



**Universidad del Azuay**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz**

*Diseño y construcción de piezas automotrices en aleaciones de aluminio  
tratado térmicamente.*

**Tesis previa a la obtención del título de**

**Ingeniero Mecánico Automotriz**

**Autores**

**Roberto Ismael Sacoto Molina**

**David Eduardo López Malo**

**Director**

**Hernán Arturo Viteri Cerda**

**Cuenca –Ecuador**

**2012**

## **DEDICATORIA**

### *David*

Esta tesis va dedicada a mis padres de los que he tenido apoyo incondicional para culminar esta etapa de mi vida, a mi esposa María Teresa por sus palabras de aliento, a mis hermanos Pablo, Xavier, Sebastián que siempre estuvieron presentes, por último a Dios, quien permite que las cosas buenas pasen en mi vida y mi familia.

### *Roberto*

A mis padres por siempre brindarme el respaldo, creer en mi y enseñarme que hay que trabajar para conseguir los logros grandes de la vida, a mis hermanos por su apoyo y a Gabriela por acompañarme cada día y ayudarme a ser mejor en las cosas que amo de la vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Expresamos nuestro agradecimiento a la Universidad del Azuay, a la Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz y a nuestro Director de Tesis Ing. Hernán Viteri, por el apoyo en el transcurso de nuestra formación académica y en la realización del presente trabajo. De manera muy especial agradecemos a nuestros padres por su apoyo moral y económico.

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PIEZAS AUTOMOTRICES EN ALEACIONES DE ALUMINIO TRATADO TÉRMICAMENTE

## RESUMEN

La presente tesis se basó en el análisis de factibilidad del diseño y construcción de dos piezas automotrices, un cárter de motor y un palanca de freno de mano hidráulico en aleaciones de aluminio tratadas térmicamente, recopilando información como sustento teórico identificando las propiedades mecánicas del aluminio y sus aleaciones. Para el diseño de las piezas se aplicaron dos métodos, analítico y numérico, los cuales validaron los resultados obtenidos en las pruebas de diseño mecánico. Para su construcción se utilizaron dos procesos de fundición, por moldes de arena y moldes de yeso. En la parte final se aplicaron los tratamientos térmicos a las piezas y se realizaron ensayos experimentales, dando como resultado del proyecto piezas técnicamente confiables, factibles y ejecutables.

**Palabras claves:** Aluminio, diseño, construcción, fundición, tratamientos térmicos



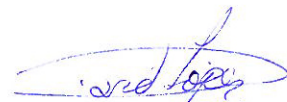
Ing. Hernán Viteri Cerda

Miembro de la junta



Roberto Sacoto Molina

Autor



David López Malo

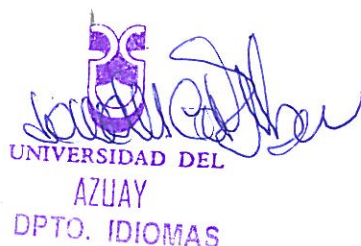
Autor


## ABSTRACT


### DESIGN AND CONSTRUCTION OF AUTOMOBILE PARTS IN THERMALLY TREATED ALUMINUM ALLOYS

The present thesis was based on the feasibility analysis of the design and construction of two automobile parts, an engine crankcase and a hydraulic hand brake lever in thermally treated aluminum alloys. The information gathered as theoretical background allowed identifying the mechanical properties of aluminum and its alloys. For the design of the parts two methods, analytical and numerical, were applied, which validated the results obtained from the mechanics design test. For the construction two smelter processes were employed, sand molding and plaster molding. In the final process the parts were treated thermally and the experimentation took place. The results showed technically reliable, feasible and executable parts.



**Key Words:** Aluminum, design, construction, smelter, thermal treatment.



  
Translated by,  
Diana Lee Rodas

  
Ing. Hernán Viteri Cerda

Member of the Board

   
Roberto Sacoto Molina      David López Malo

Author

Author

**INDICE DE CONTENIDOS**

<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1: EL ALUMINIO</b>	<b>3</b>
1.1 Propiedades del Aluminio Puro	3
1.1.1 Propiedades físicas del aluminio puro	4
1.1.2 Propiedades Químicas	8
1.1.3 Propiedades Mecánicas	8
1.2 Aleaciones de aluminio	10
1.3 Tipos de tratamientos térmicos del aluminio	13
<b>CAPÍTULO 2: DISEÑO DE PIEZAS AUTOMOTRICES</b>	<b>16</b>
2.1 Diseño del Cáster	16
2.1.2 Análisis del modelo y sobredimensionamiento de medidas	17
2.2 Diseño de la palanca de freno de mano hidráulico	18
2.2.1 Selección de materiales para la construcción de la palanca de freno de mano hidráulico	19
2.2.2 Análisis de esfuerzos en la palanca de freno de mano hidráulico	20
<b>2.2.2.1 Análisis teórico de esfuerzos en la palanca 1 (palanca original)</b>	<b>20</b>
<b>2.2.2.2 Análisis del factor de seguridad por medio de un software de elementos finitos de los esfuerzos en la palanca 1 de freno de mano.</b>	<b>29</b>
<b>2.2.2.3 Análisis teórico de esfuerzos en la palanca 2</b>	<b>31</b>
2.3 Análisis de Resultados	35
<b>CAPÍTULO 3: CONSTRUCCIÓN DE LAS PIEZAS AUTOMOTRICES</b>	<b>38</b>
3.1 Método de fundición	38
3.2 Tipos de moldes de fundición	39
3.2.1 Fundición en moldes de arena	39
3.2.2 Fundición en moldes de yeso	41
3.2.3 Ventajas y desventajas de los tipos de moldes	43
3.3 Fundición del Cáster	44
3.3.1 Selección de tipo de molde.	44
3.3.2 Proceso de fabricación	44
<b>3.3.2.1 Preparación del modelo</b>	<b>45</b>

<b>3.3.2.2 Fundición del Material y Colado de la Pieza</b>	<b>49</b>
<b>3.3.3.3 Maquinado del cárter.</b>	<b>52</b>
3.4 Palanca de freno de mando hidráulico	55
3.4.1 Proceso de fabricación	55
<b>3.4.1.1 Sobre dimensionamiento de medidas de la palanca elegida</b>	<b>55</b>
<b>3.4.1.2 Preparación del modelo</b>	<b>56</b>
<b>3.4.1.3 Preparación de la mezcla de yeso</b>	<b>57</b>
<b>3.4.1.4 Moldeado</b>	<b>57</b>
3.4.2 Fundición del material y colado de la palanca.	59
3.4.3 Maquinado de la palanca	62
<b>CAPÍTULO 4: SELECCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y PRUEBAS</b>	<b>64</b>
4.1 Tipos de tratamientos térmicos del aluminio	64
4.2 Aplicación de tratamientos térmicos	67
4.3 Pruebas de Funcionamiento	73
4.3.1 Pruebas Cristalográficas	73
4.3.2 Pruebas de Dureza	80
4.3.3 Verificación de pruebas de funcionamiento en la práctica de las piezas.	83
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>89</b>
<b>Referencias bibliográficas:</b>	<b>91</b>
<b>Referencias electrónicas:</b>	<b>91</b>
Anexo 1	93
Anexo 2	94
Anexo 3	95
Anexo 4	96
Anexo 5	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Estructura cristalina del aluminio cúbica centrada en las caras CCC:.....	5
Figura 1. 2 Densidad del aluminio en a) estado sólido, b) estado líquido .....	6
Figura 1. 3 Capa de óxido natural del Aluminio 99.99%.....	8
Figura 1. 4 Límite de deformación del aluminio vs acero general para todas las aleaciones. ....	9
Figura 1. 5 Gráfico de las series de aleaciones aluminio existentes. ....	11
Figura 2. 1 Cáster Luv 2.2.....	15
Figura 2. 3 Dimensiones y sobredimensionamiento de la cara superior del cáster replicado en mm.....	18
Figura 2. 4 Palanca de freno de mano hidráulico.....	19
Figura 2. 5 Medidas en mm de palanca de freno original.....	20
Figura 2. 6 Distancia en mm de la carga al punto de análisis .....	21
Figura 2. 7 Superficie del espesor de la palanca .....	22
Figura 2. 8 Esfuerzo principal, cuyo valor en la zona crítica es igual a 38.36 MPa. ....	30
Figura 2. 9 Desplazamiento máximo indicado en la zona roja, el mismo que es igual a 1.14mm .....	30
Figura 2. 10 Factor de seguridad mínimo igual a 2.83, indicado en la zona turquesa. ....	31
Figura 2. 11 Medidas en mm de la palanca diseñada por los autores .....	31
Figura 2. 12 Distancia en mm de la carga al punto de análisis .....	32
Figura 2. 13 Esfuerzo principal, cuyo valor en la zona crítica es igual a 40.28.....	34
Figura 2. 14 Desplazamiento máximo indicado en la zona roja, el mismo que es igual a 1 mm .....	35
Figura 2. 15 Factor de seguridad mínimo igual a 3.07, indicado en la zona turquesa. ....	35
Figura 3. 1 Fundición por gravedad en moldes de yeso.....	38
Figura 3. 2 Proceso de fundición de aluminio en moldes de arena por gravedad.....	39
Figura 3. 3 Fundición en molde de arena.....	40
Figura 3. 4 Molde de arena verde.....	40
Figura 3. 5 Moldes de yeso.....	42
Figura 3. 6 Tamizado de la arena.....	45
Figura 3. 7 Arena tamizada.....	45
Figura 3. 8 Bentonita.....	46
Figura 3. 9 Mezclado de la arena, bentonita y agua.....	46
Figura 3. 10 Modelo cáster original.....	46
Figura 3. 11 Preparación de molde.....	46



Figura 3. 12 Compactado de arena.....	47
Figura 3. 13 Parte inferior del molde.....	47
Figura 3. 14 Proceso de detallado del molde.....	47
Figura 3. 19 Separación del molde.....	49
Figura 3. 20 Retirado del cárter.....	49
Figura 3. 21 Terminado tapa superior.....	49
Figura 3. 22 Terminado tapa inferior.....	49
Figura 3. 23 Colocado de materiales en el crisol.....	50
Figura 3. 24 Aislamiento del horno.....	50
Figura 3. 25 Horno encendido.....	50
Figura 3. 26 Aluminio fundido.....	51
Figura 3. 27 Retirado del crisol.....	51
Figura 3. 28 Vaciado del metal fundido en el molde.....	51
Figura 3. 29 Vista superior del cárter.....	52
Figura 3. 30 Vista interna del cárter.....	52
Figura 3. 31 Vista lateral del cárter.....	52
Figura 3. 32 Nivelado de la superficie.....	52
Figura 3. 34 Rectificado posterior.....	53
Figura 3. 37 Plantilla para los agujeros los agujeros.....	54
Figura 3. 38 Taladrado de agujeros en la superficie de asiento.....	54
Figura 3. 39 Roscado de orificios, parte posterior.....	54
Figura 3. 40 Fresado y taladrado del tapón del aceite.....	54
Figura 3. 41 Dibujo de la palanca con las medidas sobre dimensionadas en mm.....	56
Figura 3. 42 Palanca modelo construida en madera.....	56
Figura 3. 51 Metal fundido a 750 °C.....	60
Figura 4. 1 Cárter y probeta listos, antes del tratamiento de envejecido .....	68
Figura 4. 2 Cárter dentro del horno de tratamientos térmicos previo al tratamiento. ....	68
Figura 4. 3 Programación de la temperatura: 205 °C y tiempo del tratamiento térmico: 8 horas .....	69
Figura 4. 4 Cárter y probeta listos, después de 8 horas de duración del tratamiento de envejecido. ....	69
Figura 4. 5 Gráfico de temperatura / tiempo del tratamiento térmico de envejecido realizado al cárter. ....	69
Figura 4. 6 Programación del horno a 460 °C de temperatura.....	71
Figura 4. 7 Palanca y probeta dentro del horno para tratamiento de solución .....	71
Figura 4. 8 Templado de la palanca en agua.....	71

Figura 4. 9 Controlador del horno a 170 °C de temperatura al momento del envejecido artificial de la palanca. ....	72
Figura 4. 10 Gráfico de temperatura / tiempo del tratamiento térmico de solución, templado y envejecido artificial aplicado a la palanca.....	72
Figura 4. 11 Probetas sometidas al reactivo.....	73
Figura 4. 12 Fotografías de la estructura cristalográfica de las probetas en el microscopio .....	74
Figura 4. 13 Aleación 380, fundición, contiene en su estructura partículas de silicio y cobre (ASM Committee on Metallography of Aluminum Alloys, 262).....	74
Figura 4. 14 Cristalografía de la fundición del cárter, tomada antes del tratamiento térmico, en el microscopio, ampliación a 10x.....	75
Figura 4. 15 Cristalografía de la fundición del cárter, tomada antes del tratamiento térmico en el microscopio, ampliación a 20x.....	75
Figura 4. 16 Cristalografía de la fundición del cárter, tomada en el microscopio, luego del tratamiento de envejecido, ampliación a 10x.....	75
Figura 4. 17 Cristalografía de la fundición del cárter, tomada en el microscopio, luego del tratamiento de envejecido, ampliación a 20x.....	75
Figura 4. 18 Cristalografía de la fundición del cárter, tomada antes del tratamiento térmico en el microscopio, ampliación a 40x.....	76
Figura 4. 19 Cristalografía de la fundición del cárter, tomada en el microscopio, luego del tratamiento de envejecido, ampliación a 40x.....	76
Figura 4. 20 Aleación de aluminio-silicio perteneciente a un pistón. (European Aluminium Association, 7) .....	77
Figura 4. 21 Cristalografía de la fundición de la palanca, tomada antes del tratamiento térmico en el microscopio, ampliación a 10x.....	78
Figura 4. 22 Cristalografía de la fundición de la palanca, tomada antes del tratamiento térmico en el microscopio, ampliación a 20x.....	78
Figura 4. 23 Cristalografía de la fundición de la palanca, tomada después del tratamiento térmico en el microscopio, ampliación a 10x.....	78
Figura 4. 24 Foto que indica la cristalografía de la fundición de la palanca, tomada después del tratamiento térmico en el microscopio, ampliación a 20x.....	78
Figura 4. 25 Cristalografía de la fundición de la palanca, tomada antes del tratamiento térmico en el microscopio, ampliación a 40x.....	79
Figura 4. 26 Cristalografía de la fundición de la palanca, tomada después del tratamiento térmico en el microscopio, ampliación a 40x.....	79
Figura 4. 27 Medición de dureza de una probeta en el durómetro Brinell .....	80
Figura 4. 28 Medición del diámetro de la huella con el amplificador de imagen.....	81
Figura 4. 29 Cárter completamente lleno de agua para comprobar estanqueidad y trizaduras .....	83
Figura 4. 30 Ajuste y calzado de los pernos entre el cárter y bloque.....	84
Figura 4. 31 Ajuste cárter y bloque con empaque.....	84

Figura 4. 32 Prueba de fugas con el motor en posición vertical. ....	85
Figura 4. 33 Prueba de fugas con el motor en posición inclinada.....	85
Figura 4. 34 Palanca de freno de mano hidráulico (Posición vertical). ....	86
Figura 4. 35 Palanca de freno de mano hidráulico (Posición horizontal). ....	86
Figura 4. 36 Palanca en posición vertical (principio de carrera).....	87
Figura 4. 37 Palanca en posición vertical (fin de carrera).....	87
Figura 4. 38 Palanca en posición horizontal (principio de carrera). ....	88
Figura 4. 39 Palanca en posición horizontal (fin de carrera). ....	88

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. 1 Clasificación del aluminio según su pureza.....	4
Tabla 1. 2 Propiedades físicas del aluminio.....	4
Tabla 1. 3 Relación pureza- punto de fusión del aluminio.....	7
Tabla 1. 4 Designación de la nomenclatura de las series de aleaciones de Aluminio.....	11
Tabla 1. 5 Tipos de Tratamiento Térmicos que se realizan a las aleaciones de aluminio .....	14
Tabla 2. 1 Resultados de los análisis estático y dinámico de la palanca 2.....	32
Tabla 2. 2 Resultados de las pruebas de diseño manual y diseño computarizado .....	36
Tabla 3. 1 Fórmulas de arena sílice.....	41
Tabla 3. 2 Fórmulas yeso y sílice.....	42
Tabla 3. 3 Ventajas y desventajas de los tipos de moldes.....	43
Tabla 4. 1 Tabla del tratamiento térmico realizado al cárter.....	67
Tabla 4. 2 Tabla del tratamiento térmico realizado a la palanca.....	70
Tabla 4. 3 Tabla de resultados de la dureza Brinell obtenidos antes y después del tratamiento térmico. ....	82
Tabla 4. 4 Tabla de resultados de la dureza Brinell obtenidos antes y después del tratamiento térmico .....	82

Sacoto Molina Roberto Ismael  
López Malo David Eduardo  
Trabajo de Grado  
Ing. Hernán Viteri  
Julio 2012

## **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PIEZAS AUTOMOTRICES EN ALEACIONES DE ALUMINIO TRATADO TERMICAMENTE**

### **INTRODUCCION**

Esta tesis tiene por finalidad diseñar y construir piezas automotrices a partir de aleaciones de aluminio tratadas térmicamente por medio del reciclaje y el seleccionamiento de partes de aluminio. En el primer capítulo se realiza una recopilación bibliográfica que proporciona información sobre las propiedades mecánicas del aluminio e identifica su nomenclatura y las series que componen sus aleaciones basadas en las normas de la ASM (Sociedad Americana de Materiales), y además, permite conocer los tipos de tratamientos térmicos a los cuales el aluminio puede ser sometido.

En el segundo capítulo se desarrolla el diseño mecánico de dos piezas automotrices: un cárter, para el cual se seleccionan los materiales y se determina el sobredimensionamiento para su construcción, y dos palancas de freno de mano hidráulico, siendo una de estas original de fábrica y la otra un modelo propuesto en esta tesis. Para el diseño mecánico de las palancas se plantean dos métodos: uno analítico, en el cual se realiza un análisis estático y dinámico; un segundo método numérico es aplicado por medio de un software de elementos finitos, para realizar un análisis estático de las palancas, y así validar en los resultados obtenidos previamente.

En el tercer capítulo de construcción de piezas automotrices las partes seleccionadas son fabricadas mediante dos procesos de fundición: por moldes de arena el cual se utiliza

para el cárter debido al tamaño y complejidad del mismo y por moldes de yeso, técnica que se usa para la palanca de freno de mano hidráulico debido a su menor dimensión, detallándose por completo los procesos de fundición de las dos piezas y su maquinado.

El capítulo final se refiere a la selección de tratamientos térmicos y pruebas, se aplican los tratamientos térmicos a las piezas automotrices y se ejecutan dos ensayos no destructivos, siendo el primera un análisis cristalográfico en el cual se observa el cambio de tamaño de los granos en las probetas y un segundo análisis para determinar la dureza de las probetas luego de ser sometidas a los tratamientos térmicos respectivos; y una prueba para verificar el buen funcionamiento de las piezas obtenidas.

.

# CAPÍTULO I

## EL ALUMINIO

### 1.1 Propiedades del Aluminio Puro

Según Totten y Mackenzie en su libro *Handbook of Alumninum*, las propiedades que hacen único al aluminio son su baja densidad, su dureza y su alta resistencia a la corrosión haciéndolo un material ideal para el uso convencional y novedoso en aplicaciones dentro de la industria.

Las aplicaciones del aluminio se han ido incrementado en el uso de la industria para la producción de automóviles, envases de alimentos, construcción de edificios, transmisión de la electricidad, desarrollo de infraestructuras para transportación, producción de defensa y equipo aeroespacial, manufactura de máquinas y herramientas y producción de productos de consumo de larga duración, mientras la demanda de productos tecnológicamente complejos y ecológicamente sustentables crezca, las oportunidades del aluminio seguirán expandiéndose.

