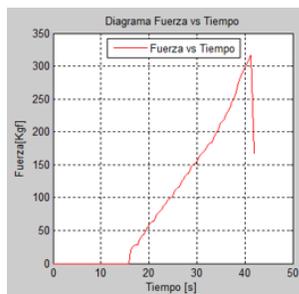
## ENSAYO DE TRACCIÓN CON MATERIAL DE PISTONES RECICLADOS

### Gráficas

Fuerza – Tiempo

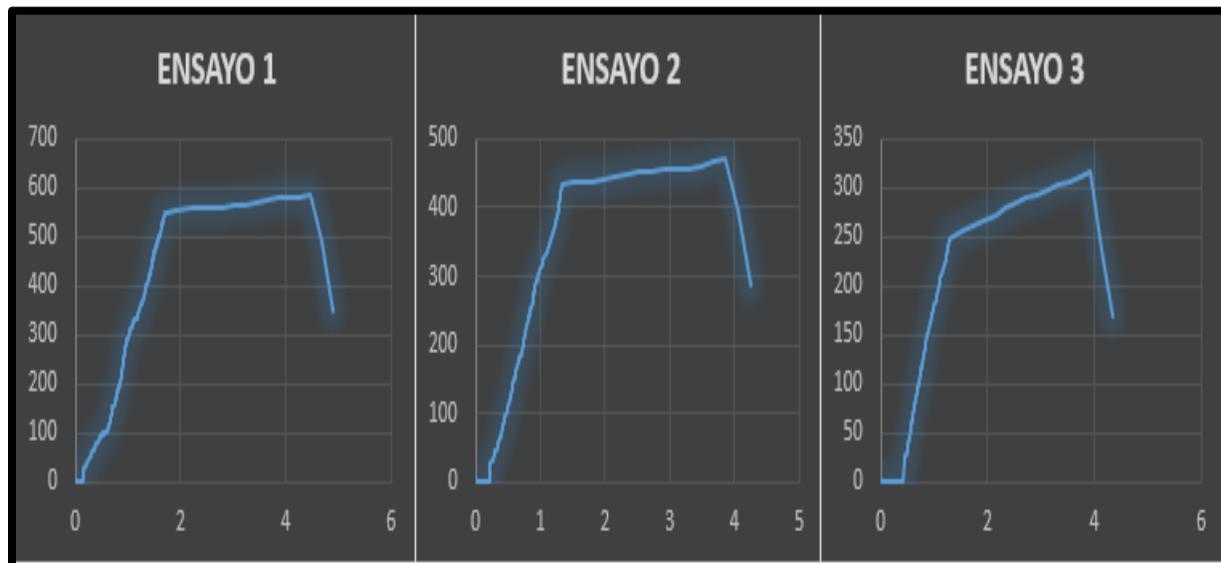
Fuerza – Desplazamiento

Desplazamiento - tiempo



**Figura 58**

Gráficas fuerza desplazamiento Excel (fundición pistones reciclados)



**Promedio de resultados de ensayos de tracción**

**Tabla 7**

*Promedio de datos obtenidos en ensayo de tracción con material a base de pistones reciclados*

<b>PROMEDIO DE DATOS OBTENIDOS EN ENSAYO DE TRACCION CON MATERIAL A BASE DE PISTONES RECICLADOS</b>			
Fuerza máxima (Kg)	Fuerza de fluencia (Kg)	Desplazamiento (mm)	Tiempo (s)
456,496	407,096	4,48	73,66

El promedio del ensayo de tracción efectuado a las probetas de material a base de pistones reciclados soportó una fuerza máxima de 456,496 kg fuerza, una fuerza de fluencia de 407,096 kg fuerza con un desplazamiento de 4,48 mm en un tiempo de 73,66 segundos.

**Resistencia a la tracción del material a base de pistones reciclados**

Resistencia a la tracción máxima del material

**Ecuación 1**

*Esfuerzo*

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o}$$

Donde:

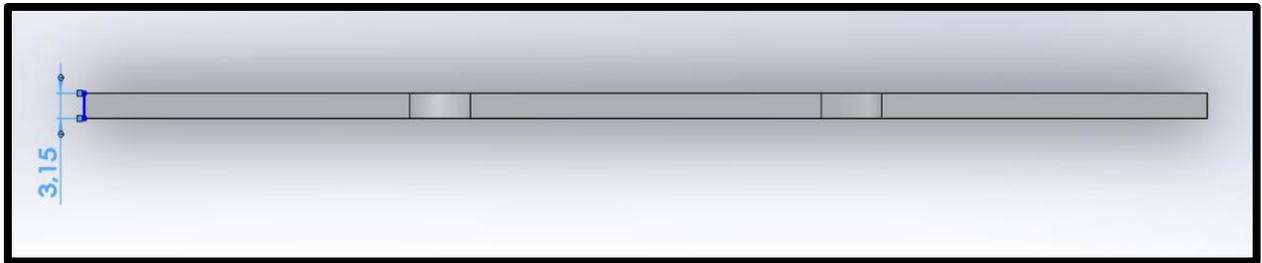
$F_u =$  Fuerza máxima aplicada = 456,496 KgF

$L =$  Longitud de desplazamiento = 4,48 mm

$A_o =$  Area de esfuerzo de la probeta = 4,48 mm x 3,15 mm = 14,11 mm<sup>2</sup>

Figura 59

Modelado gráfico probeta de ensayo de tracción, lateral



$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o}$$

$$\sigma_u = \frac{456,496 \text{ Kg}}{0,1411 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_u = 3235,26 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_u = 46016,21 \text{ Psi}$$

Resistencia a la tracción al límite de elasticidad del material

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_o}$$

Donde:

$F_y = \text{Fuerza aplicada al limite de elasticidad} = 407,096 \text{ KgF}$

$A_o = \text{Area de esfuerzo de la probeta} = 4,48 \text{ mm} \times 3,15 \text{ mm} = 14,11 \text{ mm}^2$

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_o}$$

$$\sigma_y = \frac{407,096 \text{ Kg}}{0,1411 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_u = 2885,15 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$\sigma_y = 41036,47 Psi$$

Teniendo en cuenta el esfuerzo calculado con los datos de las gráficas generadas comparándolo con la bibliografía acerca del aluminio 4032 se determina la necesidad de mejorar el material a base pistones reciclados para obtener mejores características para ser utilizado como material base para la fabricación de pistones automotrices.

### **Ensayo de compresión con pistones reciclados**

El ensayo de compresión que se realizó nos ayudará a evaluar la seguridad y la integridad del material del cual están manufacturadas las probetas, por lo cual se realiza este tipo ensayo en las probetas fabricadas a base de los pistones reciclados, con lo cual se podrá determinar el límite de resistencia a la compresión utilizando una fuerza negativa con lo cual se podrá realizar una comparativa entre estos materiales.

