

**REINGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN DE CÁRTER Y CARCASA PARA  
MOTOR DE DOS TIEMPOS DE PEQUEÑA CILINDRADA DE APLICACIÓN  
AGRÍCOLA**

**JORGE EDUARDO CÁCERES SALAZAR**

**JOHAN JAVIER ORTIZ CARREÑO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2015**

**REINGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN DE CÁRTER Y CARCASA PARA  
MOTOR DE DOS TIEMPOS DE PEQUEÑA CILINDRADA DE APLICACIÓN  
AGRÍCOLA**

**JORGE EDUARDO CÁCERES SALAZAR**

**JOHAN JAVIER ORTIZ CARREÑO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**DIRECTOR:**

**Ph. D. JORGE LUIS CHACÓN VELASCO**

**CO-DIRECTOR:**

**MSC. RICARDO ALFONSO JAIMES ROLÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2015**

## DEDICATORIA

Primeramente a Dios, por brindarme la posibilidad de hacer parte de sus planes y por darme la oportunidad de pertenecer a la grandeza de esta escuela.

De manera especial a mi Papá, mi Mamá, mi Hermano, Billy y Orión por todo su apoyo, esfuerzo, cariño y llenar mis días de felicidad. Así mismo a Francý Guerrero Zabala por ser mi guía, mi apoyo y mi fortaleza; por todo su amor y comprensión. A la familia Guerrero Zabala por su incondicional apoyo y valerosos consejos.

A mi abuelita Lucia, por todo su apoyo y cariño. Sin ella esto no hubiese sido.

*Jorge Eduardo Cáceres Salazar*

## **DEDICATORIA**

A Dios por hacerme participe de su inmensa y majestuosa creación, llenando mi vida de innumerables bendiciones como mi familia, amigos y compañeros...

A mis padres Ana Carreño y Javier Ortiz, mis hermanos Gefferson y Sebastián, quienes con esfuerzo, dedicación y mucho amor fueron incondicionales en el logro de esta meta.

A mi mejor amiga y compañera Yaneth, mi amigo Jorge y su familia, quienes nos brindaron día a día su apoyo, cariño, aprecio y recomendaciones en el transcurso de este proyecto.

Y a mi honorable Escuela de Ingeniería Mecánica y cada uno de los profesionales que la conforman.

**Johan Javier Ortiz Carreño**

## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente a Dios, por traernos hasta aquí, por sus maravillosos propósitos para con nosotros.

Al profesor Dr. Ing. Jorge Luis Chacón Velasco, director del proyecto, por darnos la oportunidad de trabajar con él, por toda su confianza brindada, por su colaboración, disposición y apoyo en la realización del proyecto.

Al profesor MSC. Ing. Ricardo Jaimes, nuestro codirector del proyecto, por todo su apoyo y disponibilidad.

Al profesor Ing. Afranio Antonio Cardona Granados, por su tiempo y valiosa ayuda en el análisis e interpretación de resultados.

A la empresa PLA Diseños industrial, por su cumplimiento y apoyo en la elaboración del proyecto.

Al laboratorio de espectroscopia de Parque Tecnológico Guatiguará y Planta de Aceros de la Universidad Industrial de Santander, por su apoyo brindado en cuanto a los ensayos pertinentes de las piezas.