El aluminio es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre, el aluminio es el elemento químico que se encuentra en el tercer grupo de la tabla periódica de los elementos; su número atómico es trece, su peso atómico es 26,9815 a 12 °C; el aluminio es de color plata claro.

- **Grados de pureza del aluminio**

Dependiendo del grado de impurezas, el aluminio es clasificado en pureza extrema y comercial del aluminio.

Basado en las normas de la Organización Internacional de Estandarización (ISO), los estándares de clasificación del aluminio se muestran en la tabla 1.1 a continuación:

**Tabla 1. 1** Clasificación del aluminio según su pureza

<b>CLASIFICACIÓN DEL ALUMINIO BASADO EN LA NORMA ISO</b>	
<b>PUREZA DEL ALUMINIO</b>	<b>DESIGNACIÓN %</b>
Extrema pureza	99.99-99.7
Pureza comercial	99.8-99.5
Industria eléctrica (cables)	99.4-98

Fuente: TOTTEN, Mackenzie, *Handbook of Aluminum vol. 1 Physical Metallurgy and Processes*, Marcel Dekker, New York, 2003, pg 36

### 1.1.1 Propiedades físicas del aluminio puro

Asimismo Totten y Mackenzie afirman que las propiedades físicas del aluminio dependen de su pureza. Es bien conocido que el aluminio tiene una baja densidad de  $2.7 \text{ gr/cm}^3$ , una alta reflectividad y una alta conducción eléctrica y térmica. También es muy resistente a la corrosión atmosférica, debido a la formación instantánea de una capa de óxido que se adhiere a su superficie la misma que protege al metal de ataques externos. En la tabla 1.2 que se indica a continuación se muestran las propiedades físicas del aluminio:

**Tabla 1. 2** Propiedades físicas del aluminio

<b>Propiedades físicas del aluminio</b>					
<b>Propiedades</b>	<b>Pureza %</b>				
	<b>99.999</b>	<b>99.990</b>	<b>99.8</b>	<b>99.5</b>	<b>99.000</b>
Punto de fusión $^{\circ}\text{C}$		660.2	-	-	657.0
Punto de Ebullición $^{\circ}\text{C}$		2480	-	-	-
Calor latente de fusión cal/gr		94.6	-	-	93.0
Calor específico 100 $^{\circ}\text{C}$ , cal/gr		0.2226	-	-	0.2297
Densidad a 20 $^{\circ}\text{C}$ , $\text{gr/cm}^3$	2.7	2.7	2.71	2.71	-
Resistencia eléctrica $\mu\text{Ohm-cm}$ a 20 $^{\circ}\text{C}$	2.63	2.68	2.74	2.8	2.87



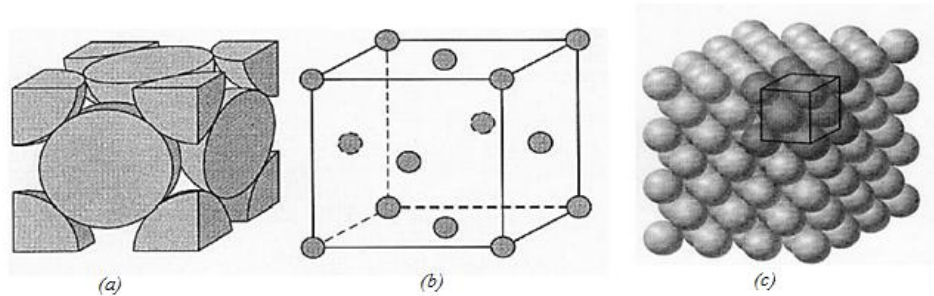
Temperatura de coeficiente de resistividad		0.0042	0.0042	0.0041	0.0040
Coeficiente termal de expansión X10E6		23.86	23.5	23.5	23.5
Conductividad termal 100 °C		0.57	0.56	0.55	0.54
Reflectividad total %		90	89	86	-
Módulo de elasticidad lb/plg <sup>2</sup> x10e <sup>-6</sup>		9.9	-	-	10

Fuente: TOTTEN, Mackenzie, *Handbook of Aluminum vol. 1 Physical Metallurgy and Processes*, Marcel Dekker, New York, 2003, pg 37

### ▪ Estructura cristalina y radio atómico

El aluminio tiene una estructura cristalina cúbica centrada en las caras que se mantiene hasta su punto de fusión (cada átomo tiene el mismo número de átomos vecinos cercanos o átomos de contacto) esta estructura cristalina es la más compacta cúbica enrejada.

El radio atómico del aluminio es determinado como la distancia media entre los átomos vecinos más cercanos en una estructura cristalina de un elemento puro, la misma que es igual a 1.43 Å<sup>1</sup>. A continuación en la figura 1.1 se muestra la estructura cristalina del aluminio:



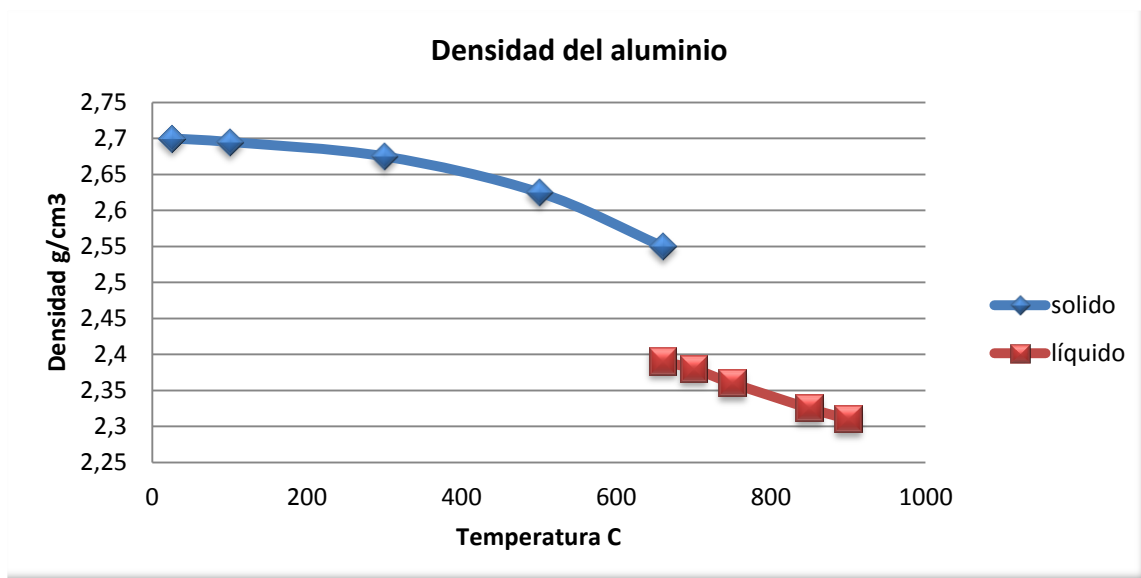
**Figura 1. 1** Estructura cristalina del aluminio cúbica centrada en las caras CCC: (a) representación de esfera unitaria, (b) esfera reducida de celda unitaria, (c) agregado de muchos átomos.

Fuente: TOTTEN, Mackenzie, *Handbook of Aluminum vol. 1 Physical Metallurgy and Processes*, Marcel Dekker, New York, 2003, pg 38

<sup>1</sup>Å, amstrong, equivalente a 10 millonésimas partes de 1 m, Ibañez Juan José, <http://www.jji-ingenieria.com/pdf/SI.PDF>, acceso 20 de junio de 2012

### ▪ Densidad

La densidad teórica del aluminio (la mínima distancia sobre la cual una celda unitaria debe ser trasladada sucesivamente en cualquiera de las direcciones en un sistema cristalino dado, en orden de crear un enrejamiento cristalino) es igual a  $2.69872\text{gr/cm}^3$  a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A continuación se muestra en la figura 1.2 el gráfico de la densidad del aluminio cuando se encuentra en estado sólido y líquido.



**Figura 1. 2** Densidad del aluminio en a) estado sólido, b) estado líquido

Fuente: TOTTEN, Mackenzie, *Handbook of Aluminum vol. 1 Physical Metallurgy and Processes*, Marcel Dekker, New York, 2003, pg 41

### ▪ Conductividad Térmica

El aluminio, teniendo una excelente conductividad térmica es también un excelente disipador de calor, la conducción eléctrica de los metales, así como la conductividad térmica es liderada por el comportamiento de la valencia de los electrones. La conductividad térmica del aluminio cuando se encuentra a  $20^{\circ}\text{C}$  es igual a  $50\text{ cal/cm}^2\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ .

<sup>2</sup>cal = caloría (unidad de medida de calor); cm = centímetro (unidad de longitud Sistema Internacional); °C = grado centígrado (unidad de temperatura Sistema Internacional), TOTTEN, Mackenzie, *Handbook of Aluminum vol. 1 Physical Metallurgy and Processes*, Marcel Dekker, New York, 2003

- **Conductividad eléctrica**

El aluminio, siendo un metal trivalente es un buen conductor de la electricidad. El comportamiento de los electrones en el aluminio es similar al comportamiento de los electrones libres. La resistencia eléctrica de un aluminio 99.99% puro a temperatura ambiente es de  $2.65498 \times 10^{-8} \text{ Ohm}$ , o es igual al 64.94% de la resistencia eléctrica del cobre basado en estándares internacionales.

El tamaño del grano afecta en la resistencia eléctrica del aluminio, pero después de un tratamiento de templado del aluminio la conductividad eléctrica aumenta de 0.5 a 1%. También se conoce que la conductividad eléctrica del aluminio está afectada por la cantidad de impurezas y aleaciones que éste presenta.

- **Solidificación y Fusión**

La transformación de sólido a líquido del aluminio puro empieza a los  $660.37 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . El proceso de solidificación del metal líquido usualmente comienza en puntos separados. El arreglo atómico en pequeños volúmenes del metal derretido es similar a su arreglo en una red cristalina.

Cuando el aluminio se encuentra en estado líquido hay un momento en el que algunas de sus propiedades como la densidad, la resistencia eléctrica, la deformación, etc, difieren de las del aluminio en su estado sólido. Acotando que el punto de fusión del aluminio depende de la pureza del mismo lo cual se indica la tabla 1.3 presentada a continuación:

**Tabla 1. 3** Relación pureza- punto de fusión del aluminio

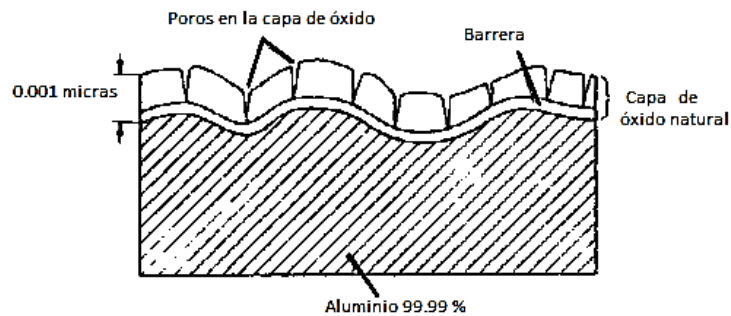
<b>Relación entre la pureza del aluminio y su punto de fusión</b>		
Grado de pureza%	99.2	99.5
Punto de fusión. C	657	658

Fuente: TOTTEN, Mackenzie, *Handbook of Aluminum vol. 1 Physical Metallurgy and Processes*, Marcel Dekker, New York, 2003, pg 59

### 1.1.2 Propiedades Químicas

#### ▪ Corrosión

Una de las principales razones por las que se producen fallas dentro de la ingeniería de materiales de uso en la industria es la corrosión. El aluminio puro es muy resistente a la corrosión y es mejor que el aluminio que se vende comercialmente. Éste es utilizado para recubrimiento de aleaciones, destacando que el aluminio tiene una resistencia a la corrosión en algunos tipos de ambientes incluyendo el estar expuesto al medio ambiente, esto se debe a la presencia de una capa de óxido en su superficie, el mismo que se forma mediante una reacción química del aluminio al contacto con el oxígeno, ayudando al metal para evitar a éste un deterioro prematuro, tal cual se indica en la figura 1.3. El espesor de esta capa de óxido suele ser de 5-20 nm.



**Figura 1. 3** Capa de óxido natural del Aluminio 99.99%.

Fuente: TOTTEN, Mackenzie, *Handbook of Aluminum vol. 1 Physical Metallurgy and Processes*, Marcel Dekker, New York, 2003, pg 60

### 1.1.3 Propiedades Mecánicas

Luis Aguilera en su página web [www.luis-aguilera.com](http://www.luis-aguilera.com) dedicada al aluminio extruido asegura que se determinan como la base y características de un material metálico, con vistas a un fin de aplicación concreto, por consiguiente se dará un breve resumen de las propiedades mecánicas más importantes del aluminio.

- **Dureza**

Las características de dureza del aluminio es particular, ya que ésta se puede aumentar mediante diversos tratamientos térmicos manteniendo su baja densidad en relación con el acero, aumentando la dureza Brinell del aluminio desde valores bajos como HB = 15 para el aluminio puro hasta el valor de HB=110 para aleaciones endurecidas por un tratamiento térmico.

- **Resistencia mecánica**

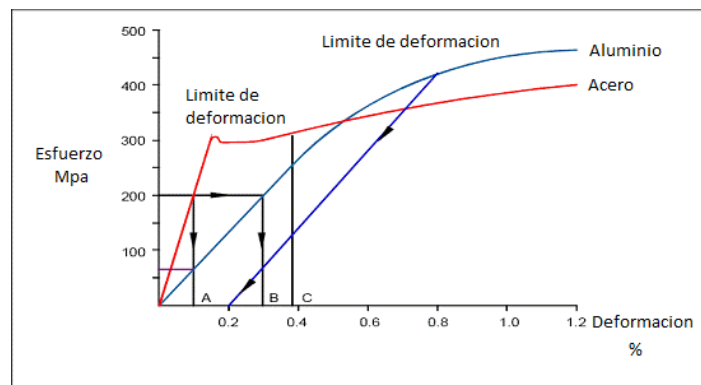
Se puede admitir que el aluminio tiene un valor límite de aplastamiento del 0.2% que es igual al valor del límite elástico 0.2% de tracción. Este valor tiene relevancia en las piezas sometidas a la compresión tales como cojinetes de fricción.

La resistencia a la flexión del aluminio viene determinada en varios ensayos puesto que esta resistencia varía según el tipo de impurezas y aleaciones que el aluminio posea además del método de producción y tratamiento térmico al que este metal este sometido.

La resistencia al corte no tiene valores normalizados, pero generalmente está entre el 50 y 80% del valor de la resistencia a la tracción.

Si se considera una distribución lineal de tensiones la resistencia a la torsión puede ser considerada igual a la resistencia al cizallamiento.

A continuación en la figura 1.4 se muestra una comparación entre el límite de deformación del acero y el límite de deformación del aluminio, la cual indica que en relación al material el aluminio consta de un mayor alcance a este límite.



**Figura 1. 4** Límite de deformación del aluminio vs acero general para todas las aleaciones.

Fuente: [http://www.luis-aguilera.com/LuisAguilera2\\_archivos/page0003.htm](http://www.luis-aguilera.com/LuisAguilera2_archivos/page0003.htm), acceso 20/03/2012

- **Características de resistencia a bajas temperaturas**

Es característico del aluminio que, con su red CCC el cual tiene la misma estructura que el cobre, níquel o los aceros austeníticos, mantenga este tipo de red cristalina a bajas temperaturas sin que se presenten complicaciones como la pérdida de resistencia a la flexión.

## 1.2 Aleaciones de aluminio

Salvador Ortolá, en su página web *ingenieriademateriales.wordpress.com* acerca de las aleaciones del aluminio asegura que, muchas de las propiedades del aluminio son dependientes de un conjunto de factores, siendo el más importante la existencia de elementos aleantes, al aluminio puro (99.99% de pureza), básicamente se utilizan sólo materiales de aluminio que contienen otros elementos aleantes. Aún en el aluminio puro, las impurezas, como el hierro y el silicio determinan gran parte de sus propiedades mecánicas.

En el aluminio los principales elementos aleantes son: cobre, silicio, magnesio, zinc y manganeso y frecuentemente en menores cantidades existen los siguientes elementos, como aditivos o impurezas: hierro, cromo y titanio. También se suele adicionar para aleaciones especiales los siguientes elementos: níquel, cobalto, plata, litio, vanadio, circonio, estaño, plomo, cadmio y bismuto.

Es conocido que a nivel industrial se producen dos tipos de aluminios los cuales se clasifican según normas de la ASM (*Sociedad Americana de Materiales*) en:

- **Aluminios forjados:**

Dentro de este tipo de aleaciones los grupos principales de las no tratables térmicamente son la serie 1xxx, 5xxx y 6xxx.

- **Aluminios fundidos:**

Dentro de las aleaciones tratables térmicamente los grupos principales son 2xxx, 3xxx, 4xxx, 7xxx.

En esta división se encuentran las aleaciones de aluminio con mayores resistencias mecánicas.

## Designación de la nomenclatura de las series de aleaciones de aluminio basada en la norma de la ASM (*Sociedad Americana de Materiales*)

La designación de las aleaciones se realiza con un número de cuatro cifras: xxxx (1234), siendo como se indica en la tabla 1.4:

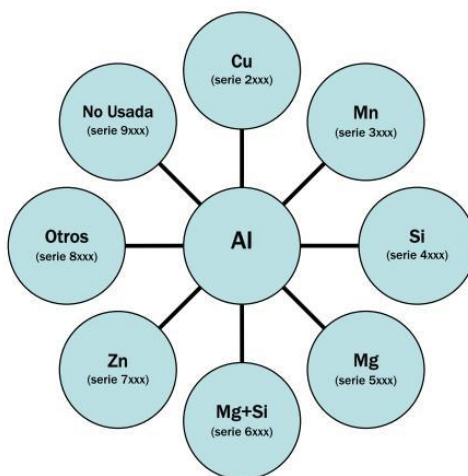
**Tabla 1. 4** Designación de la nomenclatura de las series de aleaciones de Aluminio

1	Es el grupo al que pertenece la aleación
2	Indica las modificaciones que se han efectuado a las aleaciones establecidas. Cuando es 0 corresponde a la aleación original
3	Para numerar las aleaciones, enseñando que no pertenecen al orden cronológico de su establecimiento.
4	Designa números o letras

Fuente: <http://www.guiaenvase.com/bases%5Cguiaenvase.nsf/V02wp/EB2A54A6953AC5EDC1256F250063F>, acceso 21 de marzo del 2012

### Aleaciones de aluminio según su serie

En la figura 1.5 presentada a continuación se indican las series de las aleaciones de aluminio y sus principales elementos aleantes.



**Figura 1. 5** Gráfico de las series de aleaciones aluminio existentes.

Fuente: <http://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>, acceso 21 de marzo del 2012

Según Ortolá las aleaciones del aluminio según su serie se dividen en:

### **Serie 2xxx**

Su principal aleante es el cobre, las características de esta serie son: buena relación peso y dureza, baja resistencia a la corrosión, puede someterse a tratamientos de envejecimiento para mejorar sus propiedades mecánicas, una vez realizado tienen propiedades mecánicas que son similares a los de los aceros de bajo carbono. Sus superficies suelen ser galvanizadas.

Este tipo de aleación es utilizada generalmente en aros de camiones de transporte pesado y ruedas de aviones, en la suspensión de camiones, fuselaje de aviones, en estructuras que requieran buena dureza a temperaturas superiores a 150 °C.