### **Figura 60**

*Máquina de ensayos universal AMSLER FM-1033*



### **Razón de esbeltez**

Cuando se comprime un material este puede comportarse de dos maneras diferentes, se puede efectuar un aplastamiento (efecto de compresión) o se puede presentar un pandeo en su estructura (efecto de columna)

### **Ecuación 2**

*Razón de esbeltez*

$$\rho = \frac{l}{rg}$$

$$\rho < 40 = \text{Compresión}$$

$$\rho > 60 = \text{Columna}$$

Donde:

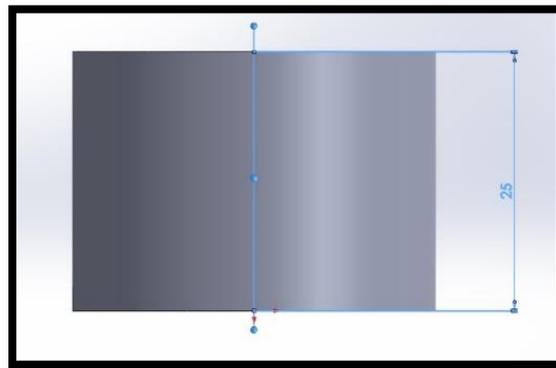
$\rho$  = Razón de esbeltez

$rg$  = Radio de giro

$l$  = Longitud de la probeta = 25 mm

### **Figura 61**

*Modelado gráfico de probeta de ensayo de compresión, lado lateral*



**Ecuación 3**

*Radio de giro*

$$rg = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde:

*I = Momento de inercia de la probeta*

*A = Área*

**Ecuación 4**

*Momento de inercia de la probeta*

$$I = \frac{\pi * d^4}{64}$$

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

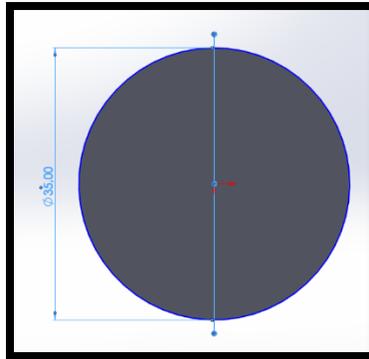
Área de la probeta

*d = Diámetro de la probeta = 35 mm*

Remplazo el diámetro de la probeta en la ecuación:

**Figura 62**

*Modelado gráfico de probeta de compresión, lado superior*



$$rg = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$rg = \sqrt{\frac{\frac{\pi * d^4}{64}}{\frac{\pi * d^2}{4}}}$$

$$rg = \sqrt{\frac{d^2}{16}}$$

$$rg = \frac{d}{4}$$

$$rg = \frac{35 \text{ mm}}{4}$$

$$rg = 8,75 \text{ mm}$$

Reemplazo el valor calculado en la ecuación:

$$\rho = \frac{l}{rg}$$

$$\rho = \frac{25 \text{ mm}}{8,75 \text{ mm}}$$

$$\rho = 2,8571$$

Con el valor calculado de la razón de Esbeltez  $\rho = 2,8571$  se determina que la probeta se deformará en una forma de compresión, por el motivo de que es menor a 40.

### ***Procedimiento para realizar el ensayo de compresión***

El ensayo de compresión se lo realizo en el laboratorio de mecánica de los materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" de Sangolquí, bajo la supervisión del labororista encargado en la cual se utilizó la máquina de ensayos universales **AMSLER FM-1033** la cual posee una capacidad máxima de compresión de 200 toneladas.

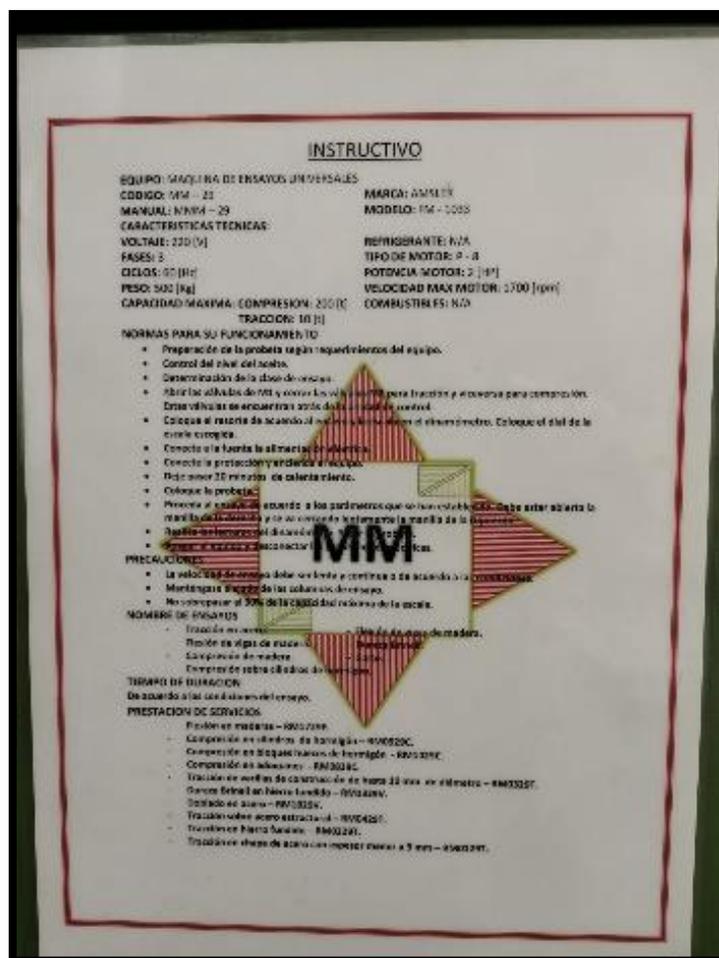
### **Figura 63**

*Máquina de ensayos universal AMSLER FM-1033*



Figura 64

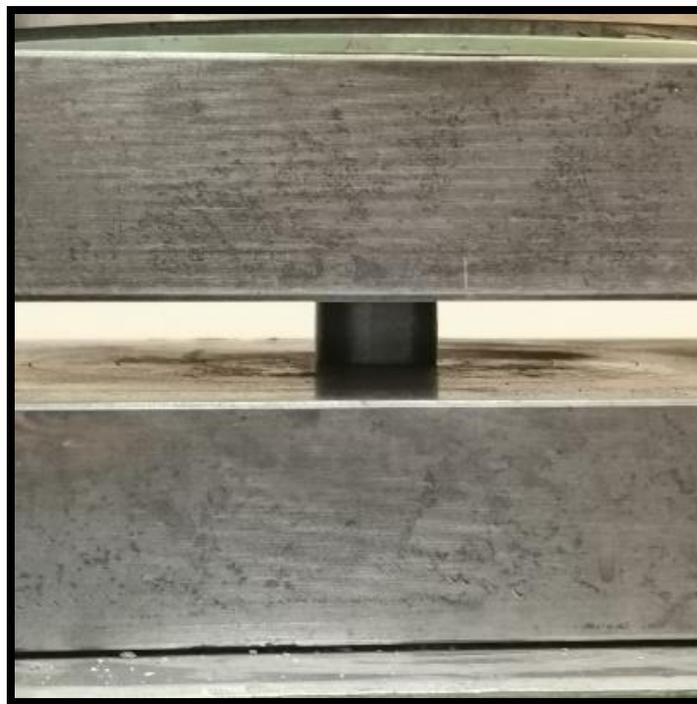
Instructivo para la máquina de ensayos



Se debe tomar en cuenta el instructivo para evitar cualquier tipo de accidentes o inconvenientes al momento de usar la máquina de ensayos universales por compresión, después de tomar todas las precauciones se procedió a colocar la probeta en la máquina de ensayos y fue sometida a una fuerza de compresión hasta que se produzca un punto de fractura, observando que la probeta sufre una deformación o ruptura en su estructura.