A la Universidad Industrial de Santander, entidad estatal precursora de la formación profesional y excelencia académica. Es un orgullo pertenecer a esta casa educativa.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	19
OBJETIVOS.....	20
OBJETIVO GENERAL.....	20
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
1. MARCO CONCEPTUAL.....	22
1.1. PRINCIPIOS PRÁCTICOS.....	22
1.2. TIPOS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	23
1.2.1. Motores de 2 Tiempos .....	24
1.2.2. Motores de 4 Tiempos .....	25
1.3. PROCESO DE DISEÑO EN LA INGENIERÍA .....	27
1.4. DISEÑO Y MODELADO POR COMPUTADOR (CAD-CAE-CAM) .....	29
1.4.1. Diseño e ingeniería asistido por computador (CAD - CAE) .....	30
1.4.2. Fabricación asistida por computador (CAM) .....	32
2. GENERALIDADES .....	33
2.1. EL MOTOR 2T .....	33
2.1.1. Principios prácticos y aplicaciones.....	35
2.2. CÁRTER Y CARCASA.....	36
2.2.1. DETALLES DE CONSTRUCCIÓN .....	38
2.2.2. Materiales para construcción del cárter y carcasa .....	38
3. METODOLOGÍA .....	39
3.1. RECONOCIMIENTO DE LA PIEZA.....	40
3.1.1. Recepción de piezas originales .....	40
3.1.2. Investigación / Marco conceptual.....	40
3.2.2. ENSAYOS DESTRUCTIVOS.....	45
3.3. PROCESO DE DISEÑO.....	62
3.3.1. Especificaciones de diseño del cárter y la carcasa.....	62
3.3.2. Proceso de diseño .....	65
3.3.3. Análisis termodinámico y fuerzas .....	66
3.3.3. Análisis dinámico.....	71

3.3.4.	Análisis dinámico del mecanismo biela- manivela.....	74
3.3.5.	CAD/MEF .....	83
3.4.	PROCESO DE MANUFACTURA DEL CÁRTER Y CARCASA .....	92
3.4.1.	Selección de materia prima de la pieza prototipo .....	93
3.4.2.	Proceso de fundición.....	95
3.4.3.	Proceso de mecanizado .....	102
3.5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PRUEBA DE DISEÑO DE LOS PROTOTIPOS.....	104
3.5.1.	Ensayos de laboratorio.....	104
3.5.2.	Estudio económico del desarrollo del proyecto .....	107
3.5.3.	Prueba de funcionamiento de los prototipos del cárter y carcasa .....	110
3.6.	DOCUMENTACIÓN .....	116
3.6.1.	Hoja de ruta de las piezas prototipo.....	116
3.6.2.	Planos de las piezas prototipo .....	116
4.	CONCLUSIONES.....	117
5.	RECOMENDACIONES.....	120
	BIBLIOGRAFÍA.....	121
	ANEXOS .....	123

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Mecanismo biela-manivela .....	23
<b>FIGURA 2.</b> Motor de 2T de motocicleta 125 C.C.....	25
<b>FIGURA 3.</b> Motor CUMMINS de 4T.....	26
<b>FIGURA 4.</b> Ejemplo de hoja ruta .....	28
<b>FIGURA 5.</b> Proceso de diseño en la ingeniería.....	29
<b>FIGURA 6.</b> Plataforma CAM Parasolid .....	32
<b>FIGURA 7.</b> Partes fundamentales de un motor de combustión interna de 2 Tiempos .....	34
<b>FIGURA 8.</b> Ciclo de 2 Tiempos de un motor a gasolina, expansión y compresión .....	35
<b>FIGURA 9.</b> Cáster Shidaiwa B45 con cigüeñal y biela.....	37
<b>FIGURA 10.</b> Carcasa Shindaiwa B45.....	37
<b>FIGURA 11.</b> Esquema general de estructura y desarrollo del proyecto .....	39
<b>FIGURA 12.</b> Dimensiones de la pieza pequeña del cáster .....	42
<b>FIGURA 13.</b> Dimensiones de la pieza grande del cáster .....	43
<b>FIGURA 14.</b> Dimensiones de la carcasa .....	44
<b>FIGURA 15.</b> Proceso de ensayos destructivos para la caracterización .....	46
<b>FIGURA 16.</b> Muestras para ensayo de microdureza.....	47
<b>FIGURA 17.</b> Perfil de microdureza de la sección pequeña del cáster.....	48
<b>FIGURA 18.</b> Perfil de microdureza de la sección grande del cáster.....	48
<b>Figura 19.</b> Perfil de microdureza de la carcasa .....	49
<b>FIGURA 20.</b> Muestras para hacer microscopía de composición química .....	50
<b>FIGURA 21.</b> Composición química de muestra correspondiente al cáster .....	51
<b>FIGURA 22.</b> Composición química de muestra correspondiente a la carcasa.....	51
<b>FIGURA 23.</b> Muestra de cáster (a) y carcasa (b) compactadas por celulosa .....	53
<b>Figura 24.</b> Desviación estándar de resultados de microdureza.....	55
<b>FIGURA 25.</b> Valor promedio de rugosidad para la muestra del cáster.....	57
<b>FIGURA 26.</b> Valor promedio de rugosidad para la muestra de la carcasa.....	57
<b>FIGURA 27.</b> Proceso de ejecución del ensayo metalográfico .....	58
<b>FIGURA 28.</b> Piezas del cáster originales.....	59
<b>FIGURA 29.</b> Muestras para conformar en baquelita .....	60
<b>FIGURA 30.</b> Segmento de baquelita .....	60