### **Serie 3xxx**

Los elementos principales son el manganeso y en cantidades menores se encuentra el silicio, estas aleaciones tienen un 20% más de dureza que el aluminio puro, estas aleaciones se utilizan para fabricar utensilios que sean fáciles de trabajar para fabricarlos como son botellas para bebidas, intercambiadores de calor, utensilios de cocina, mobiliaria, señales de tráfico, tejados, aplicaciones arquitectónicas, además se sabe que es muy utilizada en área automotriz debido a que es la aleación con mejores características para la fundición de piezas automotrices.

### **Serie 4xxx**

El silicio es el principal elemento aleante de esta serie, usualmente es añadido en cantidades grandes, superior al 12%, para lograr un descenso del punto de fusión de la aleación provocando que el metal se funda a una temperatura menor que la común de aleaciones de aluminio por lo cual puede ser usado para electrodos de soldadura. Estas aleaciones son utilizadas para aplicaciones arquitectónicas, y debido a que tienen un bajo coeficiente de expansión térmico y una alta resistencia al desgaste se usa en la construcción de pistones dentro del área automotriz.



**Serie 5xxx**

El principal elemento aleante es el magnesio además puede añadirse pequeñas cantidades de manganeso para endurecer la aleación. Las características de esta aleación son una buena dureza, soldabilidad, buena resistencia a la corrosión en ambiente marino y baja capacidad de trabajo en frío.

Estas aleaciones son utilizadas en perfiles arquitectónicos, barcos, tanques, puentes de grúa y estructuras de automóviles.

**Serie 6xxx**

El magnesio y silicio son sus aleantes principales, siendo esta aleación tratable térmicamente. Estas aleaciones son menos duras, pero a cambio tienen una buena formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y resistencia a la corrosión. Generalmente son tratadas térmicamente mediante los procesos de envejecimiento natural y solución, para mejorar sus propiedades mecánicas. Son utilizadas en la elaboración de cuadros de bicicletas, aplicaciones arquitectónicas, fuselajes de avión, estructuras soldadas, pistolas de paintball, etc.

**Serie 7xxx**

Su principal elemento aleante es el zinc y es añadido en cantidades del 1 al 8 %. También suelen añadirse mínimas cantidades de magnesio para que a la aleación se la pueda tratar térmicamente. Debido a su alta dureza se utilizan en estructuras de aviones, equipos de transporte y otras partes sometidas a esfuerzos grandes.

**1.3 Tipos de tratamientos térmicos del aluminio**

Ortolá indica que las aleaciones de aluminio pueden ser sometidas a una gran cantidad de tratamientos térmicos, lo cual las hace a estas muy particulares, por siguiente se presenta la tabla 1.5, la cual indica los tipos de tratamientos térmicos del aluminio y sus designaciones:

**Tabla 1. 5** Tipos de Tratamiento Térmicos que se realizan a las aleaciones de aluminio

<b>TIPOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS DEL ALUMINIO</b>	
<b>RECOCIDOS</b>	<b>O:</b> Recocido. Se aplica a materiales ya sea de forja como de fundición que han sufrido un recocido completo.
	<b>O1:</b> Recocido a elevada temperatura y enfriamiento lento.
	<b>O2:</b> Sometido a tratamiento termo mecánico.
	<b>O3:</b> Homogeneizado. Esta designación se aplica a los alambrones y a las bandas de colada continua, que son sometidos a un tratamiento de difusión a alta temperatura.
	<b>W:</b> Solución tratada térmicamente. Se aplica a materiales que después de recibir un tratamiento térmico quedan con una estructura inestable y sufren envejecimiento natural.
<b>ENDURECIDOS</b>	<b>H:</b> Estado de Acritud. Viene con materiales a los que se ha realizado un endurecimiento por deformación.
	<b>H1.</b> Endurecido por deformación hasta obtener el nivel deseado y sin tratamiento posterior.
	<b>H2.</b> Endurecido en exceso por deformación y recocido parcial para recuperar suavidad sin perder ductilidad.
	<b>H3.</b> Acritud y estabilizado.
	<b>H4.</b> Acritud y lacado o pintado. Son aleaciones endurecidas en frío y que pueden sufrir un cierto recocido en el tratamiento de curado de la capa de pintura o laca dada. En ésta clasificación se usa un segundo dígito (en ocasiones es necesario un tercer dígito) que indica el grado de endurecimiento por deformación.
<b>TEMPLES</b>	<b>T:</b> Denomina a materiales que has sido endurecidos por tratamiento térmico con o sin endurecimiento por deformación posterior. Las designaciones de W y T solo se aplican a aleaciones de aluminio ya de forja o de fundición que sea termo tratable.
	<b>T1:</b> Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una elevada temperatura y envejecido de forma natural.
	<b>T2:</b> Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una alta temperatura, trabajado en frío y envejecido de forma natural.
	<b>T3:</b> Solución tratada térmicamente, trabajada en frío y envejecida a temperatura ambiente hasta alcanzar una condición estable.

	<p><b>T4:</b> Solución tratada térmicamente y envejecida a temperatura ambiente hasta alcanzar una condición estable. Es un tratamiento similar a T3 pero sin el trabajo en frío.</p>
	<p><b>T5:</b> Enfriado desde un proceso de fabricación a alta temperatura y envejecida artificialmente.</p>
	<p><b>T6:</b> Solución tratada térmicamente y envejecida artificialmente. Son designados de esta forma los productos que después de un proceso de conformado a alta temperatura (moldeo o extrusión) no son endurecidos en frío sino que sufren un envejecimiento artificial.</p>
	<p><b>T7:</b> Solución tratada térmicamente y sobre envejecida para su completa estabilización.</p>
	<p><b>T8:</b> Térmicamente tratada por disolución, trabajada en frío y envejecida artificialmente.</p>
	<p><b>T9:</b> Solución tratada térmicamente, envejecida artificialmente y trabajada en frío.</p>
	<p><b>T10:</b> Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una elevada temperatura, trabajado en frío y envejecido artificialmente hasta una condición sustancialmente estable.</p>

Fuente: <http://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>,  
 acceso 21 de marzo del 2012

## CAPÍTULO II

### DISEÑO DE PIEZAS AUTOMOTRICES.

#### 2.1 Diseño del Cárter

Se decidió fabricar esta pieza debido a su alto costo dentro del mercado automotriz y su construcción compleja, esta pieza está expuesta a varios factores externos como: una alta corrosión porque se encuentra en la parte baja del automóvil en contacto con residuos de agua y fango; además de ser proclive a golpes fuertes, los que generalmente comprometen la vida útil de la pieza.

Debido la complejidad de reparación de la pieza y falta de garantía que asegure la durabilidad de la misma, se decidió fabricar un cárter a partir de aleación de aluminio reciclado, el mismo que se muestra en figura 2.1.



Figura 2. 1 Cárter

#### 2.1.1 Selección de materiales para la construcción del cárter

Se conoce que el motor está sometido a grandes variaciones de temperatura y que el aceite lubricante que circula por el mismo se encuentra a una temperatura elevada dentro del motor. El cárter es el depósito de aceite del motor, por lo cual éste debe poseer excelentes características para ayudar a disipar el calor del motor por medio del

enfriamiento del aceite, además que al estar a la intemperie necesita ser fabricado de un material con buena relación anticorrosiva, dureza y resistencia para soportar cargas de impacto continuamente.

Tomando en cuenta todos estos factores se observó que los materiales idóneos a reciclar para la construcción del cárter propuesto se asemejan a la serie 3xxx la misma que cumple con las siguientes características:

- Alta resistencia a la corrosión.
- Buena dureza y tenacidad.
- Elevada disipación de calor.

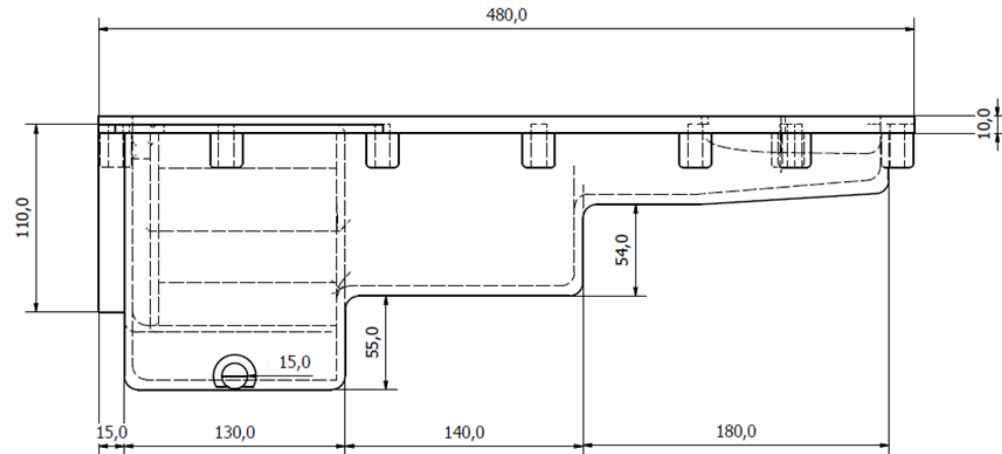
La selección de materiales se realizó buscando en el mercado de reciclaje, dentro del cual se pueden encontrar diversos materiales que cumplen con las características necesarias para la confección de la pieza, los materiales utilizados fueron los siguientes:

- Residuos de partes automotrices: tapa válvulas, pistones, bombas de agua.
- Utensilios de cocina
- Perfiles arquitectónicos

### **2.1.2 Análisis del modelo y sobredimensionamiento de medidas**

Según The ASM Committee on Metallography of Aluminum Alloy, dado que se utiliza como modelo para la fundición el mismo cárter original, las medidas de fábrica son conservadas, excepto la cara superior de unión con el bloque, para lo cual se coloca un alza que aumenta su altura, esto permite un maquinado posterior llegando a un mejor asentamiento entre el cárter y el bloque. El sobre dimensionamiento de la cara superior del cárter se puede apreciar en la figura 2.2, la misma que consta de 10 mm de altura.

En cuanto al control dimensional de la fundición de aluminio no hay que preocuparse en este caso, puesto que esta va del 1 al 1.33% de las medidas por lo que supone no causará en este caso mayor problema en cuanto a holguras y tolerancias en el ajuste del cárter.



**Figura 2. 2** Dimensiones y sobredimensionamiento de la cara superior del cárter replicado en mm

El cárter es una pieza que no está sometida a esfuerzos mecánicos de flexión, axiales, cortantes o de torsión, por lo cual no será sometida a un análisis de esfuerzos debido que no son necesarios para su fabricación. (The ASM Committee on Metallography of Aluminum Alloy, 1658)

## 2.2 Diseño de la palanca de freno de mano hidráulico

La razón para la construcción de esta pieza es debido a su exclusividad, la cual es utilizada como accesorio para disminuir el peso y aumentar el desempeño de un automóvil de competencia. Esta clase de accesorios deportivos tienen un alto costo dentro del mercado automotriz, debido a que su fabricación se realiza fuera del país y su tiempo de importación es muy largo.

Mediante la construcción de esta pieza se experimentarán resultados de costo-beneficio de producción y la comprobación de un correcto diseño y construcción de la misma. La palanca es indicada en la figura 2.3.



**Figura 2. 3** Palanca de freno de mano hidráulico

### **2.2.1 Selección de materiales para la construcción de la palanca de freno de mano hidráulico**

Este tipo de piezas al ser parte de un accesorio de vehículos de competencia tienen la función de efectivizar el frenado dentro de una carrera, además de alivianar el peso y hacer más vistoso el interior del auto.

La palanca está sometida a esfuerzos de flexión debido a la fuerza que se le aplica al momento de accionarla la misma que no siempre es constante ya que dentro de la competencia diversos factores hacen que las fuerzas aplicadas varíen de acuerdo a las necesidades del momento en la competencia.

Por esta razón se puede observar que los materiales idóneos a reciclar para la construcción del cárter propuesto se asemejan a la serie 4xxx la misma que cumple con las siguientes características:

- Soldabilidad
- Maquinabilidad
- Alta resistencia a la corrosión
- Buena tenacidad

Dentro del mercado de reciclaje se puede encontrar este tipo de aleaciones en piezas tales como:

- Pistones de automóviles,
- Elementos arquitectónicos como varillajes de aluminio

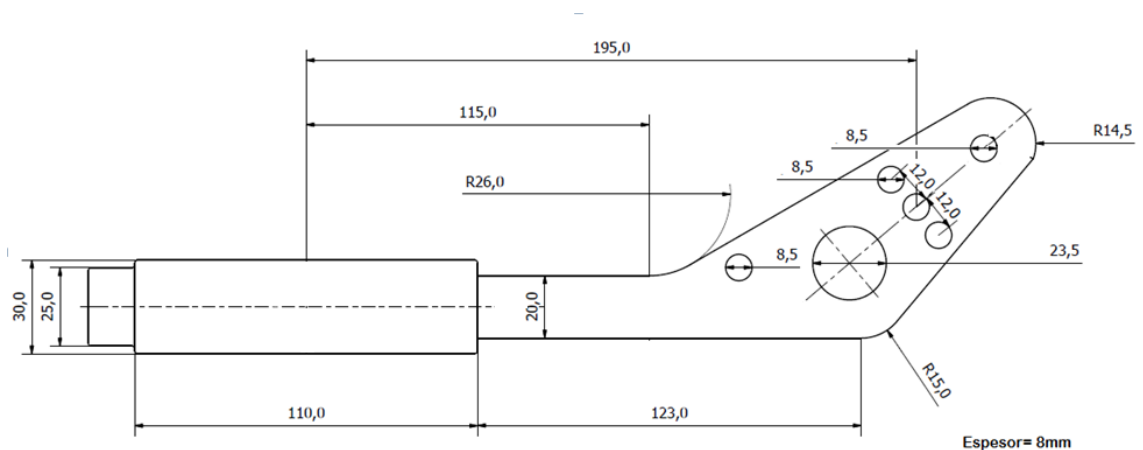
## 2.2.2 Análisis de esfuerzos en la palanca de freno de mano hidráulico

Para este proceso se decidió considerar dos modelos de palancas, ya que una de las propuestas de este trabajo es mejorar las piezas ya existentes, por lo que se diseñó a parte de la palanca original una palanca alterna, la misma que de poseer buenos resultados en los análisis posteriores para ser considerada para su fabricación.

### 2.2.2.1 Análisis teórico de esfuerzos en la palanca 1 (palanca original)

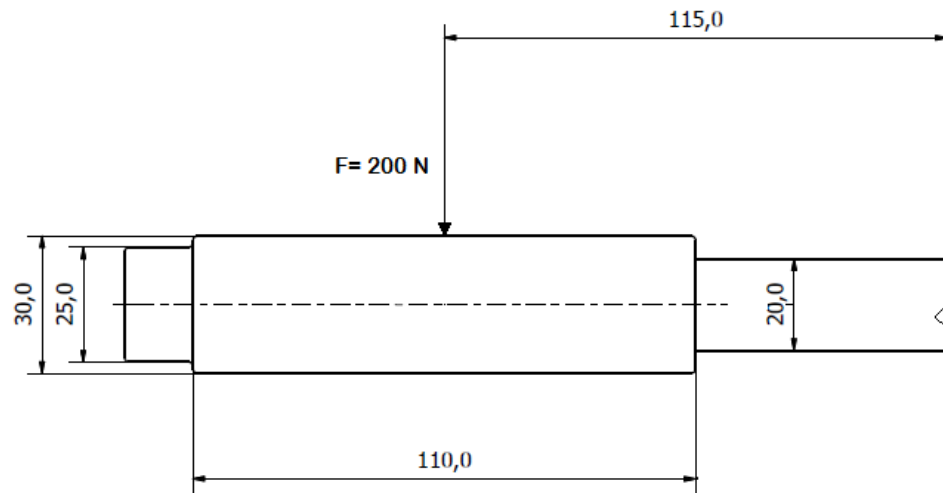
#### Dimensiones

En la figura 2.4 se indican las medidas de la palanca 1, mientras que en la figura 2.5 se muestra la distancia de la carga hacia el punto de análisis.



**Figura 2. 4** Medidas en mm de palanca de freno original





**Figura 2. 5** Distancia en mm de la carga al punto de análisis

### Datos Generales

A continuación se indican los datos que pertenecen al material, espesor de la palanca, carga aplicada al análisis, límite de fluencia y límite de resistencia a la tensión.

**Material:** aluminio aleación A 357 (ASM Casting, 1658)

**Límite de fluencia ( $S_y$ )** = 276 MPa (ASM Casting, 1658)

**Límite de resistencia a la tensión ( $S_{ut}$ )** = 345 MPa (ASM Casting, 1658)

**Espesor de la palanca** = 8mm

**Carga ( $F$ )** = 200 N

### Análisis Estático

El desarrollo del análisis estático está determinado por las siguientes operaciones y factores que se tomaron en cuenta para la realización de las mismas.

1. Cálculo del momento de inercia para una sección rectangular el cual se obtiene con la siguiente fórmula (Fórmula 2-1)

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (2-1) \text{ (Véase Anexo 1)}$$

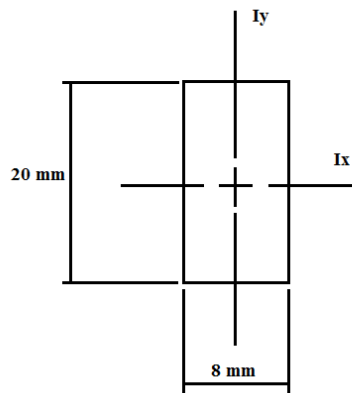
Donde:

$I_x$  = momento de inercia,  $m^4$

$b$  = base de la superficie analizada, m

$h$  = altura de la superficie analizada, m

La figura 2.7 indica la sección del espesor de la palanca con sus medidas respectivas.



$$I_x = \frac{(0.008 \text{ m} * (0.02 \text{ m})^3)}{12}$$

$$I_x = 5.33 * 10^{-9} \text{ m}^4$$

**Figura 2. 6** Sección transversal de la palanca

2. Se analiza el momento flector mediante la fórmula 2-2, donde la carga se encuentra a una distancia de 0.115 m del punto crítico de la palanca.

$$M = F * d \quad (2-2)$$

(Física práctica, <http://www.fisicapractica.com/momento.php> Acceso: 22 marzo 2012)

Donde:

$F$  = Carga, N

$d$  = Distancia de la carga al punto crítico de la palanca, mm

$$M = 200 \text{ N} * 0.0115 \text{ m} = 23 \text{ Nm}$$

3. Cálculo del esfuerzo flexionante para una sección rectangular con la fórmula siguiente.

$$\sigma = \frac{M*c}{Ix} \quad (2-3) \text{ (Budynas, 86)}$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo de flexión, (MPa)

$M$  = Momento generado por la carga, (Nm)

$c$  = Distancia del eje a la fibra más lejana, (m)

$Ix$  = Momento polar de inercia, ( $m^4$ )

$$\sigma = \frac{(23 \text{ Nm}) * 0.01\text{m}}{5.33e^{-9}m^4}$$

$$\sigma = 43.152 \text{ MPa}$$

4. Cálculo del factor de seguridad estático

$$\eta = \frac{Sy}{\sigma} \quad (2-4) \text{ (Budynas, 216)}$$

Donde:

$\eta$  = Factor de seguridad

$Sy$  = Límite de fluencia, (MPa)

$\sigma$  = Esfuerzo de flexión, (MPa)

$$\eta = \frac{276 \text{ MPa}}{43.152 \text{ MPa}} = \mathbf{6.39}$$

### Análisis Dinámico (Fatiga)

Para realizar el siguiente análisis se tiene que tomar en cuenta varios factores como la fluctuación de la carga que va de 0 a 200 N y el número de ciclos de vida.