**Figura 65**

*Probeta para ensayo de compresión*



El resultado de los ensayos con las probetas de cada tipo de material generó los siguientes resultados:

**Tabla 8**

*Ensayo de compresión con material a base de pistones reciclados*

<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN CON MATERIAL DE PISTONES RECICLADOS</b>			
<b>ENSAYO NÚMERO 1</b>			
Fuerza máxima	Fuerza instantánea	Desplazamiento	Tiempo (s)
(tnt)	(tnt)	(mm)	
32,637	31,7052	3,1127	165

---

**ENSAYOS DE COMPRESIÓN CON MATERIAL DE PISTONES RECICLADOS**


---

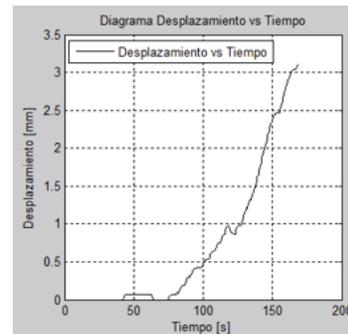
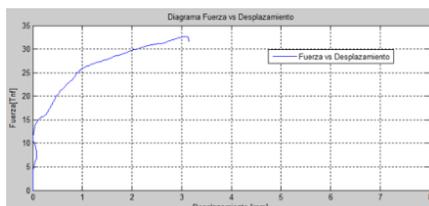
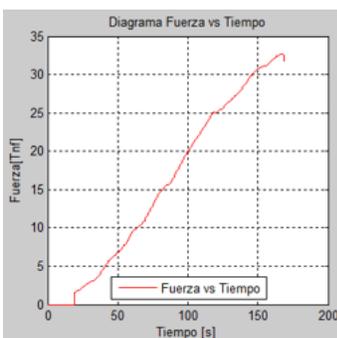
**Gráficas**


---

Fuerza – Tiempo

Fuerza – Desplazamiento

Desplazamiento - tiempo




---

**ENSAYO NÚMERO 2**


---

Fuerza máxima

Fuerza instantánea

Desplazamiento

Tiempo (s)

(tnt)

(tnt)

(mm)

31,039

30,3144

3,3328

118

---

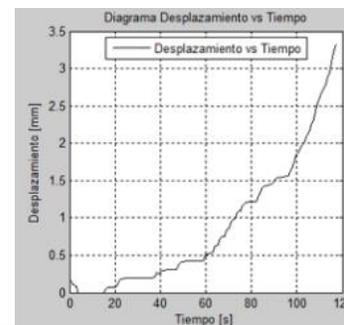
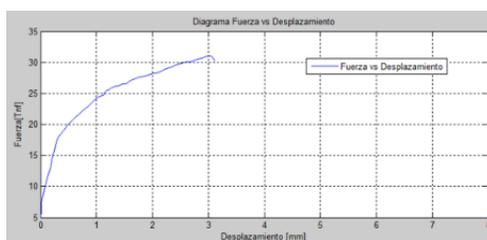
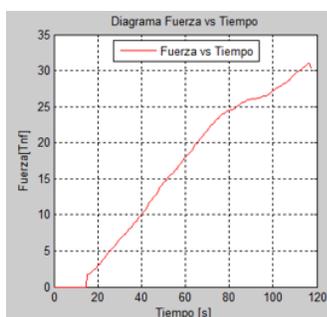
**Gráficas**


---

Fuerza – Tiempo

Fuerza – Desplazamiento

Desplazamiento - tiempo




---

**ENSAYO NÚMERO 3**


---

Fuerza máxima

Fuerza instantánea

Desplazamiento

Tiempo (s)

(tnt)

(tnt)

(mm)

26,360

24,5961

4,1866

120

---

**ENSAYOS DE COMPRESIÓN CON MATERIAL DE PISTONES RECICLADOS**


---

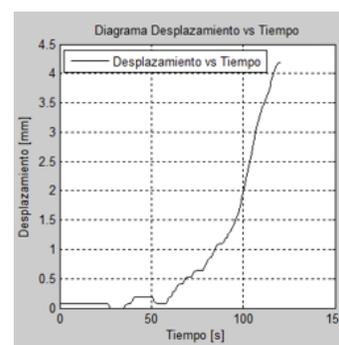
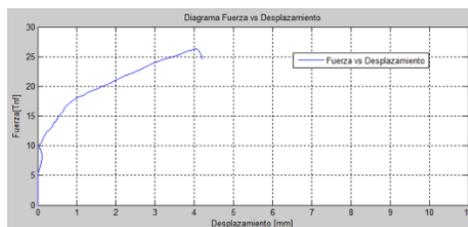
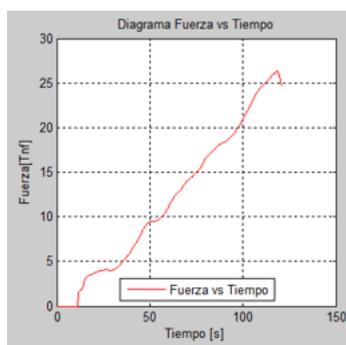
**Gráficas**


---

Fuerza – Tiempo

Fuerza – Desplazamiento

Desplazamiento - tiempo


**Promedio de resultados de ensayos**

Las probetas a base de material reciclado de pistones dados de baja, se puede notar, en promedio de los tres ensayos nos da que un tiempo de 134 segundos soporta una fuerza máxima de 30,012 toneladas métricas y que su primer punto de fractura se presenta a las 28,87 toneladas métricas con un desplazamiento de 3,544 mm.

**Tabla 9**

*Promedio de datos obtenidos en ensayo de compresión con material a base de pistones reciclados*

---

**PROMEDIO DATOS OBTENIDOS EN ENSAYO DE COMPRESIÓN CON MATERIAL A BASE DE PISTONES RECICLADOS**


---

Fuerza máxima (tnt)	Fuerza instantánea (tnt)	Desplazamiento (mm)	Tiempo (s)
30,012	28,8718	3,5440	134

---

## Ensayo metalográfico

El ensayo metalográfico fue realizado con el fin de obtener información micro estructural de los diferentes materiales.

Este tipo de ensayo se lo realizó en los laboratorios de ciencias de los materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" de Sangolquí, bajo la supervisión del laboratorista encargado.

### Figura 66

*Laboratorio de ciencia de los materiales*



Para poder analizar la composición química del aluminio a base de pistones reciclados se cortó 3 muestras de aproximadamente 10mm de ancho x 10mm de largo y un espesor de 3mm.

### Figura 67

*Probetas de ensayo metalográfico*



### ***Moldeado en resina***

Para poder tener un mejor manejo de la muestra se realiza un molde en resina en el cual va introducido superficialmente y así poder obtener probetas para el análisis metalográfico. Para lograr este molde es necesario utilizar Resina Poliéster Ortoftálica combinada con Meck Peróxido, el cual ayuda a reaccionar a la resina endureciéndola en un menor tiempo.

#### **Figura 68**

*Resina poliéster ortoftálica*



#### **Figura 69**

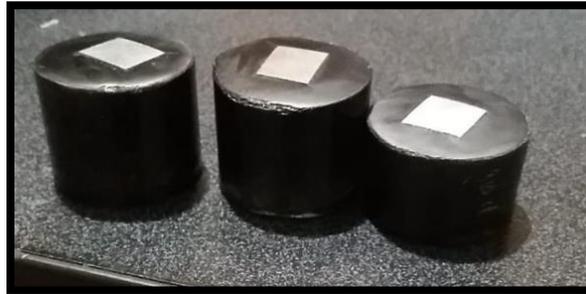
*Meck Peróxido*



Gracias a este proceso se puede obtener probetas con un mejor manejo para realizar el ensayo metalográfico.

### **Figura 70**

*Probetas con molde de resina para ensayos de metalografía*



### **Lijado de probetas**

Para obtener un mejor análisis de la composición del material se realiza el proceso de lijado y pulido, se utilizó un banco de lijas para este proceso, las lijas utilizadas van a ir del grano más grueso al más fino por lo que comenzamos con lija de grano fino de 250 a 320, continuamos con lija de grano extra fino de 400 a 600 y terminamos con lija de grano ultrafino de 1500, recordando que en cada proceso de lijado la fuente de agua debe estar abierta para que el resultado sea totalmente liso y retirando todas las imperfecciones.