<b>FIGURA 31.</b> Probeta de muestra correspondiente a la pieza de cárter pequeña .....	61
<b>FIGURA 32.</b> Probeta de muestra correspondiente a la pieza de cárter grande .....	61
<b>FIGURA 33.</b> Probeta de muestra correspondiente a la pieza de la carcasa.....	62
<b>FIGURA 34.</b> Kit de cárter .....	63
<b>FIGURA 35.</b> Kit de carcasa.....	64
<b>FIGURA 36.</b> Organigrama del proceso de diseño del cárter y carcasa .....	65
<b>FIGURA 37.</b> Organigrama del proceso termodinámico .....	66
<b>FIGURA 38.</b> Comportamiento ideal de la presión de admisión .....	67
<b>FIGURA 39.</b> Fuerzas y momentos de inercia.....	72
<b>FIGURA 40.</b> Diagrama de cuerpo libre del cigüeñal Motor Shindaiwa B450.....	73
<b>FIGURA 41.</b> Diagrama geométrico mecanismo manivela-biela-pistón. ....	75
<b>FIGURA 42.</b> Posición del émbolo .....	79
<b>FIGURA 43.</b> Velocidad del émbolo para diferentes rpm de operación .....	79
<b>FIGURA 44.</b> Aceleración del émbolo para diferentes rpm de operación .....	80
<b>FIGURA 45.</b> Comportamiento de la presión en la combustión y compresión.....	82
<b>FIGURA 46.</b> Diagrama de presión en el cilindro.....	82
<b>FIGURA 47.</b> Esquema del desarrollo del CAD/CAE .....	83
<b>FIGURA 48.</b> Escaner 3D SENSE .....	84
<b>FIGURA 49.</b> Modelado del cárter y carcasa. Vistas isométricas .....	85
<b>FIGURA 50.</b> Gráfico de convergencia nodal de la sección pequeña del cárter .....	87
<b>FIGURA 51.</b> Mallado del cárter pequeño.....	87
<b>FIGURA 52.</b> Valores de tensiones a través del cárter pequeño.....	88
<b>FIGURA 53.</b> Representación del factor de seguridad del cárter pequeño.....	89
<b>FIGURA 54.</b> Mallado del cárter Grande .....	90
<b>FIGURA 55.</b> Valores de tensiones a través del Cárter grande. ....	91
<b>FIGURA 56.</b> Representación del factor de seguridad del cárter grande.....	92
<b>FIGURA 57.</b> Esquema del proceso de manufactura.....	93
<b>FIGURA 58.</b> Horno fundiendo aleación Al-Si.....	96
<b>FIGURA 59.</b> Impresora 3D Ultimaker 2 .....	98
<b>FIGURA 60.</b> Modelo de fundición por impresión en 3D de la sección pequeña del cárter (material PLA).....	99
<b>FIGURA 61.</b> Modelo de fundición por impresión en 3D de la sección grande del cárter (material PLA) .....	99