1. Cálculo del límite de resistencia a la fatiga en probeta  $Se'$ , el mismo que está expresado en la fórmula 2-5.

$$Se' = 0.5 * Sut \quad (2-5) \text{ (Budynas, 274)}$$

$$Se' = 0.5 * 346Mpa$$

$$Se' = 173 MPa$$

2. Determinar los factores que influyen en el cálculo del límite de resistencia a la fatiga en el punto de análisis  $Se$  que se muestra en la fórmula 2-6, para esto hay una serie de ecuaciones que deben ser tomados en cuenta para la determinación de estos factores.

$$Se = ka * kb * kc * kd * ke * kf * Se' \quad (2-6) \text{ (Budynas, 279)}$$

Donde:

$ka$  = factor de modificación de la condición superficial

$kb$  = factor de modificación del tamaño

$kc$  = factor de modificación de la carga

$kd$  = factor de modificación de la temperatura

$ke$  = factor de confiabilidad

$kf$  = factor de confiabilidad de efectos varios

$Se'$  = límite de resistencia a la fatiga en probeta, (MPa)

$Se$  = límite de resistencia a la fatiga en el punto de análisis, (Mpa)

**Factor de superficie  $k$** 

El factor  $ka$  viene dado según el acabado superficial, en este caso fue maquinado. Se calculó según la fórmula 2-7.

$$ka = a * Sut^b \quad (2.7) \text{ (Budynas, 279)}$$

Acabado superficial = *Maquinado*

$$a = 4.51 \text{ MPa} \quad (\text{Véase Anexo 2})$$

$$b = -0.265 \quad (\text{Véase Anexo 2})$$

$$ka = 4.51 \text{ MPa} * 345^{-0.265} \text{ MPa}$$

$$ka = 0.958$$

**Factor de tamaño  $kb$** 

En este factor se calculó el diámetro equivalente. La fórmula 2-8 es la que se utilizó y viene dada de la siguiente manera:

$$kb = \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} \quad (2-8) \text{ (Budynas, 280)}$$

Donde:

$kb$  = Factor de tamaño

$d$  = diámetro equivalente

El diámetro equivalente viene dado por la siguiente fórmula 2-9:

$$de = 0.808 * \sqrt{h * b} \quad (2-9)$$

Donde:

$de$  = Tamaño efectivo de una sección no rotativa (Véase Anexo 3)

$h$  = Espesor de la palanca, mm

$b$  = Ancho de la palanca, mm

$$de = 0.808 * \sqrt{8 \text{ mm} * 20 \text{ mm}}$$

$$de = 10.22 \text{ mm}$$

$$kb = \left(\frac{10.22 \text{ mm}}{7.62}\right)^{-0.107}$$

$$kb = 0.969$$

### **Factor de modificación de la carga $kc$**

La palanca está sometida a flexión debido a ello  $kc$  es igual a 1.

$$kc = 1 \quad (\text{Budynas, 282})$$

### **Factor de temperatura $kd$**

El factor  $kd$  es igual a 1 ya que la palanca estará sometida a una temperatura no mayor de 20 °C por lo tanto:

$$kd = 1 \quad (\text{Véase Anexo 4})$$

### **Factor de confiabilidad $ke$**

La confiabilidad seleccionada para esta palanca fue de 99.99% por lo que  $ke$  es igual al siguiente valor:

$$ke = 0.702 \quad (\text{Véase Anexo 5})$$

### **Factor de efectos varios $kf$**

El factor  $kf$  viene dado por varios factores que influyen a la pieza, los cuales para ésta han sido despreciados puesto que en este caso particular no alteran el medio de trabajo de la palanca ni la carga a la que ésta es sometida. Por lo que  $kf$  es igual a:

$$Kf = 1 \quad (\text{Budynas, 285})$$

3. Se procede a realizar el cálculo del límite de resistencia a la fatiga en el punto de análisis mediante la siguiente operación:

$$S_e = 0.958 * 0.969 * 1 * 1 * 0.702 * 1 * 173 \text{ MPa}$$

$$S_e = 112.73 \text{ MPa}$$

4. Se analiza la fatiga en  $10^6$  ciclos, para lo cual se tiene que hallar las constantes a y b las cuales vienen dadas en las fórmulas 2-10 y 2-11, para lo cual se determina que la constante  $f$  es igual a  $f = 0.9$  ya que  $S_{ut} < 70\text{kpsi}$  (Budynas, 277), por lo que:

$$a = \frac{(f * S_{ut})^2}{S_e} \quad (2-10) \text{ (Budynas, 277)}$$

$$a = \frac{(0.9 * 345 \text{ MPa})^2}{112.73 \text{ MPa}}$$

$$a = 855.23 \text{ Mpa}$$

$$b = - \left[ \log \left( f * \frac{S_{ut}}{S_e} \right) \right] / 3 \quad (2-11) \text{ (Budynas, 277)}$$

$$b = - \left[ \log \left( 0.9 * \frac{345 \text{ MPa}}{112.73 \text{ MPa}} \right) \right] / 3$$

$$b = -0.146$$

Se aplica la fórmula 2-12 para hallar la resistencia a la fatiga:

$$S_f = a * N^b \quad (2-12) \text{ (Budynas, 277)}$$

Donde:

$a$  = constante de falla igual a 855.23 MPa

$b$  = constante de falla igual a  $-0.146$

$N$  = ciclos de vida,  $10^6$  ciclos

$$Sf = 855.23 \text{ Mpa}[(10^6)^{-0.146}]$$

$$Sf = 113.78 \text{ Mpa}$$

5. Se procede a calcular el factor de seguridad con el esfuerzo hallado  $Sf$  de resistencia a la fatiga, mediante la fórmula 2-13.

$$\eta = \frac{Sf}{\sigma} \quad (2-13) \text{ (Budynas, 338)}$$

$$\eta = \frac{113.78 \text{ MPa}}{43.152 \text{ MPa}} = 2.63$$

### Carga simple fluctuante

El siguiente proceso se utiliza para hallar un factor de seguridad el cual ayuda a asegurar el diseño de la palanca a cumplir con las exigencias requeridas en la práctica.

1. Cálculo del componente de esfuerzo medio ( $\sigma_m$ ) mediante la siguiente fórmula.

$$\sigma_m = \frac{(\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{m}n})}{2} \quad (2-14) \text{ (Budynas, 293)}$$

Donde:

$\sigma_m$  = Componente de esfuerzo medio

$\sigma_{m\acute{a}x}$  = Esfuerzo máximo al que la palanca está sometido, *Mpa*

$\sigma_{m\acute{m}n}$  = Esfuerzo mínimo al que la palanca está sometido, *Mpa*

$$\sigma_m = \frac{(43.152 \text{ MPa} + 0)}{2}$$

$$\sigma_m = 21.57 \text{ MPa}$$



2. Hallar el componente de amplitud  $\sigma_a$  con la fórmula 2-15.

$$\sigma_a = \frac{(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})}{2} \quad (2-15) \text{ (Budynas, 293)}$$

$$\sigma_a = \frac{(43.152 \text{ MPa} - 0)}{2}$$

$$\sigma_a = 21.57 \text{ MPa}$$

3. Para terminar con el análisis, se elige la tesis de Soderberg la cual determina un factor de seguridad basado en el límite de resistencia a la fluencia ( $S_y$ ), mediante la fórmula 2-16.

$$\frac{1}{\eta} = \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} \quad (2-16) \text{ (Budynas, 298)}$$

$$\eta = \frac{1}{\frac{21.57 \text{ MPa}}{112.73 \text{ MPa}} + \frac{21.57 \text{ MPa}}{276 \text{ MPa}}} = 3.71$$

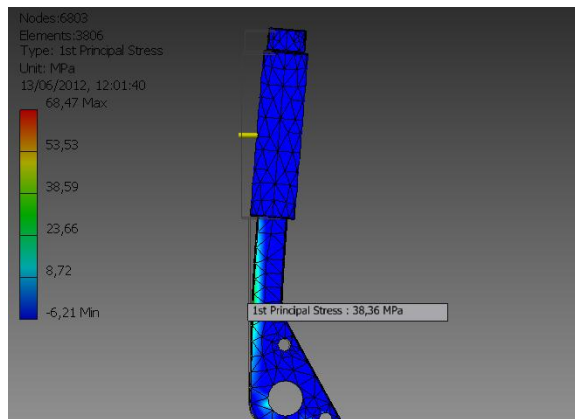
#### **2.2.2.2 Análisis del factor de seguridad por medio de un software de elementos finitos de los esfuerzos en la palanca 1 de freno de mano.**

Se realiza el proceso el cual consiste en dibujar la pieza en el programa Inventor 2012 con las medidas que hacen referencia en la figura 2.4 y un espesor de 8mm. Una vez terminada la palanca, se la someterá a un análisis, en el cual se le aplica una carga de 200N, perpendicular en el mango la misma que se hace referencia en la figura 2.5. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

**Resultados obtenidos**

- Esfuerzo Principal

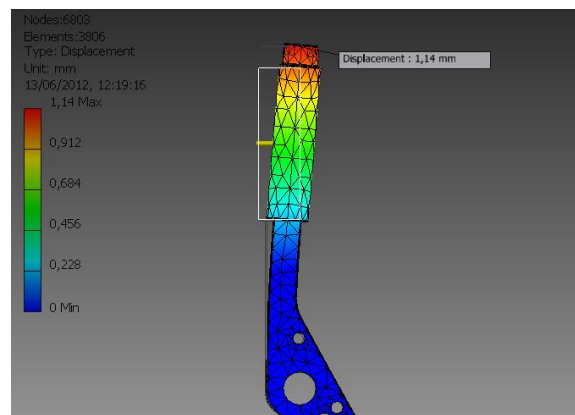
Se obtiene un esfuerzo principal igual a 38.36 MPa, está representado en la figura 2.8.



**Figura 2. 7** Esfuerzo principal, cuyo valor en la zona crítica es igual a 38.36 MPa.

- Desplazamiento

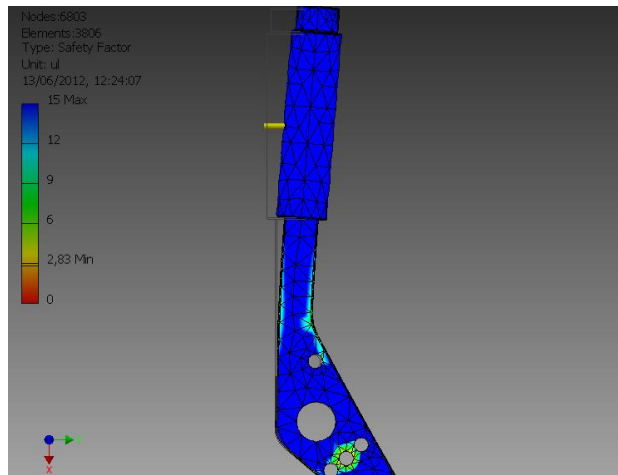
El desplazamiento que se produce en la palanca uno es de 1.14mm como se indica en la figura 2.9.



**Figura 2. 8** Desplazamiento máximo igual a 1.14mm

- Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido es de 2.83, se observa en la figura 2.10.

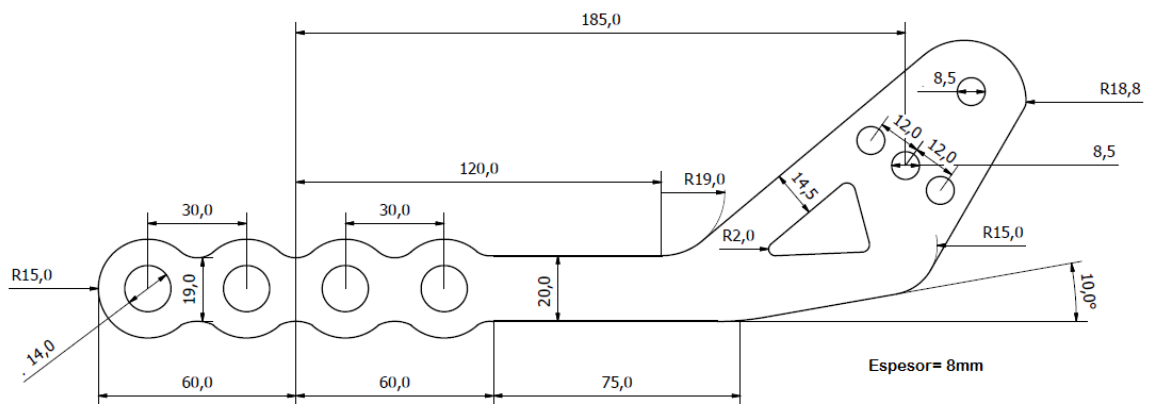


**Figura 2. 9** Factor de seguridad mínimo igual a 2.83

**2.2.2.3 Análisis teórico de esfuerzos en la palanca 2**

**Dimensiones**

En la figura 2.11 se indican las medidas de la palanca 2 mientras que en la figura 2.12 se muestra la distancia de la carga hacia el punto de análisis.



**Figura 2. 10** Medidas en mm de la palanca diseñada por los autores

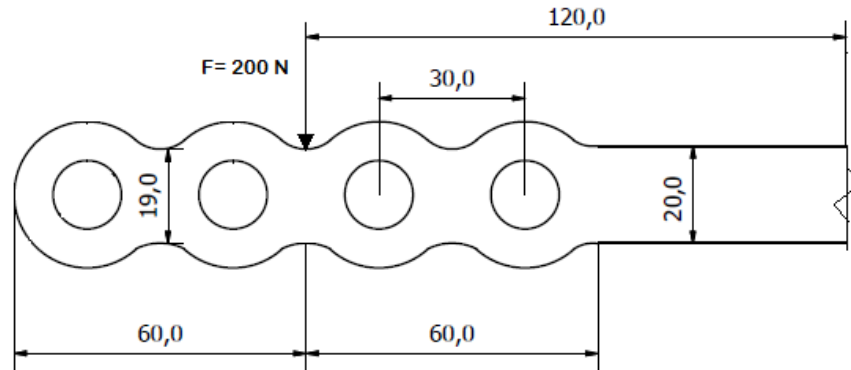


Figura 2. 11 Distancia en mm de la carga al punto de análisis

**Datos Generales**

A continuación se indican los datos que pertenecen al material, espesor de la palanca, carga aplicada al análisis, límite de fluencia y último límite de resistencia.

**Material:** aluminio aleación A 357 (ASM Casting, 1658)

**Límite de fluencia (Sy) = 276 MPa** (ASM Casting, 1658)

**Límite de resistencia a la tensión (Sut) = 345MPa** (ASM Casting, 1658)

**Espesor de la palanca = 8mm**

**Carga (F) = 200 N**

El análisis de esta palanca se lo realiza con el mismo procedimiento de la palanca anterior por lo tanto sus resultados son los que se indican en la tabla 2.1:

Tabla 2. 1 Resultados de los análisis estático y dinámico de la palanca 2

<b>Análisis estático</b>	
<b>Momento de inercia <math>I_x</math></b>	$5.33 * 10^{-9} m^4$
<b>Esfuerzo flexionante <math>\sigma</math></b>	$46.9 MPa$
<b>Factor de seguridad estático <math>\eta</math></b>	5.88

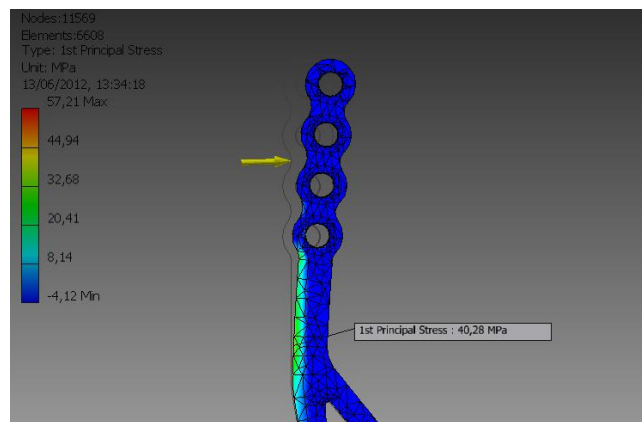
<b>Análisis dinámico</b>	
<b>Límite de resistencia a la fatiga en probeta <math>S_e</math></b>	173MPa
<b>Factor de acabado superficial <math>k_a</math></b>	0.958
<b>Factor de tamaño <math>k_b</math></b>	0.969
<b>Factor de modificación de la carga <math>k_c</math></b>	1
<b>Factor de temperatura <math>k_d</math></b>	1
<b>Factor de confiabilidad <math>k_e</math></b>	0.702
<b>Factor de efectos varios <math>k_f</math></b>	1
<b>Límite de resistencia a la fatiga en el punto de análisis <math>S_e</math></b>	112.73 MPa
<b>Constante <math>f</math></b>	0.9
<b>Constante <math>a</math></b>	855.23 MPa
<b>Constante <math>b</math></b>	-0.146
<b>Resistencia a la fatiga <math>S_f</math></b>	113.78 MPa
<b>Factor de seguridad de resistencia a la fatiga <math>\eta</math></b>	2.42
<b><math>\sigma_m</math></b>	23.45MPa
<b><math>\sigma_a</math></b>	23.45MPa
<b>Factor de seguridad según la tesis de Soderberg <math>\eta</math></b>	3.41

#### 2.2.2.4 Análisis del factor de seguridad por medio de un software de elementos finitos de los esfuerzos en la palanca 2 de freno de mano hidráulico.

Los análisis realizados a la palanca 2 fueron hechos con el mismo software de los análisis de la palanca 1, por lo tanto el procedimiento fue el mismo.

##### - Esfuerzo Principal

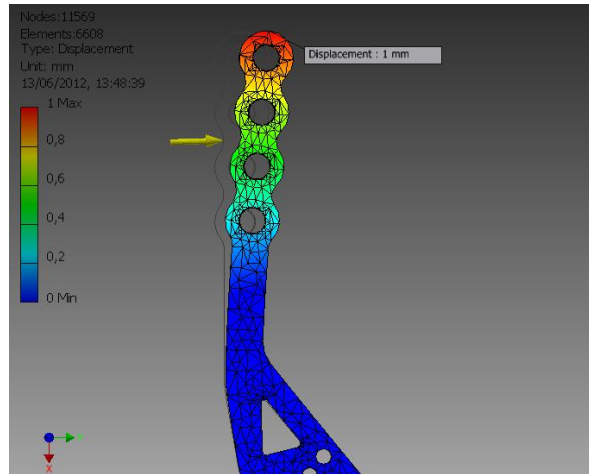
Se obtiene un esfuerzo principal igual a 40.28 MPa, está representado en la figura 2.13.



**Figura 2. 12** Esfuerzo principal, cuyo valor en la zona crítica es igual a 40.28

##### - Desplazamiento

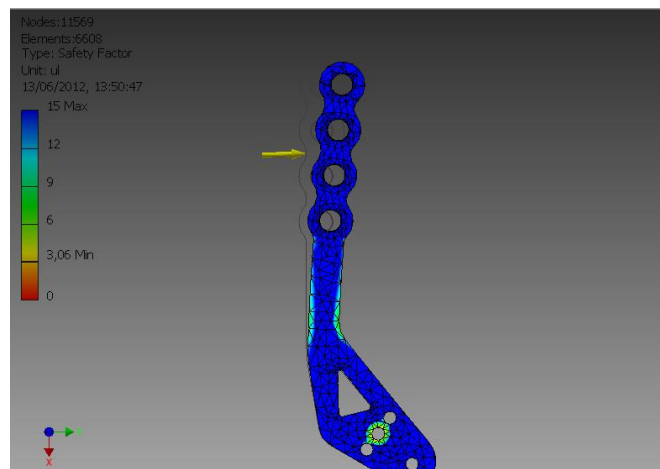
Se puede apreciar que el desplazamiento de la palanca dos es de 1 mm como se indica en la figura 2.14.