### **Figura 71**

*Banco de lijas*



### ***Pulido de las probetas***

Después de que se eliminó todas las imperfecciones en el proceso de lijado se debe continuar con el proceso de pulido, para ello se utilizó el abrasivo Alúmina de 1  $\mu\text{m}$  en la pulidora de paño BUEHLER MTL-04 gracias a esta combinación obtendremos una probeta con una apariencia tipo espejo.

### **Figura 72**

*Alúmina de 1  $\mu\text{m}$*



### **Figura 73**

*Maquina pulidora de paño*

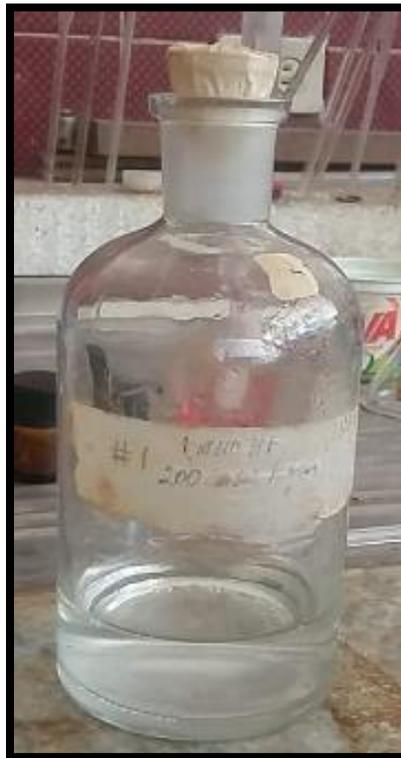


### ***Revelado químico***

Para obtener una buena resolución en el microscopio se usó el revelador químico para aluminio, compuesto por 1ml de HF, 200 ml agua en tiempo de 60 segundos para después ser limpiado con agua.

### **Figura 74**

#### *Revelador químico*



### ***Fotografiado micrográfico***

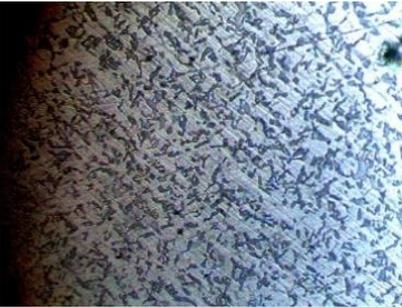
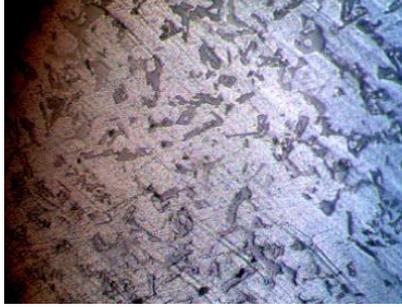
El microscopio digital de marca **IM** puede generar ampliaciones de hasta 1000X ayudando a obtener una imagen estructural de las diferentes probetas que se manufacturaron y diseñaron anteriormente a base de material de pistones reutilizables.

**Figura 75***Microscopio digital IM***Resultados obtenidos**

Las imágenes generadas por el software PAX-IT a las diferentes probetas fueron analizadas en aumentos de 100X, 200X y de 500x para un mejor análisis estructural de cada una de las mismas.

**Tabla 10***Ensayo metalográfico con material a base pistones reciclados*

<b>ENSAYO METALGRÁFICO CON MATERIAL A BASE DE PISTONES RECICLADOS</b>		
Número de ensayo	Lente aumentado	Fotografías
1	100X	

Número de ensayo	Lente aumentado	Fotografías
2	200X	
3	500X	

En el caso de la fundición con material de pistones reciclados se puede observar en las diferentes ampliaciones una gran cantidad de porosidades internas en la probeta de ensayo, esta falla de fundición se presenta por la cantidad de aire y gases atrapados al momento de la fundición o del moldeo, produciendo así una compactación desigual en el material fundido el cual tendrá como consecuencias una menor resistencia a la tracción y una mayor factibilidad a sufrir agrietamientos.

### **Análisis químico**

El análisis de cada material después de la fundición se lo realizó en la empresa RECALUM en Sangolqui, para lo cual se produjeron muestras de cada fundición para poder realizar el proceso de espectrometría y así obtener la composición química de cada elemento presente en el mismo.

El primer análisis químico se la realizó a la fundición hecha a base de pistones reciclados, en el cual nos dios como resultado la presencia de los siguientes elementos:

**Tabla 11**

*Composición química del material a base de pistones reciclados*

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL A BASE DE PISTONES RECICLADOS</b>					
<b>Elemento</b>	<b>Si%</b>	<b>Fe%</b>	<b>Cu%</b>	<b>Mn%</b>	<b>Mg%</b>
<b>Resultado</b>	1.788	0.488	1.235	0.132	0.237
<b>Elemento</b>	<b>V%</b>	<b>Pb%</b>	<b>Sn%</b>	<b>Sr%</b>	<b>Ca%</b>
<b>Resultado</b>	0.013	0.017	0.042	0.000	0.001
<b>Elemento</b>	<b>Ag%</b>	<b>Bi%</b>	<b>Ga%</b>	<b>Sb%</b>	<b>Zr%</b>
<b>Resultado</b>	0.000	0.000	0.048	0.018	0.004
<b>Elemento</b>	<b>Cr%</b>	<b>Zn%</b>	<b>Ni%</b>	<b>Ti%</b>	<b>Cd%</b>
<b>Resultado</b>	0.045	0.030	1.248	0.160	0.000
<b>Elemento</b>	<b>Co%</b>	<b>Al%</b>	<b>B%</b>	<b>Be%</b>	
<b>Resultado</b>	0.000	94.474	0.021	0.000	

*Nota.* Datos obtenidos anexo 1

En la Tabla 11 se representan los elementos en porcentaje que contiene la fundición a base de pistones reciclados, como se puede apreciar al momento de realizar una fundición simple sin ningún tipo de mejoras o aleaciones este va a perder ciertos elementos por lo que la materia prima va a ser de muy mala calidad para la manufactura de pistones automotrices.

Los rangos que se manejan normalmente en porcentajes de elementos presentes en la materia prima para el desarrollo de pistones automotrices deben estar entre los siguientes intervalos:

**Tabla 12**

*Tabla de rangos de composición química de pistones automotrices*

<b>Composición de elementos químicos en pistones automotrices</b>				
<b>Elemento</b>		<b>Especificaciones</b>	<b>Teikin (%)</b>	<b>Otros fabricantes #1 (%)</b>
		<b>(%)</b>		
<b>Cu</b>	Cobre	0.8 - 1.3	1.0612	1.7331
<b>Si</b>	Silicio	11.0 – 13.0	12.137	9.7297
<b>Mg</b>	Magnesio	0.8 – 13.0	1.0833	0.83999
<b>Zn</b>	Zinc	0.15 max	0.05027	0.28011
<b>Fe</b>	Hierro	0.7 max	0.45063	0.65748
<b>Mn</b>	Manganeso	0.15 max	0.05827	0.22084
<b>Ni</b>	Niquel	0.8 - 1.5	1.3726	0.66118
<b>Ti</b>	Titanio	0.20 max	0.09490	0.07853
<b>Cr</b>	Cromo	0.10 max	0.02110	0.03685
<b>Sn</b>	Lata	0.05 max	0.02013	0.02378
<b>Pb</b>	Plomo	0.05 max	0.021268	0.05692

*Nota.* Datos obtenidos anexo 3

En la Tabla 12 se puede observar la gran diferencia que existe entre el material a base de pistones reciclados y el material de pistones nuevos, en el cual se analiza que al momento de la fundición se pierde cantidades importantes de elementos que son fundamentales para evitar posibles fallas del material.