**Figura 2. 13** Desplazamiento igual a 1 mm

- Factor de Seguridad

El factor de seguridad que se obtuvo en el programa es de 3.07, se puede observar en la figura 2.15.



**Figura 2. 14** Factor de seguridad mínimo igual a 3.07

**2.3 Análisis de Resultados**

A continuación se muestran los resultados de los dos análisis de las palancas en la tabla 2.2:

**Tabla 2. 2** Resultados de las pruebas de diseño manual y diseño computarizado

<b>Resultados del análisis</b>				
<b>Análisis manual</b>				
	<b>Esfuerzo principal estático, MPa</b>	<b>Factor de seguridad estático</b>	<b>Factor de seguridad de resistencia a la fatiga</b>	<b>Factor de seguridad tesis de (Soderberg)</b>
<b>Palanca 1 (Original)</b>	43.152	6.39	2.63	3.71
<b>Palanca 2 (Diseño de propuesto)</b>	46.9	5.88	2.42	3.41
<b>Análisis en software de elementos finitos</b>				
	<b>Esfuerzo Principal, Mpa</b>	<b>Desplazamiento, mm</b>	<b>Factor de seguridad estático</b>	
<b>Palanca 1 (Original)</b>	38.36	1,14	2.83	
<b>Palanca 2 (Diseño de propuesto)</b>	40.28	1	3,07	

Para su fabricación las piezas han sido analizadas, desde los materiales seleccionados para la elaboración de las mismas que se encuentran en el mercado y según lo investigado, pertenecen a series de aleaciones idóneas para la construcción de las partes automotrices.

El carácter al no estar sometido a esfuerzos que influyan notablemente para su fabricación se considera factible la misma, con el objetivo de que la fundición del modelo y el producto terminado no presente defectos relevantes.



Además de acuerdo a los resultados de los análisis, se llega a la conclusión que las dos palancas cumplen con las normas de factor de seguridad requeridas para un buen desempeño y tienen una buena resistencia a la fatiga.

## CAPÍTULO 3

### CONSTRUCCIÓN DE LAS PIEZAS AUTOMOTRICES

#### 3.1 Método de fundición

En la industria los grupos de métodos de fundición más conocidos son:

- **Fundición por gravedad**

El proceso de fundición por gravedad se realiza en un molde de arena o yeso en los cuales se vierte el contenido del aluminio previamente fundido. Los moldes tienen la geometría de la pieza que se quiere vaciar y una vez que se solidifica el metal, la pieza es extraída. Generalmente para esto hay que destruir el molde para luego mecanizar la pieza. Este método es normalmente elegido para la fundición de piezas de pequeño a gran tamaño, de baja a mediana escala en producción y piezas de fácil moldeo y vaciado. En la figura 3.1 se indica un ejemplo de fundición por gravedad en moldes de yeso.



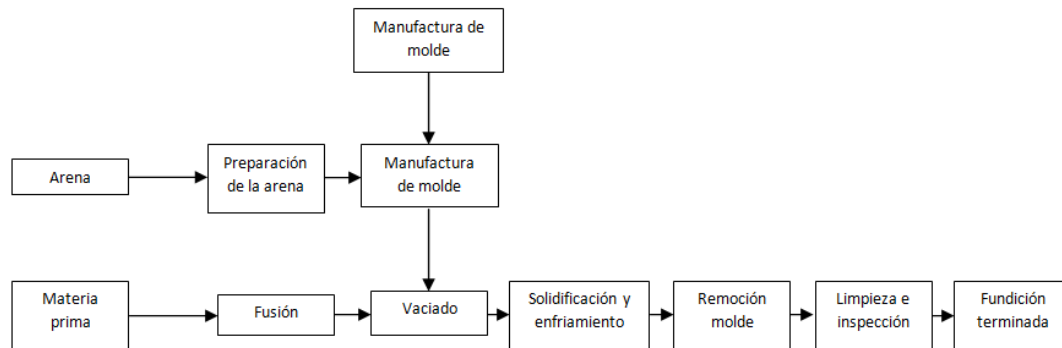
**Figura 3. 1** Fundición por gravedad en moldes de yeso

Fuente: Taller de fundición y galvanoplastia Escuela de Arte La Palma

<http://tallerdefundicionygalvanoplastia.blogspot.com/2011/12/fusion-y-colada-porgravedad.html>,  
acceso 10 de mayo del 2012

## Descripción del proceso

A continuación en la figura 3.2 se detalla el proceso de fundición de aluminio en moldes de arena por gravedad.



**Figura 3. 2** Proceso de fundición de aluminio en moldes de arena por gravedad

Fuente: *Fundición de los metales*, <http://es.scribd.com/doc/18816757/FUNDICION>, acceso 10 de mayo del 2012

## 3.2 Tipos de moldes de fundición

### 3.2.1 Fundición en moldes de arena

La fundición en moldes de arena es el proceso más utilizado en la industria de las fundiciones, por medio de este método su producción representa el mayor porcentaje del total de las fundiciones. Casi todos los tipos de aluminio pueden fundirse en arena; de hecho es uno de los pocos procesos dentro de los cuales se pueden fundir metales con mayor punto de fusión como el acero, el níquel y el titanio, con este, método se pueden fundir piezas pequeñas o muy grandes, a pequeña o gran escala de producción.

En la figura 3.3 se detalla un ejemplo de la fundición en moldes de arena, consiste en vaciar el metal fundido en un molde de arena previamente tratada, para dejar solidificar la pieza y romper el molde posteriormente para removerla. Luego de la extracción de la pieza esta pasa por un proceso de inspección y

mecanizado, generalmente se realiza un tratamiento térmico para mejorar sus propiedades metalúrgicas.



**Figura 3. 3** Fundición en molde de arena

### **Moldes de arena verde**

Estos se hacen de una mezcla de arena, arcilla y agua. El término “verde” se refiere a que el molde contiene humedad al momento del vaciado el mismo que se muestra en la figura 3.4. Estos moldes tienen resistencia suficiente para la mayoría de sus aplicaciones, además buena permeabilidad, retractsibilidad y su arena puede ser reutilizada, también son los menos costosos. Por estas razones son ampliamente usados en la industria, aunque se recalca que la humedad que presentan puede causar defectos en algunas fundiciones.



**Figura 3. 4** Molde de arena verde.

### Fórmulas para mezcla de arenas

En la tabla 3.1 se indica las fórmulas para la mezcla de arenas.

**Tabla 3. 1** Fórmulas de arena sílice.

	Fórmula de arena sílice #1	Fórmula de arena sílice #2	Fórmula de arena sílice #3
Arena sílice o arena de grano fino	95%	93%	87%
Bentonita cálcica	5%	3%	5%
Bentonita sódica	-	2%	-
Carbón de coque	-	2%	2%
Arcilla roja	-	-	6%
Agua (del peso total)	3%	3%	3%

Fuente: CHASTIAN, Stephen, *Metalcasting: A Sand Casting Manual for the Small Foundry volI*, Stephen Chastian, Jacksonville, 2004, pg 41

#### 3.2.2 Fundición en moldes de yeso

Este proceso es algo similar a la fundición en arena, en el cual se mezcla aditivos como la arena de sílice y el talco con el yeso, para controlar la contracción y el tiempo de fraguado, reducir los agrietamientos e incrementar la resistencia del molde. Para fabricar el molde se realiza la mezcla del yeso y agua conjuntamente con los aditivos, para luego vaciar la mezcla en una caja que contiene el modelo de plástico, madera o metal, y se deja fraguar.

La consistencia permite a la mezcla de yeso fluir plenamente alrededor del modelo, capturando los detalles y el acabado de la superficie. Por esta razón las fundiciones hechas en moldes de yeso son notables por su fidelidad al patrón del modelo.

El curado del molde de yeso es una de las desventajas de este proceso puesto que toma mucho tiempo si se trata de altos volúmenes de producción. El objetivo del curado del molde es remover la humedad que existe dentro de éste.

Aún curado el yeso no se desprende de todo el contenido de humedad siendo una desventaja puesto que la resistencia del molde depende de la humedad que se pierde en el proceso de curado.

Los moldes de yeso no pueden soportar temperaturas tan elevadas como los moldes de arena, por ende están limitados a fundiciones de bajo punto de fusión como el aluminio magnesio y algunas aleaciones de cobre. Su campo de aplicación incluye moldes para impulsores de bombas, turbinas y otras partes cuyas formas son muy complejas, se emplean en fundiciones a pequeña y mediana escala como el ejemplo que se muestra en la figura 3.5.



**Figura 3. 5** Moldes de yeso (3D Systems <http://www.zcorp.com/es/Solutions/Castings--Patterns--Molds/spage.aspx>, Acceso: 23 de marzo 2012)

**Fórmulas para mezcla de yeso**

En la tabla 3.2 se indica las fórmulas para la mezcla de yeso y sílice.

**Tabla 3. 2** Fórmulas yeso y sílice

	<b>Fórmula de yeso y sílice #1</b>	<b>Fórmula de yeso y sílice #2</b>
Yeso fino	50%	60%
Arena sílice	40%	35%

Talco	5%	5%
Caolín	5%	-
Agua (del peso total)	30%	30%

### 3.2.3 Ventajas y desventajas de los tipos de moldes

En la tabla 3.3 se indican las ventajas y desventajas de los tipos de moldes utilizados:

**Tabla 3. 3** Ventajas y desventajas de los tipos de moldes

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Moldes de arena</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se puede colar prácticamente cualquier metal; no hay límite de tamaño forma y peso.</li> <li>• Bajo costo de producción.</li> <li>• Producción a pequeña y gran escala.</li> <li>• La arena como materia prima es reutilizable.</li> <li>• Buena permeabilidad de los gases.</li> <li>• Alta capacidad para disipar la energía térmica del metal líquido favoreciendo la correcta solidificación de las piezas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere un mecanizado superficial posterior.</li> <li>• Las tolerancias son amplias.</li> <li>• Porosidad en acabado superficial.</li> <li>• No se pueden fundir piezas muy complejas.</li> <li>• Se requiere de núcleos dentro del molde.</li> </ul>

<p><b>Moldes de yeso</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las tolerancias son bajas.</li> <li>• Se puede utilizar para realizar piezas de compleja construcción.</li> <li>• Presenta un mejor acabado superficial.</li> <li>• Se puede utilizar para producción en pequeña.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La materia prima no es reutilizable</li> <li>• El molde presenta humedad por lo que tiene que ser sometido a un proceso de curado del molde.</li> <li>• Baja permeabilidad de gases.</li> <li>• Proclive a fracturas.</li> <li>• Solo puede ser utilizada para metales con punto de fusión bajo.</li> </ul>
------------------------------	---	--

### 3.3 Fundición del Cáster

#### 3.3.1 Selección de tipo de molde.

Para esta pieza se seleccionó el proceso de fundición por molde de arena, debido a que es de mediano tamaño y de fácil moldeo por lo cual mediante el molde de arena se simplifica su construcción.

#### 3.3.2 Proceso de fabricación

##### Moldeo de pieza:

##### Fórmula de arena sílice (véase fórmula # 1 de tabla 3.1)

##### Materiales:

- Modelo (Cáster Luv 2.2)
- Caja metálica
- Varillas de acero



- Electrodo Ag6011

#### **Herramientas:**

- Horno de fundición
- Soldadora de arco eléctrico
- Compactadora neumática
- Cuchara y regleta
- Compactadora manual
- Crisol de Grafito
- Garras de sujeción
- Puente grúa

#### **3.3.2.1 Preparación del modelo**

1. Como primer paso se procede al tamizado de la arena indicado en la figura 3.6 y 3.7 la misma que se encontraba almacenada. Luego de esto se toma la bentonita cálcica para mezclarla con la arena de grano fino ya tamizada indicadas en las figuras 3.8 y 3.9. De acuerdo al volumen de mezcla de arena se añade agua, como lo indica la formulación. Se pretende lograr una mezcla homogénea para que la arena pueda ser compactada y tome la forma del modelo.



**Figura 3. 6** Tamizado de la arena.



**Figura 3. 7** Arena tamizada



**Figura 3. 8** Bentonita.



**Figura 3. 9** Mezclado de la arena, bentonita y agua.

2. A continuación se coloca el cárter original (fig. 3.10) boca abajo dentro de una caja de acero (fig. 3.11) y sobre una superficie plana lo cual permite la compactación de la arena para que ésta tome la forma del modelo. Luego se colocan las capas de arena, cada una compactada a determinado nivel de altura para lograr la compactación del molde de la pieza como se muestra en las figuras 3.12. y 3.13.

Para concluir con la primera parte del modelado con una cuchara y una regleta se da los acabados y detalles del molde para que éste fuese lo más semejante al original (fig. 3.14)



**Figura 3. 10** Modelo cárter original



**Figura 3. 11** Preparación de molde



**Figura 3. 12** Compactado de arena



**Figura 3. 13** Parte inferior del molde.



**Figura 3. 14** Proceso de detallado del molde

3. Una vez terminada la primera etapa, se procede al modelado de la parte superior del cárter. Para esto se espolvorea arena sílice sobre la superficie de la primera cara para evitar que se pegue con la segunda al momento de la separación. Además dentro del cárter se pone grafito mezclado con diesel formando una capa anti adherente, la misma que permite un correcto modelado sin que se adhiera la arena a la pieza tal como se indica en la figura 3.15.

Luego se coloca una caja de hierro sobre la primera cara del molde, a la que previamente deben haber sido soldadas varillas de acero con forma de ganchos (fig. 3.16), los cuales tienen la función de retener la arena que se introduce en el cárter para que ésta no se desmorone al momento de la extracción de la pieza.

Posteriormente se colocan tubos de acero, con la finalidad de hacer los conductos de vaciado, siendo el conducto de alimentación el más grande para verter el metal y los conductos de escape pequeños para la eliminación de gases, apreciados en la figura 3.17. Nuevamente se procede a colocar la mezcla de arena y se compacta de la misma manera como en la primera etapa (fig. 3.18).



**Figura 3.15** Espolvoreo de sílice.



**Figura 3.16** Colocación de varillas.



**Figura 3.17** Colocación conductos de vaciado.



**Figura 3.18** Compactación de arena.

4. En esta etapa se realiza la extracción del molde, separando las dos caras con la ayuda de un puente grúa y un martillo para la liberación de la pieza como se indica en la figura 3.19 y 3.20.

Posteriormente se extrae el modelo y con la ayuda de una cuchara y una regleta se dan los acabados finales al molde (figuras 3.21 y 3.22).



**Figura 3. 15** Separación del molde



**Figura 3. 16** Retirado del cárter



**Figura 3. 17** Terminado tapa superior.



**Figura 3. 18** Terminado tapa inferior

### 3.3.2.2 Fundición del Material y Colado de la Pieza

Dentro del horno se coloca el crisol y el material a fundir (fig. 3.23). Como aislante en la parte superior se colocan planchas gruesas de hierro con una mezcla de arena y agua para evitar en lo posible la pérdida de calor, esto se muestra en las figuras 3.24 y 3.25.

Luego de tres horas aproximadamente se observa que el material pasa de estado sólido a líquido en su totalidad (fig.3.26). En este estado se retira la escoria que se encontraba en la superficie del metal líquido.

Una vez que el metal alcanza una temperatura ideal entre 750 a 800 °C aproximadamente, se procede a la extracción del crisol y al colado de la pieza (figuras 3.27 y 3.28).



**Figura 3. 19** Colocado de materiales en el crisol.



**Figura 3. 20** Aislamiento del horno



**Figura 3. 21** Horno encendido



**Figura 3. 22** Aluminio fundido.



**Figura 3. 23** Retirado del crisol.



**Figura 3. 24** Vaciado del metal fundido en el molde.

### **Pieza Colada**

Después de todos los procesos el resultado final de la fundición se indica en las figuras 3.29, 3.30 y 3.31.



**Figura 3. 25** Vista superior del cárter.



**Figura 3. 26** Vista interna del cárter.



**Figura 3. 27** Vista lateral del cárter

### 3.3.3.3 Maquinado del cárter.

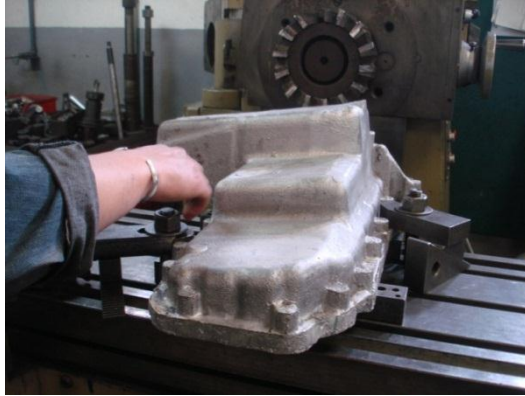
1. Por medio de una lima se busca llegar a la planicidad adecuada y posteriormente cepillar la cara superior (fig. 3.32) para que al momento de sujetar el cárter al bloque, no existan fugas.



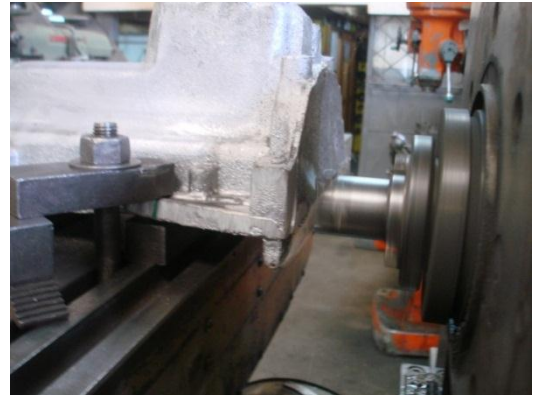
**Figura 3. 28** Nivelado de la superficie



2. Se sujeta el cárter a la mesa del torno tal como se indica en la figura 3.34, para realizar la rectificación de la cara posterior, que va ubicada por delante del volante motor (fig.3.33).



**Figura 3.33** Sujeción del cárter en el torno



**Figura 3.294** Rectificado posterior

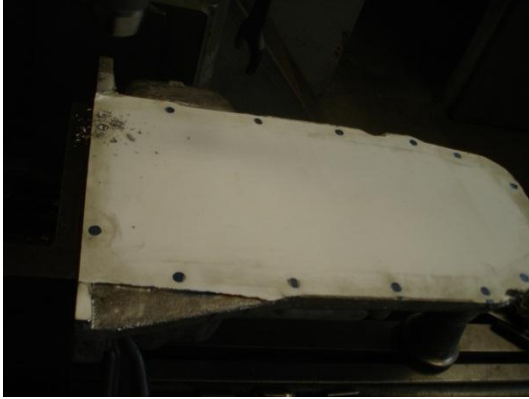
3. Se miden las distancias de los orificios del cárter original como se muestra en las figuras 3.35 y 3.36, para luego dibujar una plantilla y colocarla sobre el cárter construido (fig. 3.37), de esta manera se disminuye el error al momento de perforar los orificios de sujeción, operación que se puede apreciar en la figura 3.38.



**Figura 3.35** Centrado de los agujeros



**Figura 3.36** Distancia entre agujeros



**Figura 3. 30** Plantilla para los agujeros los agujeros



**Figura 3. 31** Taladrado de agujeros en la superficie de asiento

4. Se perforan los orificios de la parte posterior para luego sacar rosca (fig.3.39), además de haber fresado y taladrado del orificio del tapón de aceite (fig. 3.40), terminando así el maquinado del cárter.



**Figura 3. 32** Roscado de orificios, parte posterior.



**Figura 3. 33** Fresado y taladrado del tapón del aceite.

### **3.4 Palanca de freno de mando hidráulico**

#### **Selección de tipo de molde:**

Para esta pieza se utiliza el proceso de fundición por molde de yeso debido a que la pieza es de pequeño tamaño, de fácil moldeo y se necesita un mejor acabado superficial, por lo cual mediante el molde de yeso facilita su construcción.

#### **3.4.1 Proceso de fabricación**

##### **Moldeo de pieza**

##### **Fórmula de yeso sílice (véase fórmula #1 de la tabla 3.2)**

##### **Materiales:**

- Modelo (Palanca de freno de mando hidráulico)
- Caja de madera
- Tornillos triple pato
- Bandejas plásticas
- Antiadherente

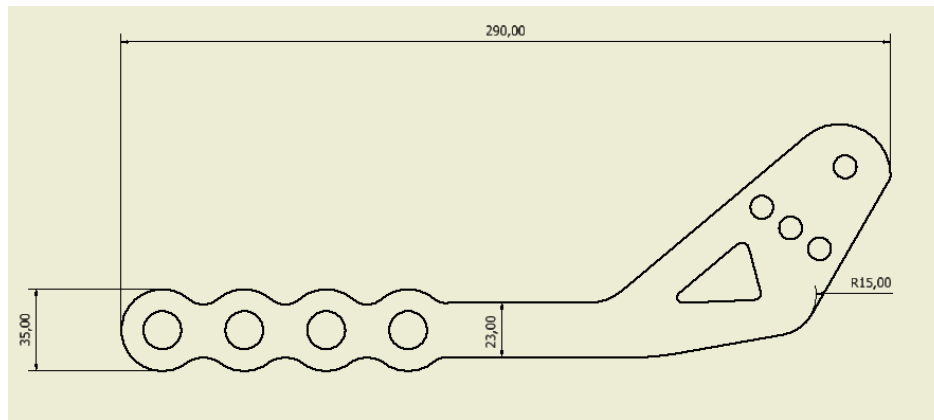
##### **Herramientas:**

- Horno de fundición
- Destornillador estrella
- Balanza
- Regleta
- Crisol de grafito

##### **3.4.1.1 Sobre dimensionamiento de medidas de la palanca elegida**

Debido a la necesidad de un maquinado posterior se sobredimensiona la palanca alrededor del 15% en relación a sus medidas originales. A pesar de que esta pieza será fundida en un molde de yeso cuyas características se sabe que mantiene una buena precisión de las holguras de la pieza, no se puede cometer el error de despreciar la

posibilidad de una fundición poco exacta. En la figura 3.41 se indica la palanca 2 con las medidas sobre dimensionadas.



**Figura 3. 34** Dibujo de la palanca con las medidas sobre dimensionadas en mm

#### 3.4.1.2 Preparación del modelo

El modelo fue dibujado en un software de elementos finitos, para esto también se toma en cuenta el sobre dimensionamiento del mismo, ya que al momento de la fundición el metal cuando está caliente se expande y luego al enfriarse se contrae. El modelo en madera se enseña en la figura 3.42. El espesor del modelo fue igual a 12 mm.



**Figura 3. 35** Palanca modelo construida en madera

### 3.4.1.3 Preparación de la mezcla de yeso

Como primer paso en la preparación de la mezcla se seleccionan los materiales de la fórmula # 1 de yeso sílice (Tabla 3.2), los cuales deben ser pesados en la balanza en relación a los porcentajes de la fórmula. El peso total de la mezcla de yeso sílice es de 8 kilos. A esto se le agrega agua y se procede a mezclar los materiales hasta llegar a una homogeneidad de la fórmula como se indica en la figura 3.43.



**Figura 3. 43** Agua añadida a la mezcla

### 3.4.1.4 Moldeado

1. Se procede al armado de la caja de madera (fig. 3.44) cubierta por un antiadherente para evitar que el yeso se pegue a las paredes y a la base de la caja, y en esta se vacía la mezcla de yeso hasta mitad de la altura de la caja. Luego de que se nivelara la mezcla líquida se asienta el modelo, previamente bañado en antiadherente, hasta la mitad del mismo. Posteriormente se deja fraguar el molde (fig. 3.45).



**Figura 3. 44** Caja para el vaciado de del molde



**Figura 3. 45** Vaciado de la tapa inferior del modelo

2. Después de que se fragua la primera cara del molde, se pone antiadherente en la superficie de esta, para luego proceder al vaciado de la cara superior del molde. Además se colocan tubos para realizar los canales de vaciado y escape de gases (fig. 3.46) Una vez empezado a fraguar el yeso, se agranda la entrada para el colado. Luego de eso se desarma la caja y se limpia el molde (fig. 3.47)



**Figura 3. 46** Colocación de tubos para los orificios de colado



**Figura 3. 47** Limpieza de molde.

3. Cuando el molde se fragua por completo se procede al secado del mismo, operación que se indica en las figuras 3.48 y 3.49 realizada en un horno de cocina convencional, pero con temperatura controlada. La temperatura es de 150 °C durante 2 horas.



**Figura 3. 48** Programación de temperatura y tiempo de secado del molde



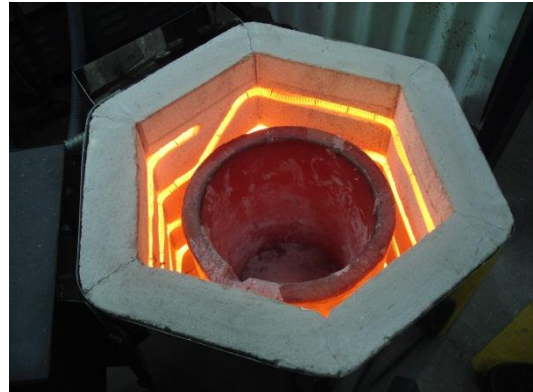
**Figura 3. 49** Molde dentro del horno durante el proceso de secado

### 3.4.2 Fundición del material y colado de la palanca.

1. Lo primero en realizar es el precalentamiento del molde, ya que así, se evita el choque térmico del metal al momento que éste entra en contacto con el molde durante el vaciado. Esta operación se lleva a cabo por dos horas a una temperatura de  $275^{\circ}\text{C}$  (fig. 3.52). También se selecciona el material a fundir reciclando pistones y perfiles arquitectónicos y se los coloca en el crisol (fig. 3.50). Como se indica en la figura 3.51 se procede a fundir el metal a una temperatura de  $750^{\circ}\text{C}$ , la misma que alcanza el punto adecuado de fusión en un tiempo de una hora y veinte minutos.



**Figura 3. 50** Materiales seleccionados para la fundición.



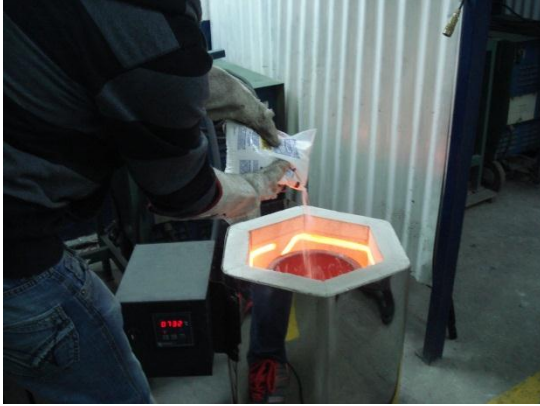
**Figura 3. 36** Metal fundido a 750 °C



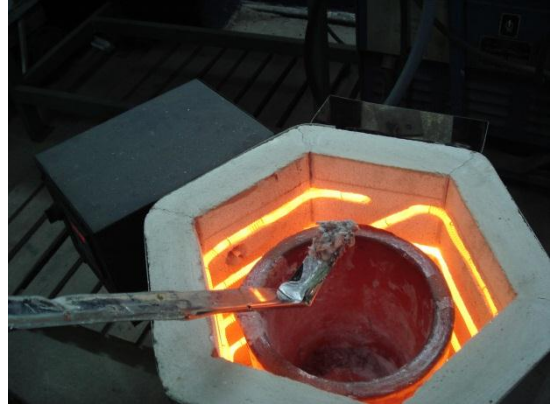
**Figura 3. 52** Pre calentamiento del molde

2. Luego de alcanzar la fusión del metal, se vierte 500 g de cloruro de sodio dentro del crisol como se aprecia en la figura 3.53 ya que ayuda al metal fundido a absorber la escoria que este posee en su superficie para luego ser retirada manualmente mediante una paleta (fig. 3.54). Con esta operación se logra obtener un metal mas limpio lo cual mejora la calidad de la fundición.





**Figura 3. 53** Colocado de sal en la superficie del metal fundido.



**Figura 3. 54** Limpieza de la escoria superficial del metal fundido

3. Después de retirar la escoria de la superficie del metal fundido y haber alcanzado una correcta temperatura, se procede a retirar el molde previamente calentado del horno y se asienta en el piso. Además se coloca encima unos pesos para que el molde al momento del colado no se abra, puesto que los vapores del metal fundido son muy fuertes y podrían causar una fundición defectuosa. Una vez listo todo lo necesario se procede al vaciado del metal dentro del molde apreciado en la figura 3.55.



**Figura 3. 55** Vaciado del metal en el molde

### **Pieza colada**

En la figura 3.56 se indica la palanca luego de haber terminado el vaciado y de esperar unos minutos.



**Figura 3.56** Palanca luego de ser vaciada

### 3.4.3 Maquinado de la palanca

1. Luego de obtener la pieza fundida, se procede a cortar los canales del vaciado (fig. 3.57) y a limar los bordes y las asperezas que se producen en el momento del vaciado del metal (fig. 3.58).



**Figura 3.57** Corte de los conductos de vaciado



**Figura 3.58** Limado de bordes y asperezas

2. Se toman las medidas del diseño previamente analizado y mediante fresado se deja la superficie lisa y con las medidas del diseño. Además se taladran los agujeros en el mango de la palanca y en la base indicado en las figuras 3.59 y 3.60, los mismos que cumplen la función de quitar peso y calibrar la palanca para sujetarla a la base metálica.



**Figura 3. 59** Taladrado de agujeros del mango.



**Figura 3. 60** Taladrado de agujeros de calibración y sujeción

3. Una vez terminadas las operaciones de fresado y taladrado, se procede a pulir la pieza. Después del tratamiento térmico se pinta la palanca terminada (fig. 3.61) con polvo electrostático.



**Figura 3. 61** Pieza terminada.

## CAPÍTULO 4

### SELECCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y PRUEBAS

#### 4.1 Tipos de tratamientos térmicos del aluminio

Según azom.com existen los siguientes tipos de tratamientos térmicos del aluminio.

##### **Tratamiento térmico por solución**

Ese tipo de proceso es aplicado a aquellas aleaciones de aluminio que son tratables térmicamente, el mismo que consiste en llevar los constituyentes aleantes a la temperatura de solución la cual oscila entre los 460 a 570 °C para luego retener su estructura mediante un templado rápido. Subsecuentemente se realiza un tratamiento térmico de envejecimiento artificial o envejecimiento natural a temperatura ambiente lo cual permite una precipitación controlada de los constituyentes, dándose así un incremento de la dureza y tenacidad del material.

El tiempo que se realiza el tratamiento de solución depende del tipo de aleación y la cantidad de carga en el horno. Se debe dejar el tiempo suficiente para que las aleaciones lleguen al estado óptimo de solución para obtener las propiedades requeridas. El tiempo de mantención para el tratamiento oscila entre 2 a 12 horas.

La temperatura de solución del tratamiento es crítica para el éxito en este proceso, el objetivo es llevar la temperatura lo más cerca posible a la temperatura de estado líquido para obtener la máxima solución de los constituyentes. El rango de temperatura debe oscilar entre  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  para la mayoría de aleaciones. Se debe evitar el sobrecalentamiento ya que en etapas posteriores se detectaría una temprana deterioración de las propiedades mecánicas. El tratamiento de solución se representa con la letra **W**.

## **Templado**

Esta es una operación crítica y debe ser llevada a cabo con precisión para obtener buen resultado. El objetivo del templado es asegurar los constituyentes disueltos en el proceso de solución llegando a temperatura ambiente para así asegurar la estructura obtenida.

La velocidad del templado es importante y el resultado puede ser afectado por el retraso excesivo en la operación de templado. El proceso de templado debe variar entre 5 a 15 segundos dependiendo de los cambios de sección de la pieza y su grosor el mismo que debe variar entre los 0.4mm a los 12.7mm. Generalmente una precipitación rápida de los constituyentes empieza alrededor de los 450 °C por lo que el templado debe llegar a temperaturas menores. Partes con formas complejas como piezas forjadas, fundidas, de extrusión y componentes producidos desde una lámina de metal deben ser templados paulatinamente para evitar la distorsión de las características. Usualmente para un proceso de templado lento se puede usar agua a temperatura entre 65 a 80 °C agua hirviendo o aire a presión. Se representa con la letra **T**.

## **Recocido**

El recocido es aplicado para obtener un ablandamiento de la pieza completo o parcial. Los tratamientos de recocido son los únicos tratamientos que se pueden usar para una aleación que no es tratable térmicamente, siendo la única excepción la serie 5XXX ya que a veces se le da un tratamiento de estabilización a baja temperatura la misma que es realizada por su fabricante.

La temperatura del tratamiento de recocido oscila entre 300 a 410<sup>0</sup>C dependiendo de la aleación. El tiempo del tratamiento va desde 0.5 hasta 3 horas dependiendo del tamaño de la pieza, del horno y del tipo de aleación. La temperatura de enfriamiento después del recocido no es crítica por lo cual se puede enfriar en el horno a temperatura ambiente.

Las piezas que han sido sometidas a tratamiento térmico de solución a una temperatura de enfriamiento de 20g/h deben ser mantenidas hasta que la temperatura se reduzca a

290<sup>0</sup>C. Debajo de esta temperatura el rango de enfriamiento no es importante. Este tipo de tratamientos es designado por la letra **O**.

### **Envejecido**

Después del tratamiento de solución y templeado se logra un endurecimiento el cual puede ser a temperatura ambiente (envejecimiento natural) o por tratamiento de precipitación (envejecimiento artificial). En algunas aleaciones una suficiente precipitación ocurre en pocos días a temperatura ambiente obteniendo productos estables con propiedades adecuadas para algunas aplicaciones. Estas aleaciones a veces son sometidas a tratamiento de envejecimiento artificial para incrementar la dureza y tenacidad en aleaciones forjadas y aleaciones fundidas. Otras aleaciones con baja reacción de precipitación a temperatura ambiente son siempre sometidas al tratamiento térmico de envejecimiento artificial antes de ser usadas en la práctica.

En algunas aleaciones como las de la serie 2XXX a pesar de ser trabajadas en frío reaccionan bien a un envejecimiento natural produciéndose un aumento en sus propiedades mecánicas.

En algunas aleaciones como la 2XXX un envejecimiento natural se lleva a cabo en 5 días pero otras aleaciones se demoran más de treinta días. Las series de aleaciones 6XXX y 7XXX son considerablemente menos estables a temperatura ambiente y con el tiempo continúan mostrando cambios en sus propiedades mecánicas. Con algunas aleaciones el envejecimiento natural debe ser remplazado o retrasado por algunos días en refrigeración a -18<sup>0</sup>C o temperaturas menores.

El tratamiento por envejecimiento artificial o precipitación es un proceso largo de mantención a baja temperatura. El rango de temperatura está entre 115 a 220<sup>0</sup>C por un tiempo que oscila entre 3 a 48 horas. El rango de mantención de temperatura no debe variar entre  $\pm 7$ C.

El cambio, en los parámetros de tiempo y temperatura en el tratamiento de envejecimiento debe ser considerado cuidadosamente, ya que por el hecho de mejorar una propiedad como la fuerza de tensión puede comprometer otras propiedades como la

resistencia a la corrosión. Consecuentemente los ciclos usados representan un compromiso, el mismo que debe ser considerado para lograr la mejor combinación en las propiedades deseadas.

**4.2 Aplicación de tratamientos térmicos**

- **Cárter: Tratamiento Térmico T1 (Envejecido artificial).**

Se reciclaron piezas que se encuentran en la serie 3xxx de las aleaciones de aluminio, para la construcción del cárter. Se fundieron piezas misceláneas como estructuras de ventanas, utensilios de cocina, latas de aluminio y cárteres viejos las mismas que están calificadas dentro de esta serie y que constan con muy buenas propiedades mecánicas y anticorrosivas. Para esta pieza se seleccionó el tratamiento térmico T1 el mismo que consiste en las siguientes etapas mostradas en la tabla 4.2:

**Tabla 4. 1** Tabla del tratamiento térmico realizado al cárter

Tipo de aleación	Tipo de tratamiento	Tipo de fundición	Tratamiento térmico por solución		Tratamiento de envejecimiento artificial	
			Temperatura, C	Tiempo, h	Temperatura C	Tiempo, h
Serie 3xxx	T1	Molde de arena	-----	-----	205(±5)	8

Fuente: ARAI Thoru, et al, *ASM Handbook Heat Treating vol. 4*, ASM International, 1991, pg 1881

**Descripción de proceso**

Una vez maquinado el cárter se procede a realizar el tratamiento de envejecido, el cual consiste en ingresar a la pieza dentro de un horno y elevar su temperatura hasta los grados programados en la tabla anterior y mantenerlo durante 8 horas. Lo que se pretende lograr con este tratamiento térmico, es que mediante la elevación de temperatura de la pieza a 205°C la estructura molecular del material de la misma,

empiece a reducir los espacios entre moléculas, para lograr una mejora en la dureza de la pieza.

A continuación se aprecia en la figura 4.1 al cárter y la probeta antes de ser sometidos al tratamiento de envejecido y en la figura 4.2 se indica al cárter y la probeta dentro del horno de tratamientos térmicos.



**Figura 4.1** Cárter y probeta listos, antes del tratamiento de envejecido



**Figura 4.2** Cárter dentro del horno de tratamientos térmicos previo al tratamiento.

Luego de programar en el horno la temperatura del tratamiento y el tiempo de duración del mismo (fig. 4.3), se deja la pieza dentro del horno hasta el fin del proceso. Además en la figura 4.4 se muestra como se enfría la pieza dentro de la cámara del horno aumentando el tiempo del precipitado molecular.



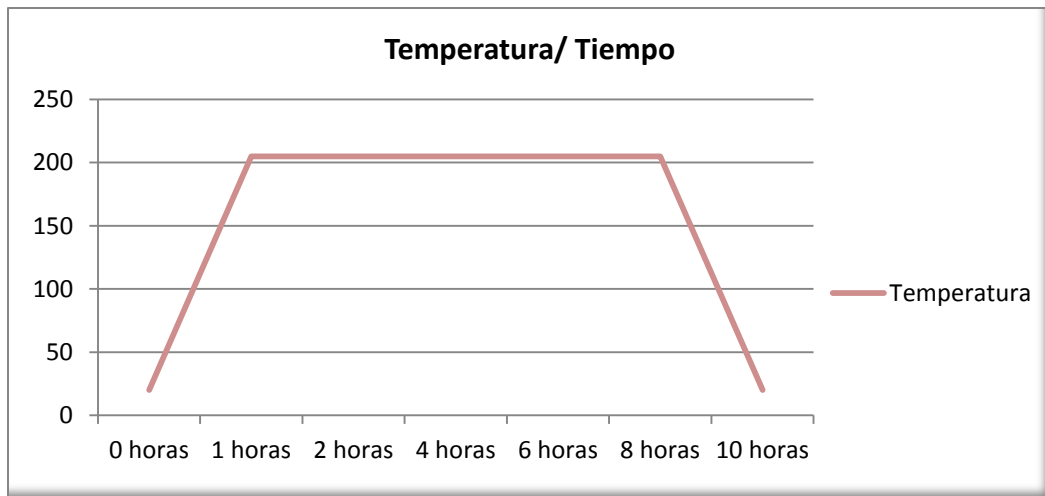


**Figura 4. 2** Programación de la temperatura: 205 °C y tiempo del tratamiento térmico: 8 horas



**Figura 4. 3** Cáster y probeta listos, después de 8 horas de duración del tratamiento de envejecido.

A continuación se indica en la figura 4.5 el gráfico del tratamiento de envejecimiento artificial al que es sometido el cárter, siendo la meseta el tiempo al que estuvo sometido el cárter a 205 °C.