## **Mejora del material**

Para que el material presente mejores características se deben realizar ciertos procesos desde el momento de la fundición, por lo cual con los datos obtenidos de la primera fundición a base de pistones reciclados y sin ningún tipo de mejora o aumento de aleaciones se realizaron las siguientes mejoras.

### ***Eliminación de porosidades internas del material***

Las consecuencias de las porosidades que se presentan internamente en el material provocan una mala compactación entre cada grano que constituye el mismo por lo tanto, para esta falla de fundición se procedió a realizar el proceso de desgasificación, este procedimiento se lo realizó en las instalaciones de la empresa RECALUM utilizando pastillas desgasificadoras al momento de la fundición nos ayudó a crear una macro burbuja o una burbuja única de gas químico en el interior de la colada ayudándonos así a eliminar cualquier tipo de gas o aire atrapado al momento de la fundición y del moldeo.

**Ensayo metalográfico del material mejorado a base de pistones reciclados.** El análisis metalográfico del material mejorado a base de pistones reciclados nos dios como resultados las siguientes observaciones:

### **Tabla 13**

*Ensayo metalográfico con material mejorado a base de pistones reciclados*

<b>ENSAYO METALOGRAFICO CON MATERIAL MEJORADO A BASE DE PISTONES RECICLADOS</b>		
<b>Número de ensayo</b>	<b>Lente aumentado</b>	<b>Fotografías</b>

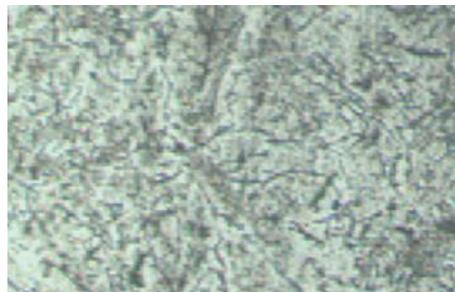
---

**ENSAYO METALGRÁFICO CON MATERIAL MEJORADO A BASE DE PISTONES  
RECICLADOS**

---

**1**

100X



**2**

200X



**3**

500X



En la Tabla 13 se puede observar las fotografías microestructurales del material mejorado en el cual se le realizó el proceso de desgasificación, se puede identificar que el material es mucho más compacto por lo que tendrá una mayor resistencia a la tracción y una baja probabilidad de fisuras.

***Mejora en aleaciones***

Para poder llegar a los porcentajes recomendados por los fabricantes de pistones automotrices se realizó un aumento en las aleaciones tanto de cromo (Cu), hierro (Fe), magnesio

(Mg), níquel (Ni), silicio (Si), cobre (Cu) y zinc (Zn) que se encontraron fuera de rango de la primera fundición, este aumento de aleaciones se lo realizó en la empresa fundidora RECALUM procediendo así a realizar un análisis químico del nuevo material mejorado para verificar que se encuentre dentro de los rangos recomendados, estos aumentos se pueden observar en la tabla 14.

**Tabla 14**

*Composición química del material mejorado a base de pistones reciclados*

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIL MEJORADO A BASE</b>					
<b>DE PISTONES RECICLADOS</b>					
<b>Elemento</b>	<b>Si%</b>	<b>Fe%</b>	<b>Cu%</b>	<b>Mn%</b>	<b>Mg%</b>
<b>Resultado</b>	11.457	0.585	1.204	0.125	0.948
<b>Elemento</b>	<b>V%</b>	<b>Pb%</b>	<b>Sn%</b>	<b>Sr%</b>	<b>Ca%</b>
<b>Resultado</b>	0.007	0.015	0.037	0.000	0.000
<b>Elemento</b>	<b>Ag%</b>	<b>Bi%</b>	<b>Ga%</b>	<b>Sb%</b>	<b>Zr%</b>
<b>Resultado</b>	0.000	0.000	0.023	0.004	0.004
<b>Elemento</b>	<b>Cr%</b>	<b>Zn%</b>	<b>Ni%</b>	<b>Ti%</b>	<b>Cd%</b>
<b>Resultado</b>	0.028	0.035	0.852	0.162	0.000
<b>Elemento</b>	<b>Al%</b>	<b>Co%</b>	<b>B%</b>	<b>Be%</b>	
<b>Resultado</b>	84.506	0.000	0.012	0.000	

*Nota.* Datos obtenidos Anexo 2

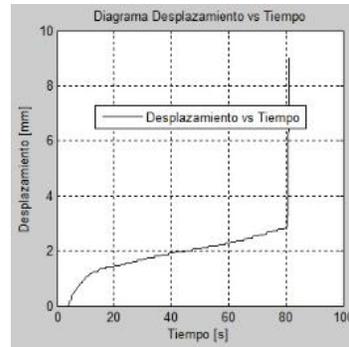
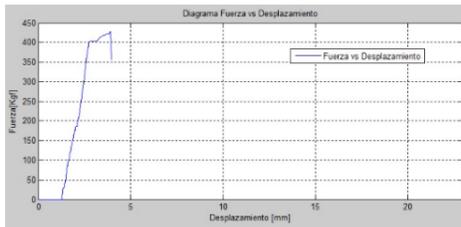
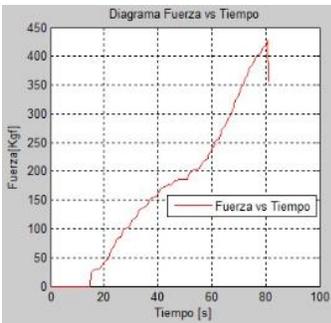
## Ensayos de tracción con material mejorado

Tabla 15

Ensayo de tracción con material mejorado a base de pistones reciclados

ENSAYO DE TRACCIÓN CON MATERIAL MEJORADO A BASE DE PISTONES RECICLADOS			
ENSAYO NÚMERO 1			
Fuerza máxima	Fuerza de fluencia	Desplazamiento	Tiempo (s)
(Kg)	(Kg)	(mm)	
404,425	381,95	3,47	63
Gráficas			
Fuerza – Tiempo	Fuerza – Desplazamiento	Desplazamiento - tiempo	
ENSAYO NÚMERO 2			
Fuerza máxima	Fuerza de fluencia	Desplazamiento	Tiempo (s)
(Kg)	(Kg)	(mm)	
427,937	397,63	3,896	81
Gráficas			
Fuerza – Tiempo	Fuerza – Desplazamiento	Desplazamiento - tiempo	

## ENSAYO DE TRACCIÓN CON MATERIAL MEJORADO A BASE DE PISTONES RECICLADOS



### ENSAYO NÚMERO 3

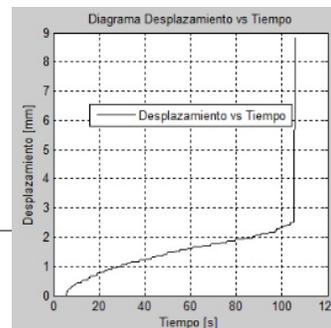
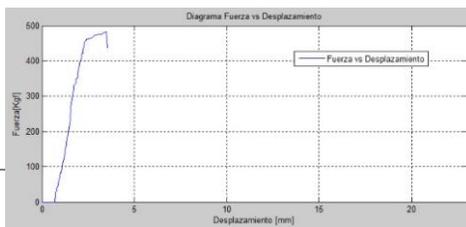
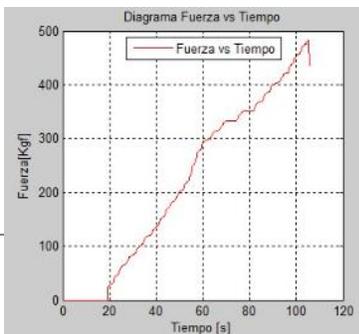
Fuerza máxima	Fuerza de fluencia	Desplazamiento	Tiempo (s)
(Kg)	(Kg)	(mm)	
460,307	428,95	3,603	67