**Figura 4. 4** Gráfico de temperatura / tiempo del tratamiento térmico de envejecido realizado al cárter.

▪ **Palanca de freno de mano hidráulico: Tratamiento Térmico T6 (Solución, templado y envejecido artificial).**

Para la construcción de esta pieza se fundieron pistones que por su conocida composición de silicio y aluminio se adjudicó que pertenecen a la serie 4xxx debido a sus altas propiedades mecánicas de dureza, tenacidad y bajo grado de expansión térmico, las mismas que mejoran cuando esta serie es sometida a un tratamiento térmico. Para esta pieza hemos seleccionado el tratamiento térmico T6 el mismo que consiste en las siguientes etapas mostradas en la tabla 4.3:

**Tabla 4. 2** Tabla del tratamiento térmico realizado a la palanca.

Tipo de aleación	Tipo de tratamiento	Tipo de fundición	Tratamiento térmico por solución		Tratamiento de envejecimiento artificial	
			Temperatura, C	Tiempo, h	Temperatura, C	Tiempo, h
Serie 4xxx	T6	Molde de yeso	460 ( $\pm 5$ C)	2	170( $\pm 5$ )	3

Fuente: ARAI Thoru, et al, *ASM Handbook Heat Treating vol. 4*, ASM International, 1991, pg 1881

### Descripción del proceso

Luego de haber terminado el maquinado de la palanca se procede a realizar la primera etapa del tratamiento térmico, la misma que consta de un tratamiento de solución. Este tratamiento consiste en calentar la pieza dentro del horno de tratamientos térmicos (4.7) a una temperatura de 460 °C la cual se muestra en la figura 4.6 y mantenerla en esta temperatura por dos horas. En esta fase las moléculas del metal se expanden y se acomodan de forma que no exista mayores esfuerzos de tensión entre éstas.

Después de que la pieza ya cumplió el tiempo de dos horas a la temperatura programada, ésta se retira del horno para realizarle un templado, el mismo que se lo hace en agua a temperatura ambiente tal como se señala en la figura 4.8.



**Figura 4. 5** Programación del horno a 460 °C de temperatura.



**Figura 4. 6** Palanca y probeta dentro del horno para tratamiento de solución



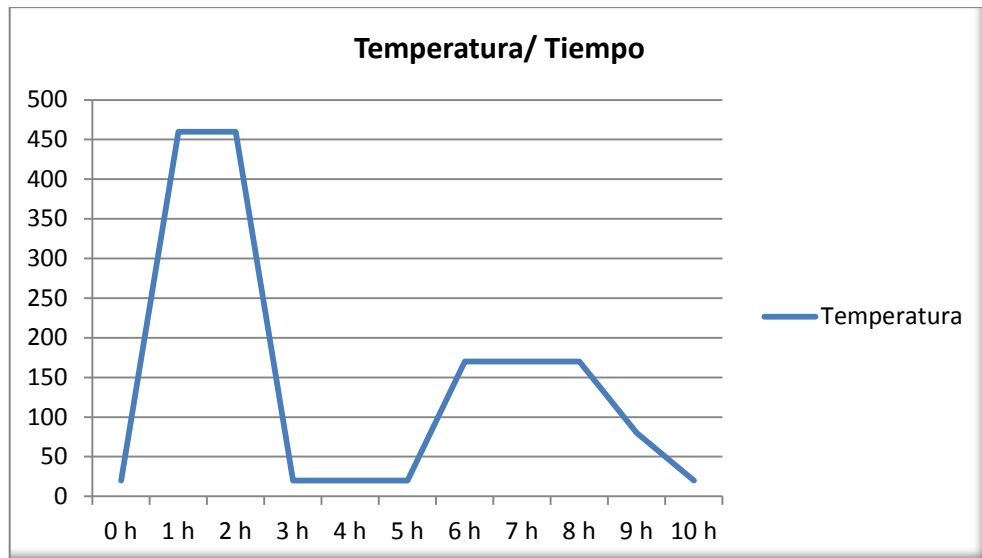
**Figura 4. 7** Templado de la palanca en agua.

Cuando la pieza es templada y el horno haya bajado su temperatura durante dos horas, el controlador del horno debe ser reprogramado para calentar la pieza a una temperatura igual a 170 °C como se indica en la figura 4.9. En esta etapa la pieza es sometida a un envejecido artificial por tres horas. Luego de cumplir con el tiempo programado se deja enfriar la pieza dentro de la cámara del horno.



**Figura 4. 8** Controlador del horno a 170 °C de temperatura al momento del envejecido artificial de la palanca.

En el siguiente gráfico se explica la curva del tratamiento térmico a la que la palanca es sometida. Siendo la meseta más alta el tratamiento de solución. Después se indica el descenso de temperatura del temple. A continuación en la figura 4.10 se presenta el tiempo de espera de enfriamiento del horno y luego el recocido artificial.



**Figura 4. 9** Gráfico de temperatura / tiempo del tratamiento térmico de solución, templado y envejecido artificial aplicado a la palanca

### 4.3 Pruebas de Funcionamiento

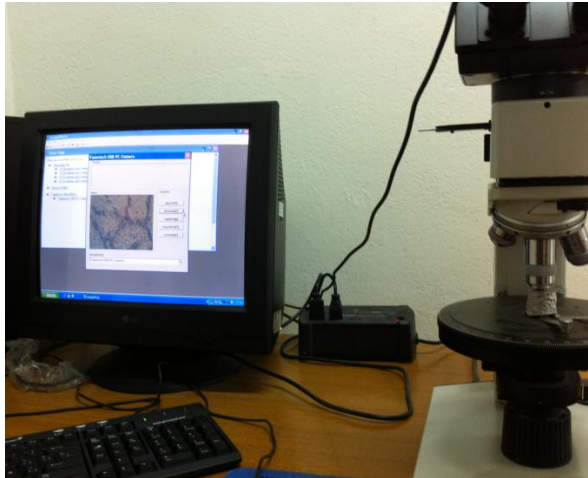
#### 4.3.1 Pruebas Cristalográficas

Las pruebas consisten en pulir las probetas y dejar sus caras paralelas entre sí para poder observarlas con precisión debajo del lente del microscopio.

Para apreciar la superficies en con el microscopio es necesario someter las caras pulidas de las probetas a un baño del ácido Reactivo de Keller, (2 ml HF, 3 ml HCL, 5 ml HNO<sub>3</sub>, 190 ml agua destilada) (fig. 4.11), el mismo que es un reactivo que se usa para contrastar los elementos aleantes que se pueden apreciar en la superficie de la probeta. Luego de ser sometidas en este reactivo en la figura 4.12 se aprecia como las probetas son observadas bajo el lente del microscopio electrónico.



**Figura 4. 10** Probetas sometidas al reactivo.



**Figura 4. 11** Fotografías de la estructura cristalográfica de las probetas en el microscopio

- **Cárter**

De acuerdo al libro *Metals Handbook, Microstructure of Aluminum Alloys* se puede constatar que el material utilizado para la fundición del cárter proviene de la serie 3xxx. Posteriormente en la figura 4.13 se indica una imagen de la estructura cristalográfica de una aleación proveniente de la serie 3xxx.



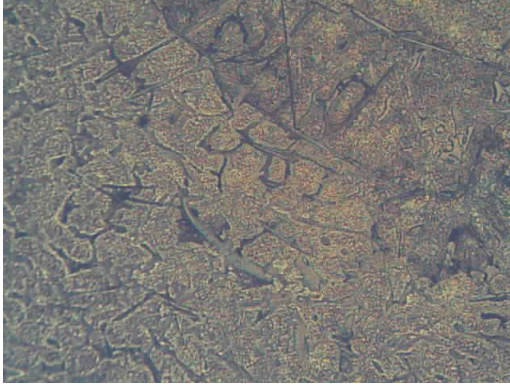
**Figura 4. 12** Aleación 380, fundición, contiene en su estructura partículas de silicio y cobre (ASM Committee on Metallography of Aluminum Alloys, 262)

A continuación se muestran las imágenes correspondientes a la fase previa al tratamiento térmico, y posteriormente las imágenes luego de haber recibido el tratamiento térmico.

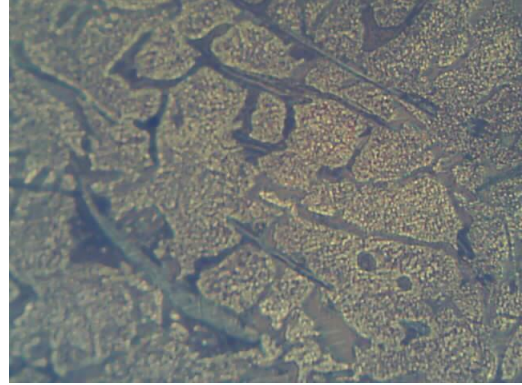
**El tratamiento térmico realizado fue un T1.**

### Sin tratamiento térmico.

Las siguientes figuras 4.14 y 4.15 corresponden a las imágenes cristalográficas de las probetas del cárter sin tratamiento térmico con una ampliación de 10x y 20x cada una.



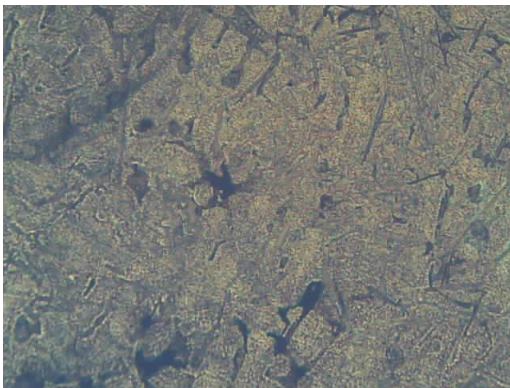
**Figura 4. 13** Cristalografía de la fundición del cárter, tomada antes del tratamiento térmico, en el microscopio, ampliación a 10x.



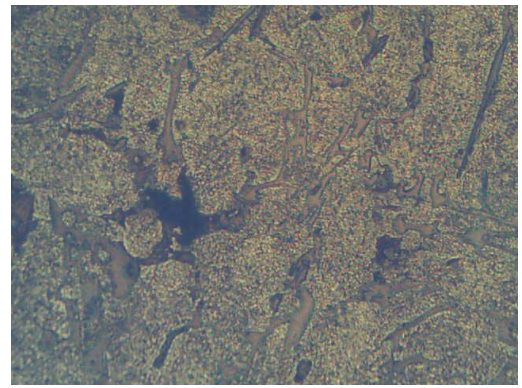
**Figura 4. 14** Cristalografía de la fundición del cárter, tomada antes del tratamiento térmico en el microscopio, ampliación a 20x.

### Con tratamiento térmico.

Las siguientes figuras 4.16 y 4.17 corresponden a las imágenes cristalográficas de las probetas del cárter con tratamiento térmico T1 con una ampliación de 10x y 20x cada una.



**Figura 4. 15** Cristalografía de la fundición del cárter, tomada en el microscopio, luego del tratamiento de envejecido, ampliación a 10x.



**Figura 4. 16** Cristalografía de la fundición del cárter, tomada en el microscopio, luego del tratamiento de envejecido, ampliación a 20x.

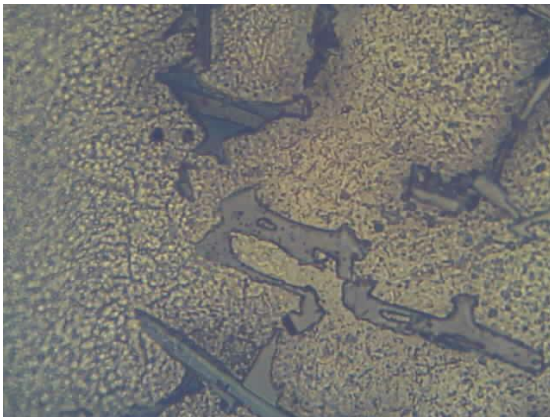
## Resultados

### Tratamiento Térmico T1 (Envejecido artificial)

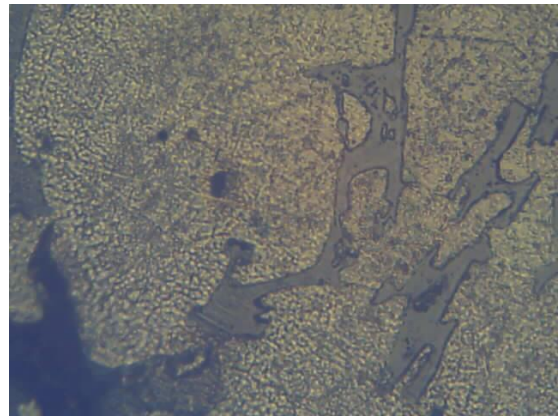
Luego del tratamiento térmico T1 realizado al cárter se puede observar mediante pruebas cristalográficas que sí existe un resultado favorable en la pieza tratada; si se realiza una comparación entre las imágenes que corresponden a la fase previa al tratamiento térmico y las imágenes posteriores al mismo, se observa con claridad una disminución considerable de los granos de la aleación tratada térmicamente, lo cual deja como resultado palpable la efectividad del tratamiento al que esta pieza fue sometida.

Además en las imágenes presentadas se pueden apreciar los elementos que constituyen la aleación, los mismos que enseñan pequeños cambios en su distanciamiento molecular. También se indican leves grietas en forma de rayas que en la figura 4.18 se presentan un poco más dispersas que en la figura 4.19, la misma que posee el tratamiento térmico de envejecimiento.

La siguiente prueba de dureza determina si el tratamiento al que la pieza fue sometida cumple con las expectativas propuestas.



**Figura 4. 17** Cristalografía de la fundición del cárter, tomada antes del tratamiento térmico en el microscopio, ampliación a 40x.



**Figura 4. 18** Cristalografía de la fundición del cárter, tomada en el microscopio, luego del tratamiento de envejecido, ampliación a 40x.



▪ **Palanca de freno de mano hidráulico.**

De acuerdo a la figura 4.20 del *Manual del Aluminio Automotriz (The Aluminium Automotive Manual)* se puede constatar que el material utilizado para la fundición de la palanca proviene de la serie 4xxx. Subsecuentemente se indica una imagen de la estructura cristalográfica de una aleación proveniente de la serie 4xxx.



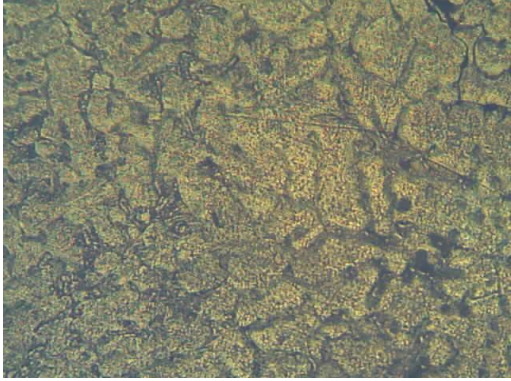
**Figura 4. 19** Aleación de aluminio-silicio perteneciente a un pistón. (European Aluminium Association, 7)

A continuación se muestran las imágenes correspondientes a la fase previa al tratamiento térmico, y después las imágenes posteriores al tratamiento térmico.

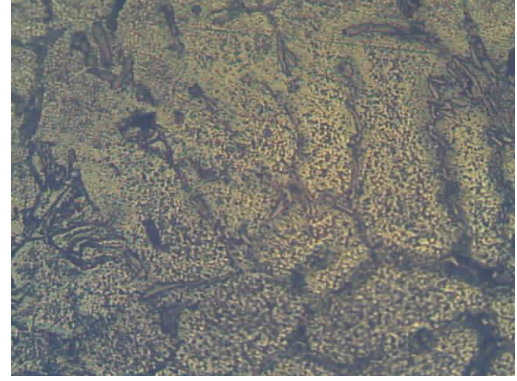
**El tratamiento térmico realizado fue un T6.**

**Sin tratamiento térmico**

Las siguientes figuras 4.21 y 4.23 corresponden a las imágenes cristalográficas de las probetas de la palanca sin tratamiento térmico con una ampliación de 10x y 20x cada una.



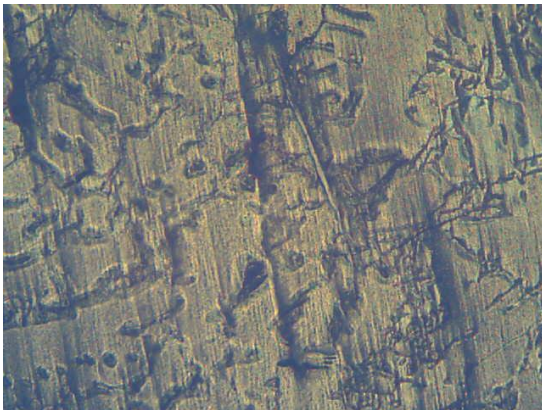
**Figura 4. 20** Cristalografía de la fundición de la palanca, tomada antes del tratamiento térmico en el microscopio, ampliación a 10x.



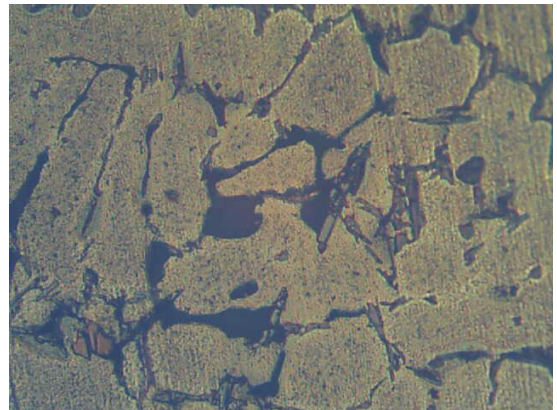
**Figura 4. 21** Cristalografía de la fundición de la palanca, tomada antes del tratamiento térmico en el microscopio, ampliación a 20x.

### Con tratamiento térmico

Las siguiente figuras 4.23 y 4.24 corresponden a las imágenes cristalográficas de las probetas de la palanca con tratamiento térmico con una ampliación de 10x y 20x cada una.



**Figura 4. 22** Cristalografía de la fundición de la palanca, tomada después del tratamiento térmico en el microscopio, ampliación a 10x.



**Figura 4. 23** Foto que indica la cristalografía de la fundición de la palanca, tomada después del tratamiento térmico en el microscopio, ampliación a 20x.