### Gráficas

**Fuerza – Tiempo**

**Fuerza – Desplazamiento**

**Desplazamiento - tiempo**



**Tabla 16**

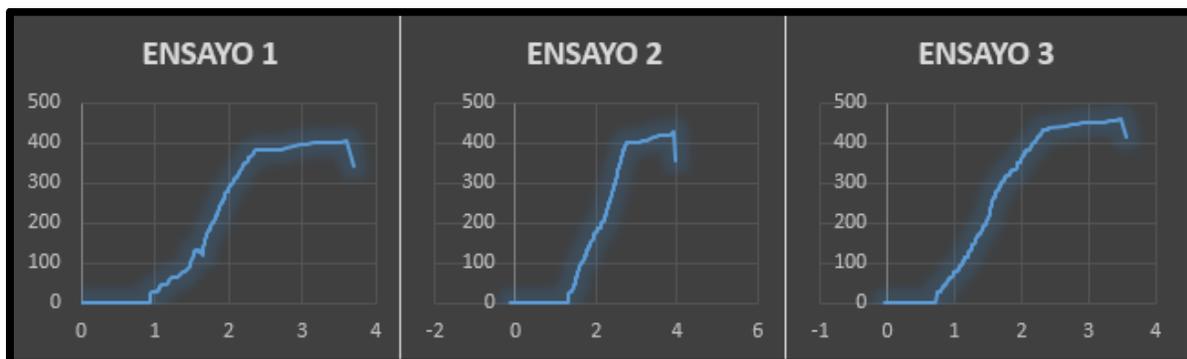
*Promedio de datos obtenidos en ensayo de tracción con material mejorado a base de pistones reciclados*

<b>PROMEDIO DATOS OBTENIDOS EN ENSAYO DE TRACCIÓN CON MATERIAL MEJORADO A BASE DE PISTONES RECICLADOS.</b>			
Fuerza máxima (Kg)	Fuerza de fluencia (Kg)	Desplazamiento (mm)	Tiempo (s)
430,89	417,84	3,656	70

Los ensayos de tracción con material mejorado a base de pistones reciclados registran un gran aumento en su resistencia a la tracción, en comparación con la primera fundición realizada en la cual no se añadió ningún proceso de mejora al mismo.

**Figura 76**

*Gráficas fuerza desplazamiento Excel (mejora fundición de pistones reciclados)*



**Resistencia a la tracción máxima del material.** A continuación, se procede a calcular la resistencia a la tracción máxima del material mejorado a base de pistones reciclados.

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o}$$

Donde:

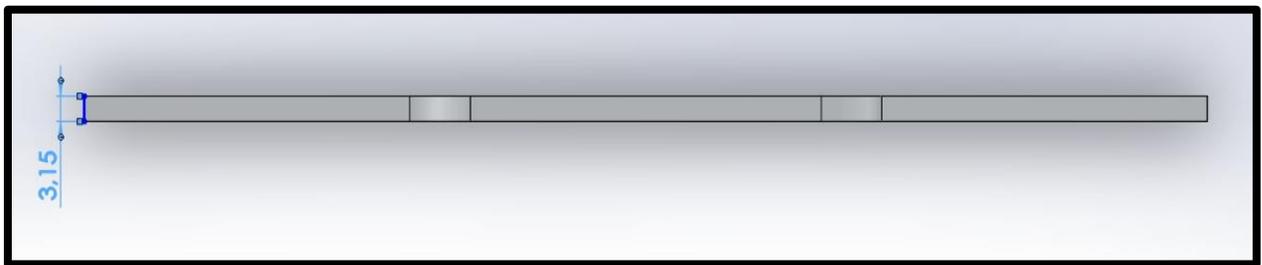
$$F_u = \text{Fuerza máxima aplicada} = 430,89 \text{ KgF}$$

$$L = \text{Longitud de desplazamiento} = 3,656 \text{ mm}$$

$$A_o = \text{Area de esfuerzo de la probeta} = 3,656 \text{ mm} \times 3,15 \text{ mm} = 11,51 \text{ mm}^2$$

### Figura 77

Modelado gráfico probeta de ensayo de tracción, lateral



$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o}$$

$$\sigma_u = \frac{430,89 \text{ Kg}}{0,1151 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_u = 3743,6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_u = 53246,65 \text{ Psi}$$

Resistencia a la tracción al límite de elasticidad del material

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_o}$$

Donde:

$$F_y = \text{Fuerza aplicada al límite de elasticidad} = 417,84 \text{ KgF}$$

$A_o = \text{Área de esfuerzo de la probeta} = 4,48 \text{ mm} \times 3,15 \text{ mm} = 11,51 \text{ mm}^2$

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_o}$$

$$\sigma_u = \frac{417,84 \text{ Kg}}{0,1151 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_u = 3630,23 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_u = 51634 \text{ Psi}$$

La resistencia a la tracción máxima y la resistencia a la tracción al límite plástico son de mayor valor comparado con la fundición a base de material reciclado al cual no se le realizó ningún proceso de mejora, por lo que estos nuevos valores están dentro de los rangos permitidos para que el material sea considerado para el diseño y manufactura de pistones automotrices según la bibliografía establecida para el aluminio 4032.

### ***Ensayos de compresión con material mejorado***

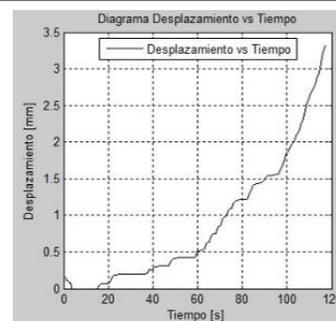
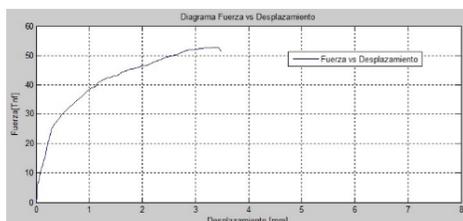
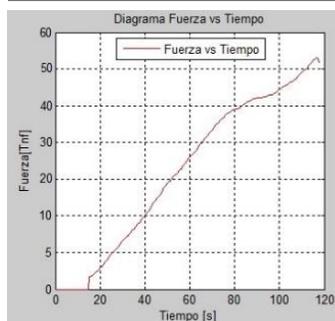
#### **Tabla 17**

*Ensayo de compresión con material mejorado a base de pistones reciclados*

<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN CON MATERIAL MEJORADO BASE DE PISTONES</b>			
<b>RECICLADOS</b>			
<b>ENSAYO NÚMERO 1</b>			
Fuerza máxima	Fuerza instantánea	Desplazamiento	Tiempo (s)
(tnt)	(tnt)	(mm)	
52,895	51,045	3,452	119
<b>Gráficas</b>			
Fuerza – Tiempo	Fuerza – Desplazamiento	Desplazamiento - tiempo	

## ENSAYO DE COMPRESIÓN CON MATERIAL MEJORADO BASE DE PISTONES

### RECICLADOS

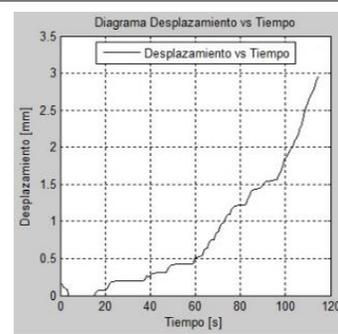
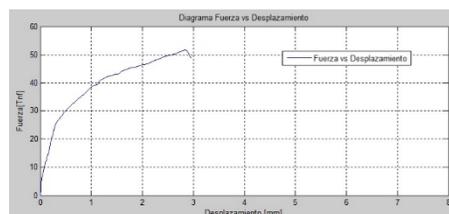
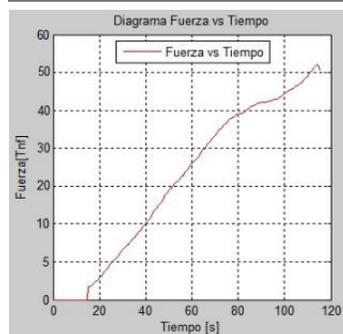