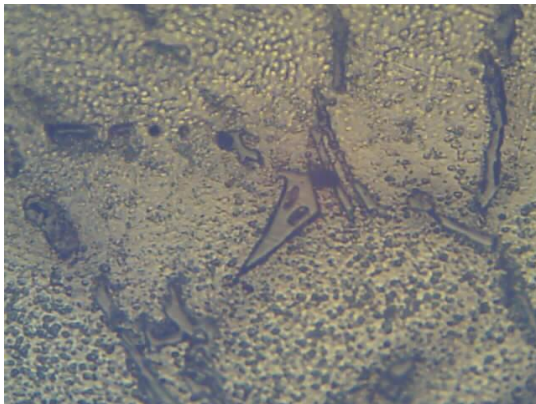
## Resultados

### Tratamiento Térmico T6 (Solución, templado y envejecido artificial).

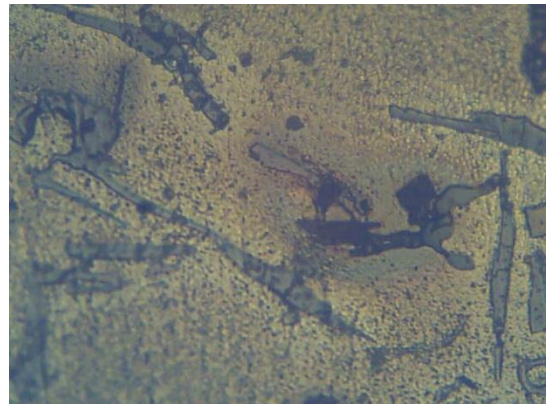
Luego del tratamiento térmico T6 realizado a la palanca se puede observar mediante pruebas cristalográficas que sí existe un resultado favorable en la pieza tratada. Si se realiza una comparación entre las imágenes que corresponden a la fase previa al tratamiento térmico y las imágenes posteriores al mismo, se observa con claridad una disminución considerable del tamaño de los granos de la aleación tratada térmicamente, lo cual indica la efectividad del tratamiento al que esta pieza fue sometida.

Además en las figuras 4.25 y 4.26 se puede apreciar la cristalografía los elementos que constituyen la aleación, los mismos que enseñan cambios en su distanciamiento molecular. También se aprecian unas rayas oscuras, las mismas que se han agrupado después del tratamiento térmico como se observa en la figura 4.26.

La siguiente prueba de dureza demuestra si el tratamiento al que la pieza fue sometida cumple con las expectativas propuestas.



**Figura 4. 24** Cristalografía de la fundición de la palanca, tomada antes del tratamiento térmico en el microscopio, ampliación a 40x



**Figura 4. 25** Cristalografía de la fundición de la palanca, tomada después del tratamiento térmico en el microscopio, ampliación a 40x

### 4.3.2 Pruebas de Dureza

Después de haber observado la cristalografía de las probetas se realizan las pruebas de dureza en escala Brinell en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana.

La prueba consiste en medir la dureza superficial de cada probeta mediante la aplicación de una carga pre-establecida para metales no ferrosos (figura 4.27). Ésta fue aplicada mediante un penetrador de diámetro específico el mismo que deja una huella en la cara de la probeta con un diámetro particular según la dureza de la pieza.



**Figura 4. 26** Medición de dureza de una probeta en el durómetro Brinell

Los diámetros de cada huella marcada en las probetas son medidos con un lente amplificador el cual se indica en la figura 4.28 que consta con una escala milimétrica en un extremo del mismo que se utiliza para medir el diámetro de la huella.



**Figura 4. 27** Medición del diámetro de la huella con el amplificador de imagen.

La fórmula y carga que fueron utilizadas en el ensayo fueron las siguientes:

$$HB = \frac{2*F}{\pi*D^2} * \left( \frac{1}{1 - \sqrt{1 - \frac{d^2}{D^2}}} \right) \quad (4-1) \text{ (Murillo,76)}$$

**Donde:**

*HB*= dureza obtenida (escala Brinell)

*F*= carga utilizada (N)

*D*= diámetro del penetrador

*d*= diámetro de la huella

**Carga utilizada para metales no ferrosos:** 613.125 N

**Diámetro del penetrador utilizado:** 2.5 mm

- **Cárter**

**Dureza obtenida**

Mediante pruebas realizadas en una máquina para medir la dureza de las probetas se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 4.3** Tabla de resultados de la dureza Brinell obtenidos antes y después del tratamiento térmico.

<b>Tabla de Dureza obtenida (Cárter)</b>		
	<b>Tamaño de la huella</b>	<b>Dureza Brinnell, HB</b>
Probeta sin Tratamiento Térmico	1 mm	70.72
Probeta con Tratamiento Térmico	0.9 mm	94.95

Según los resultados obtenidos de la dureza en las dos probetas, se pudo determinar que para bien se cumplió el objetivo de mejorar las cualidades mecánicas de la pieza sometida a tratamiento térmico.

- **Palanca de freno de mano hidráulico**

#### **Dureza obtenida**

Mediante pruebas realizadas en una máquina para medir la dureza de las probetas se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 4.4** Tabla de resultados de la dureza Brinell obtenidos antes y después del tratamiento térmico

<b>Tabla de Dureza obtenida (Palanca)</b>		
	<b>Tamaño de la huella</b>	<b>Dureza Brinnell, HB</b>
Probeta sin Tratamiento Térmico	1 mm	70.72
Probeta con Tratamiento Térmico	0.95 mm	84.86

Según los resultados obtenidos de la dureza en las dos probetas, se puede determinar que para bien se cumplió el objetivo de mejorar las cualidades mecánicas de la pieza sometida a tratamiento térmico.

#### **4.3.3 Verificación de pruebas de funcionamiento en la práctica de las piezas.**

##### **Pruebas de funcionamiento del Cárter.**

- **Prueba de estanqueidad**

Se realiza una prueba de estanqueidad la cual consiste en llenar el cárter con agua, tal como se indica en la figura 4.29. No se encuentran fugas de agua ni trizaduras durante el proceso de evaluación.



**Figura 4. 28** Cárter completamente lleno de agua para comprobar estanqueidad y trizaduras

- **Correcto calzado de orificios**

En la figura 4.30 se indica como se procede a ajustar el cárter en el bloque, todavía sin silicón ni empaque para verificar que los agujeros del cárter hallan sido maquinados correctamente según la plantilla sacada del cárter original.



**Figura 4. 29** Ajuste y calzado de los pernos entre el cárter y bloque.

Luego del ajuste se comprueba que los tornillos calzan correctamente en el bloque. Además a través de una prueba de luz entre el cárter y el bloque se verifica que existe un adecuado asentamiento entre las piezas.

- **Ajuste de pernos y fugas de aceite**

En la figura 4.31 se muestra el ajuste de los pernos con un torque de 20N-m. En esta prueba se coloca el empaque entre el bloque y el cárter para posteriormente colocar el aceite y realizar las pruebas de fuga debidas.



**Figura 4. 30** Ajuste cárter y bloque con empaque.



Por siguiente en las figuras 4.32 y 4.33 se indica la ausencia de fugas en la prueba realizada cuando el motor se encuentra en posición vertical y cuando el motor se coloca en una posición inclinada respectivamente.



**Figura 4. 31** Prueba de fugas con el motor en posición vertical.

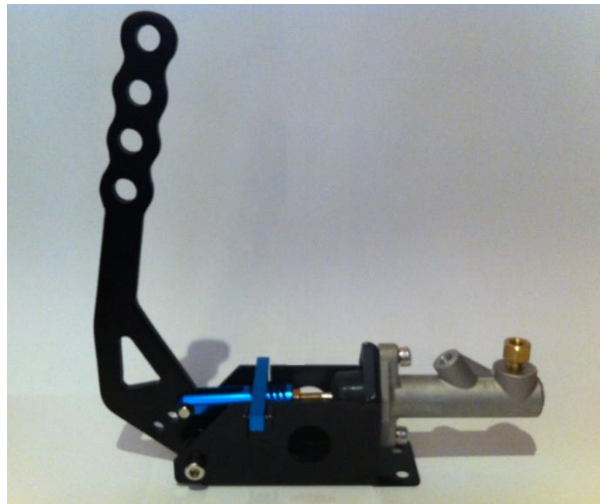


**Figura 4. 32** Prueba de fugas con el motor en posición inclinada.

### **Pruebas de funcionamiento de la palanca de freno de mano hidráulico.**

#### **- Prueba de sujeción y calibración**

Según las figuras 4.34 y 4.35 se puede notar que la fijación de la palanca a la base es muy buena lo cual indica que la holgura entra la palanca y la base es adecuada puesto que el espesor de la palanca está de acuerdo a las medidas del diseño. Igualmente su calibración de posiciones es perfecta.



**Figura 4. 33** Palanca de freno de mano hidráulico (Posición vertical).

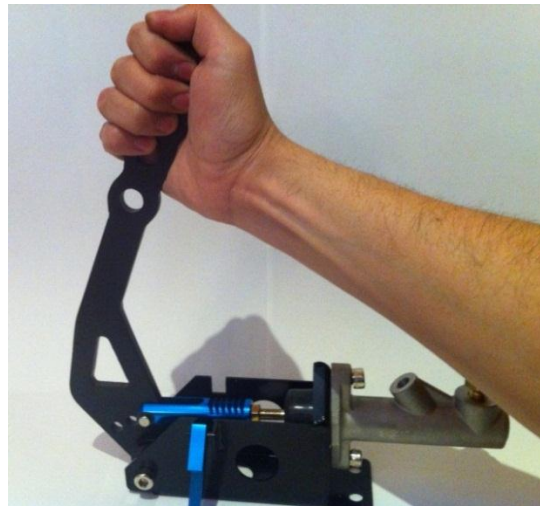


**Figura 4. 34** Palanca de freno de mano hidráulico (Posición horizontal).

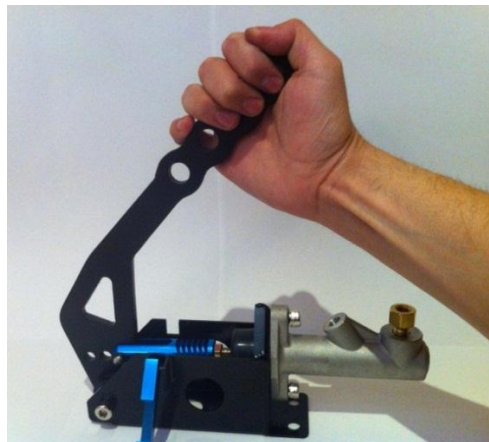
- **Correcto funcionamiento**

Se comprueba el buen funcionamiento de la palanca mediante esfuerzos continuos realizados a la palanca una vez sujeta a la base.

En las imágenes a continuación se indica el funcionamiento de la palanca cuando ésta ha sido colocada en posición vertical (figuras 4.36 y 4.37), mostrando el esfuerzo a principio de carrera y el esfuerzo a fin de carrera, el mismo que resulta mucho menor comparando con el que se realizaron los cálculos.



**Figura 4. 35** Palanca en posición vertical (principio de carrera).



**Figura 4. 36** Palanca en posición vertical (fin de carrera).

A continuación se muestran las imágenes de la palanca en posición horizontal. Ésta posición es utilizada cuando la palanca del freno es necesaria para poner al auto en posición de parqueo lo cual se muestra en las figuras 4.38 y 4.39 . Y de igual manera se prueba que el funcionamiento de la palanca es ideal para las necesidades requeridas de una pieza de competencia.



**Figura 4. 37** Palanca en posición horizontal (principio de carrera).



**Figura 4. 38** Palanca en posición horizontal (fin de carrera).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La investigación a cerca del aluminio y sus aleaciones sirve para darse cuenta del potencial que tiene el aluminio como metal, su reciclabilidad, la capacidad de alearse con otros metales y el uso de tratamientos térmicos que se aplican a este metal.
- Se determina que el sobredimensionamiento del cárter es adecuado, puesto que las medidas de éste coinciden con las del modelo original y que el diseño mecánico de las palancas de freno de mano hidráulico es apropiado, lo cual se comprueba mediante la aplicación de los métodos analítico y numérico.
- El uso de la técnica de fundición por moldes de arena que se utiliza para la fabricación del cárter resulta ser ventajoso para el desarrollo del mismo, a pesar de la complejidad de la pieza no existe dificultad para ejecutar su construcción. Para la construcción de las palancas de freno de mano hidráulico se utilizó la técnica de fundición en moldes de yeso las misma que no necesita un terminado posterior de las piezas, pero para la fabricación de la palanca de freno de mano hidráulico es necesario realizar un maquinado, ya que con este método no se consiguió un acabado superficial de buena calidad.
- Las pruebas cristalográficas y los ensayos de dureza, confirman una correcta aplicación de los tratamientos térmicos realizados al cárter y palanca de freno de mano hidráulico.

- Adquirir equipos para ensayos destructivos y pruebas de dureza para el laboratorio de metalurgia puesto que, para una correcta aplicación de las piezas es importante constar con estas herramientas y mejorar la seguridad dentro del taller para evitar riesgos de accidentes.
- Realizar un manual de tratamientos térmicos para el laboratorio de metalurgia de la universidad, debido a que existen varias aleaciones de aluminio las cuales pueden ser sometidas a diferentes tratamientos térmicos.
- Efectuar una búsqueda para mejorar la técnica de fundición por moldes de yeso debido a que en este trabajo no se logra dominar dicho método por la escasa información conseguida y se sugiere a futuro realizar una investigación sobre las aleaciones de aluminio y su posible reciclaje, ya que para este tema no existe un conocimiento profundo en nuestro medio y puede ser aprovechado para un planteamiento de mejora del medio ambiente.

**Referencias bibliográficas:**

- ARAI Thoru, et al, *ASM Handbook Heat Treating vol. 4*, ASM International, 1991.
- BUDYNAS, Richard, NISBETT Keith, *Diseño ingeniería mecánica de Shigley*, Mc Graw Hill, Mexico, 2008
- BUDYNAS-NISBETT, *Mechanical Engineering*, McGraw Hill, 2008
- CHASTIAN, Stephen, *Metalcasting: A Sand Casting Manual for the Small Foundry vol1*, Sthepen Chastian, Jacksonville, 2004
- EUROPEAN ALUMINIUM ASSOCIATION, *TheAluminium Automotive Manual*, 2001.
- MENEZES Rafael, et al, *ASM Handbook Casting vol. 15*, ASM International, 1992.
- MURILLO Daniel, ÁVILA Kimberly, NARVAEZ Carlos, *Simulación del ensayo de dureza Brinell para la aleación 2024-t4 empleando el método de elementos finitos*, 2009
- The ASM Committee on Metallography of Aluminum Alloys, *Microstructure of Aluminum Alloys*, 2002
- TOTTEN, Mackenzie, *Handbook of Aluminum vol. 1 Physical Metallurgy and Processes*, Marcel Dekker, New York, 2003
- VALLEJO Raúl, *Manual de escritura académica*, Corporación Editora Nacional, Quito, 2003
- ZOLOTOREVSKY, et al, *Casting Aluminum Alloys*, Elsevier, Moscow, 2007

**Referencias electrónicas:**

- Aguilera Luis, *Propiedades mecánicas*, [http://www.luis-aguilera.com/LuisAguilera2\\_archivos/page0003.htm](http://www.luis-aguilera.com/LuisAguilera2_archivos/page0003.htm), acceso 20 de marzo del 2012
- Aninia, *Guía Aninia de Envase y embalaje*  
<http://www.guiaenvase.com/bases%5Cguiaenvase.nsf/V02wp/EB2A54A6953AC5EDC1256F250063F>, acceso 21 de marzo del 2012

- *Azom.com*, <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2540>, acceso 20 de junio de 2012
- Escuela de Arte La Palma, *Taller de fundición y galvanoplastia*, <http://tallerdefundicionygalvanoplastia.blogspot.com/2011/12/fusion-y-colada-porgravedad.html>, acceso 10 de mayo del 2012
- *Física práctica*, <http://www.fisicapractica.com/momento.php>, acceso: 23 de abril del 2012.
- *Fundición de los metales*, <http://es.scribd.com/doc/18816757/FUNDICION>, acceso 10 de mayo del 2012
- Ibañez Juan José, <http://www.jji-ingenieria.com/pdf/SI.PDF>, acceso 20 de junio de 2012
- Ortolá, Salvador, *Ingeniería de materiales*, <http://ingeneriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>, acceso 21 de marzo del 2012
- ZCorp, *3D Systems*, <http://www.zcorp.com/es/Solutions/Castings--Patterns--Molds/spage.aspx>, acceso: 23 de marzo del 2012



# ANEXOS

## Anexo 1

**Table A-18**

Geometric Properties

### Part 1 Properties of Sections

$A$  = area

$G$  = location of centroid

$I_x = \int y^2 dA$  = second moment of area about  $x$  axis

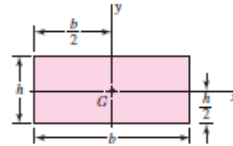
$I_y = \int x^2 dA$  = second moment of area about  $y$  axis

$I_{xy} = \int xy dA$  = mixed moment of area about  $x$  and  $y$  axes

$J_G = \int r^2 dA = \int (x^2 + y^2) dA = I_x + I_y$   
= second polar moment of area about axis through  $G$

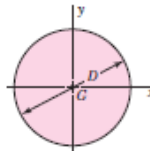
$k_x^2 = I_x/A$  = squared radius of gyration about  $x$  axis

Rectangle



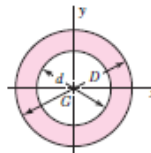
$$A = bh \quad I_x = \frac{bh^3}{12} \quad I_y = \frac{b^3h}{12} \quad I_{xy} = 0$$

Circle



$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad I_x = I_y = \frac{\pi D^4}{64} \quad I_{xy} = 0 \quad J_G = \frac{\pi D^4}{32}$$

Hollow circle



$$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \quad I_x = I_y = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4) \quad I_{xy} = 0 \quad J_G = \frac{\pi}{32}(D^4 - d^4)$$

**Anexo 2**

**Table 6-2**

Parameters for Marin Surface Modification Factor, Eq. (6-19)

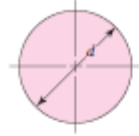
Surface Finish	Factor <i>a</i>		Exponent <i>b</i>
	<i>S<sub>ut</sub></i> kpsi	<i>S<sub>ut</sub></i> MPa	
Ground	1.34	1.58	-0.085
Machined or cold-drawn	2.70	4.51	-0.265
Hotrolled	14.4	57.7	-0.718
As-forged	39.9	272.	-0.995

From C.J. Noll and C. Lipson, "Allowable Working Stresses," *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3, no. 2, 1946 p. 29. Reproduced by O.J. Hanger (ed.) *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, New York. Copyright © 1953 by The McGraw-Hill Companies, Inc. Reprinted by permission.

**Anexo 3**

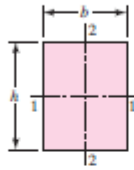
**Table 6-3**

$A_{0.95\sigma}$  Areas of  
Common Nonrotating  
Structural Shapes



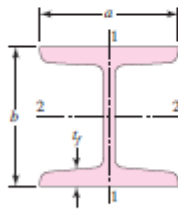
$$A_{0.95\sigma} = 0.01046d^2$$

$$d_b = 0.370d$$

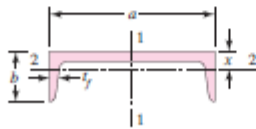


$$A_{0.95\sigma} = 0.05hb$$

$$d_b = 0.808\sqrt{hb}$$



$$A_{0.95\sigma} = \begin{cases} 0.10at_f & \text{axis 1-1} \\ 0.05ba & t_f > 0.025a \quad \text{axis 2-2} \end{cases}$$



$$A_{0.95\sigma} = \begin{cases} 0.05ab & \text{axis 1-1} \\ 0.052xa + 0.1t_f(b-x) & \text{axis 2-2} \end{cases}$$

**Anexo 4**

**Table 6-4**  
 Effect of Operating Temperature on the Tensile Strength of Steel.\* ( $S_T$  = tensile strength at operating temperature;  $S_{RT}$  = tensile strength at room temperature;  $0.099 \leq \hat{\sigma} \leq 0.110$ )

Temperature, °C	$S_T/S_{RT}$	Temperature, °F	$S_T/S_{RT}$
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1000	0.698
550	0.672	1100	0.567
600	0.549		

\*Data source: Fig. 2-9.

## Anexo 5

**Table 6-5**

Reliability Factors  $k_\sigma$   
Corresponding to  
8 Percent Standard  
Deviation of the  
Endurance Limit

Reliability, %	Transformation Variate $z_\sigma$	Reliability Factor $k_\sigma$
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620