### ENSAYO NÚMERO 2

Fuerza máxima	Fuerza instantánea	Desplazamiento	Tiempo (s)
(tnt)	(tnt)	(mm)	
52,031	49,873	2,985	116

### Gráficas

Fuerza – Tiempo      Fuerza – Desplazamiento      Desplazamiento - tiempo



### ENSAYO NÚMERO 3

Fuerza máxima	Fuerza instantánea	Desplazamiento	Tiempo (s)
(tnt)	(tnt)	(mm)	
57,475	56,041	3,184	118

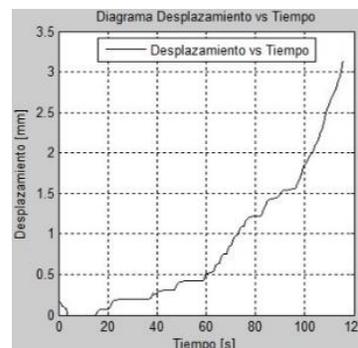
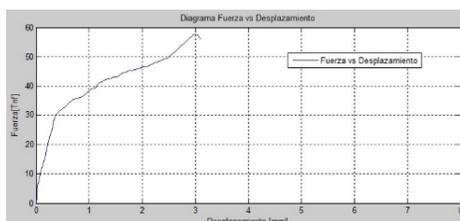
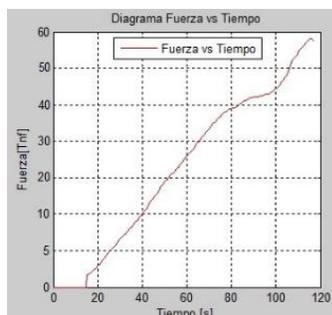
### Gráficas

Fuerza – Tiempo      Fuerza – Desplazamiento      Desplazamiento - tiempo

---

## ENSAYO DE COMPRESIÓN CON MATERIAL MEJORADO BASE DE PISTONES RECICLADOS

---



**Tabla 18**

*Promedio de datos obtenidos en ensayo de compresión con material mejorado a base de pistones reciclados*

---

### PROMEDIO DATOS OBTENIDOS EN ENSAYO DE COMPRESIÓN A BASE DE PISTONES DE AUTOMOTRIZ

---

Fuerza máxima	Fuerza instantánea	Desplazamiento	Tiempo (s)
(tnt)	(tnt)	(mm)	
54,133	52,319	3,207	117,666

---

Los nuevos ensayos de compresión con material mejorado a base de pistones reciclados soportó una fuerza de 54,133 tnt y su primer punto de ruptura se presentó a los 52,319 tnt en un tiempo de 117 s, comparándolo con el material a base de pistones reciclados sin ninguna mejora el cual soportó una fuerza de 30,012 tnt y el primer punto de ruptura se presentó a los 28,871 tnt en un tiempo de 134 s, se puede apreciar la gran diferencia de

valores. Gracias a este aumento el material puede soportar una mayor cantidad de fuerza en su estructura sin sufrir algún daño estructural.

### Resultado comparativo

Los resultados obtenidos en comparación con los cálculos realizados utilizando los datos proporcionados de la máquina universal de ensayos mecánicos en contraste con datos obtenidos mediante una investigación se puede observar en la Tabla 19.

**Tabla 19**

*Resultados comparativos*

<b>Resultados comparativos</b>				
<b>Material</b>	<b>Matweb</b>		<b>Ensayos mecánicos</b>	
	$\sigma_u$ <i>PSI</i>	$\sigma_y$ <i>PSI</i>	$\sigma_u$ <i>PSI</i>	$\sigma_y$ <i>PSI</i>
<b>Aluminio</b>	$\geq 52100$	$\geq 48000$	/	/
<b>4032</b>				
<b>Primera</b>	/	/	46016,21	41036,47
<b>fundición</b>				
<b>Fundición</b>	/	/	53246,65	51634,00
<b>mejorada</b>				

## Capítulo V

### Marco administrativo

#### Recursos

Los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto de investigación previo a la obtención del título de ingeniero automotriz fueron determinados como los siguientes: humanos, económicos, materiales y tecnológicos.

#### Recursos humanos

En el desarrollo del proyecto denominado “Diseño y manufactura de un molde para la obtención de probetas de ensayo a partir de la fundición de material reutilizable, para la producción de un material idóneo que permita la fabricación de piezas automotrices” intervinieron los siguientes recursos humanos detallados a continuación.

**Tabla 20**

*Recursos humanos*

Descripción	Función
<b>Sr. Espinoza Morales Stalin Wladimir</b>	Investigador
<b>Sr. Toaquiza Lopez Alex Fabricio</b>	Investigador
<b>Ing. Cruz Arcos Guillermo Mauricio</b>	Tutor

## Recursos materiales

En la realización del proyecto es necesario contar con los materiales adecuados que servirán para el desarrollo del mismo, estos materiales se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 21**

*Recursos materiales*

Orden	Descripción	Cantidad	Unidades
1	Pistones	10	-
2	Resina epoxi	1	kg
3	Catalizador (Meck peróxido)	120	cc
4	Arena	20	kg
5	Tablas de madera	2	-
6	Grafito	1	kg
7	Hoja de lija 240	2	-
8	Hoja de lija 500	2	-
9	Hoja de lija 100	2	-
10	Hoja de lija 1500	2	-
11	Polvo abrasivo ( $1\mu m$ )	0.5	g
12	Ácido fluorhídrico (HF)	1	ml
13	Agua destilada (H <sub>2</sub> O)	200	ml

## Recursos tecnológicos

La tecnología es la base fundamental para el proyecto de investigación con lo cual se detalla a continuación en la siguiente tabla los instrumentos y maquinaria necesarios para llevar a cabo el desarrollo del mismo.

**Tabla 22***Recursos tecnológicos*

<b>Orden</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	Laptop
<b>2</b>	Internet
<b>3</b>	Microscopio (IM)
<b>4</b>	Espectrómetro
<b>5</b>	Máquina de ensayos universales (AMSLER FM-1033)
<b>6</b>	Pulidora mecánica (BUEHLER)
<b>7</b>	Torno
<b>8</b>	Fresadora
<b>9</b>	Software CAD SOLIDWORK
<b>10</b>	Software PAX IT (estudio metalográfico)

**Recursos económicos**

El proyecto de investigación denominado “Diseño y manufactura de un molde para la obtención de probetas de ensayo a partir de la fundición de material reutilizable, para la producción de un material idóneo que permita la fabricación de piezas automotrices” fue autofinanciado por los investigadores apegados a un presupuesto el cual se detalla a continuación.

**Tabla 23***Presupuesto*

<b>Orden</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio U.</b>	<b>Total</b>
1	Fundición de material reciclado	1	\$40	\$40
2	Manufactura fresadora	9	\$7.85	\$70.65
3	Manufactura torno	9	\$3.12	\$28.08
4	Fundición y mejora material reciclado	1	\$80	\$80
5	Lijas	8	\$0.5	\$4
6	Resina	1	\$4.26	\$4.26
7	Catalizador	1	\$1.14	\$1.14
<b>Total</b>				<b>\$228.13</b>

## Capítulo VI

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

- Al revisar la información bibliográfica se seleccionó el proceso de fundición en verde que ayudará a la obtención de un elemento a base de material fundido de pistones reciclados por su economía y accesibilidad.
- El análisis microestructural expuso que al momento de la fundición existen ciertas cavidades que provocan una estructura frágil en el material, y gracias al proceso de desgasificación estas cavidades se reducen y por ende la estructura del material es más compacta y resistente.
- Gracias al análisis químico se pudo evidenciar que al momento de la fundición de los pistones reciclados existe una pérdida de componentes en su estructura el más notorio es el silicio que conforme a catálogos se debe encontrar en un rango de 11 a 13 %, y en este caso se encontró un 1.788 % de composición de acuerdo al total del peso conformado del material, determinando una calidad baja de la fundición resultante sin implementación de mejora.
- El promedio obtenido en el ensayo de compresión al material a base de pistones reciclados demostró una fuerza máxima de 30,012 (tnt) y el efectuado al material mejorado a base de pistones reciclados se obtuvo una fuerza máxima de 54,133 (tnt) dando un aumento en la fuerza máxima resistente a la compresión del material de más del 40 %.
- En comparación al aluminio 4032 con un esfuerzo a la tracción igual o mayor a 52100 psi, mediante cálculos matemáticos obtenidos de los resultados de ensayos mecánicos se determinó que el material mejorado a partir de pistones reciclados cumple con las especificaciones de dicho material ya que cuenta con un esfuerzo a la tracción de

53246,65 psi dando como resultado un material idóneo para la fabricación de pistones automotrices.

- Añadiendo los siguientes componentes cromo, magnesio, níquel, zinc, cobre, hierro y silicio, se evidencio una mejora en las propiedades mecánicas del material a base de pistones reutilizados, con lo cual se determina un material idóneo para la reutilización en el campo automotriz.

## Recomendaciones

- Para el análisis metalográfico se debe tomar en cuenta el tiempo de contacto que pasa la probeta frente al revelador químico, ya que si sobrepasa el límite permitido este puede quemarse (opacarse) y no se podrá obtener una imagen óptima en el microscopio.
- Para los diferentes ensayos mecánicos y metalográficos se deben seguir obligatoriamente los instructivos de uso de las máquinas de cada laboratorio para evitar cualquier tipo de inconvenientes.
- Los ensayos mecánicos se los debe realizar por lo menos 3 veces con el mismo material para poder obtener diferentes resultados y englobarlos en uno solo.
- Al momento de manufacturar un pistón con el material de partida mejorado a base de pistones reciclados, se recomienda realizar tratamientos térmicos al pistón de acuerdo a las necesidades del motor en el cual va a trabajar.

## Bibliografía

- American Society for Testing and Materials, ASTM E8M. (2018). *Métodos de prueba estándar para Pruebas de tensión de materiales metálicos*.  
<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-san-agustin-de-arequipa/laboratorio-de-ingenieria-mecanica-3/norma-astm-e8-e8m-09-traccion-metales-espanol/8345746>
- American Society for Testing and Materials, ASTM E9. (2018). *Compression Testing of Metallic Materials*. [https://www.mts.com/-/media/materials/pdfs/test-standards/100-538-185a\\_Metals\\_ASTM\\_E9.pdf?as=1](https://www.mts.com/-/media/materials/pdfs/test-standards/100-538-185a_Metals_ASTM_E9.pdf?as=1)
- American Society for Testing and Materials, ASTM (E112-96). *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*. <https://www.astm.org/e0112-96r04.html>
- Carrizosa Isaza, P. (2007). *Modelación Y Análisis De Un Molde Para Fundición De Aluminio*. [Tesis de grado, Universidad EAFIT de Colombia].  
<https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/4483/>
- Delgado, M., García, S., Pilar, D., Flórez, O., Jairo, J. (2015). *Reciclaje de aluminio oportunidades de desarrollo en Bogotá (Colombia)*. *Gestión y Ambiente*, 18(2), 135–152
- Erickson, M. Geniolandia. (1 de febrero 2018). *Tipos de arena para hacer un molde para moldear*.  
<https://www.geniolandia.com/13175323/tipos-de-arena-para-hacer-un-molde-para-moldear>
- Giachino, J. W., Weeks, W. (2007). *Técnica y práctica de la soldadura*. Editorial Reverté., S.A.

- Gómez Alencastro, B. (2018). MOLDE PERMANENTE PARA PROBETAS DE ALEACIONES DE ALUMINIO APLICANDO LA NORMA ASTM B-108. [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte del Ecuador]. <http://repositorio.utn.edu.ec>
- Groover, M. P. (2007). *FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA Materiales, procesos y sistemas*. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- HAMBURG, G. (2020). *Métodos de ensayo mecánicos Ensayo de materiales*. 5.
- Hernández, V. J., Cruz, R., Otero, E., Harris, I. G., Morales, C. O., Aguilar, C. E., Vázquez, N., Aguilar, O. U., Alfaro, M. M., Zuno, J., López, S. (enero de 2015). *Consideraciones en el diseño de pistones par*. Boletín científico Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
- Hibbeler, R.C. (2006). *Mecánica de Materiales*. Pearson Educación México
- Intelángelo, R., Benato, A. (2018). *Fundición y Moldeo Taller II. Politécnico*. Universidad de Rosario
- Lourdes, M. Á. M. de. (2004). *Política ambiental y su impacto en la innovación tecnológica y organizativa: el reciclaje de vehículos automotores*. Contaduría y Administración, 213, 73–98.
- Morrat, F.R., Jimeno, E., Molera, P. (2004). *Metalurgia General*. Editorial Reverté, S.A.
- Mott, R. L. (2004). *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS*. Pearson Education, Inc.
- Naro, R.L., Williams, D. C. (2019). *ELIMINACIÓN DE DEFECTOS DE MICROPOROSIDAD SUB-SUPERFICIAL EN ACEROS DE ALEACIÓN AGREGANDO FERROSELENIO*. Revista ASI International. 80. [https://www.asi-alloys.com/pdf/SS\\_2019\\_Fall-SPA\\_ASI](https://www.asi-alloys.com/pdf/SS_2019_Fall-SPA_ASI)

- Nieto, G. C., Avedaño, D. P. (2018). *Guía de laboratorio de resistencia de materiales*. In *Guía de laboratorio de resistencia de materiales*. <https://doi.org/10.2307/j.ctt1zgwm9p>
- Pachacama Nasimba, V., Ulcuango Moreno, C., Passo Guamangate, R., Llanes Cedeño, E. (2020). *Diseño de máquina de moldes de arena para utilizar en la fundición metálica*. *Polo del Conocimiento*. <http://dx.doi.org/10.23857/pc.v5i9.1691>
- Quintero Gómez, J. (2018). *PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LAS INSTALACIONES FÍSICAS Y PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS DEL TALLER DE FUNDICIÓN DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER SEDE CÚCUTA*. [Universidad Francisco de Paula Santander sede Cúcuta de Colombia]. <http://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/2586>
- Resendez, M. SCRIBD. (5 de octubre de 2015). *Materiales de Construcción Pistón*. <https://es.scribd.com/document/283759057/Materiales-de-Construccion-Piston#>
- Rodríguez, M. (2015). *Optimización de un proceso de fundición de aluminio*.
- Rodriguez, M., Garay, C., Martínez, R. (2017). *El aluminio, material trascendente en la historia humana*. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 21(61), 3,4.
- Valera Negrete, J. P. A. (2005). *Apuntes de Física General*. Universidad Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Acatlán
- Villacis Tulcan, E. (2015). *Análisis de la conducta de mezclas de moldeo para fundición aglomeradas con resinas autofraguantes fenólico uretanas*. [Escuela Politecnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10718>

Zuniga, A. C. P., Aguilar, M. de J. S. (2016). *Aleaciones de aluminio A-319 T6 en la industria automotriz.*

## Anexos