<b>FIGURA 62.</b> Modelo de fundición por impresión en 3D de la carcasa.....	100
<b>FIGURA 63.</b> Molde en arena para la elaboración de la carcasa.....	100
<b>FIGURA 64.</b> Vertimiento de la colada en el molde .....	101
<b>FIGURA 65.</b> Piezas del cárter después del proceso de fundición en arena .....	101
<b>FIGURA 66.</b> Juego de piezas mecanizado .....	103
<b>FIGURA 67.</b> Resultados de composición química del material prototipo .....	105
<b>FIGURA 68.</b> Perfil de microdureza del material prototipo .....	106

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Propiedades físicas y centro de masa de cada una de las piezas del cárter y carcasa .	45
<b>Tabla 2.</b> Resultados de microdureza para cada muestra.....	49
<b>Tabla 3.</b> Porcentaje de los elementos químicos presentes en el cárter .....	53
<b>Tabla 4.</b> Porcentajes de los elementos químicos presentes en la carcasa .....	54
<b>Tabla 5.</b> Promedios de microdureza de cárter y carcasa .....	55
<b>Tabla 6.</b> Especificaciones del motor Shidaiwa B45.....	63
<b>Tabla 7.</b> Partes del cárter.....	64
<b>Tabla 8.</b> Partes de la carcasa.....	65
<b>Tabla 9.</b> Tabla de parámetros geométricos motor Shindaiwa B45. ....	75
<b>Tabla 10.</b> Propiedades del material de una aleación de magnesio – aluminio .....	86
<b>Tabla 11.</b> Detalles definidos en la malla de .....	90
<b>Tabla 12.</b> Aleaciones de aluminio con magnesio.....	94
<b>Tabla 13.</b> Aleaciones de aluminio con silicio .....	94
<b>Tabla 14.</b> Procesos de fundición, generalidades y ventajas .....	95
<b>Tabla 15.</b> Proceso de fundición.....	97
<b>Tabla 16.</b> Proceso de mecanizado de las piezas del cárter y carcasa .....	103
<b>Tabla 17.</b> Dureza promedio del material prototipo.....	106
<b>Tabla 18.</b> Cuadro comparativo entre el material original y el material prototipo .....	106
<b>Tabla 19.</b> Costos directos relacionados con procesos industriales .....	107
<b>Tabla 20.</b> Costos de ensayos para caracterizar los materiales .....	107
<b>Tabla 21.</b> Costos de honorarios profesionales .....	108
<b>Tabla 22.</b> Costo de pago a estudiantes.....	108
<b>Tabla 23.</b> Costos de adquisición de software y bibliografía .....	108
<b>Tabla 24.</b> Costos de miscelánea.....	109
<b>Tabla 25.</b> Costo total del proyecto.....	109
<b>Tabla 26.</b> Costos de prototipo y producción masiva .....	109
<b>Tabla 27.</b> Protocolo de ensamble de los prototipos.....	111
<b>Tabla 28.</b> Protocolo de encendido del motor Shindaiwa B45 .....	115

## LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO A.</b> Máquinas de laboratorio empleadas para la caracterización de las muestras del cárter y carcasa .....	123
<b>ANEXO B.</b> Composición nominal y propiedades mecánicas típicas de algunas aleaciones al magnesio a temperatura ambiente. ....	125
<b>ANEXO C.</b> Programación con el software EES de cálculos de posición, velocidad y aceleración del émbolo .....	126
<b>ANEXO D.</b> Cálculo de fuerzas en el émbolo .....	127
<b>ANEXO E.</b> Composición nominal y propiedades mecánicas típicas de algunas aleaciones al aluminio a temperatura ambiente.....	129
<b>ANEXO F.</b> Costos de ensayos de laboratorio de microdureza, mecanizado, escaneo e impresión 3D .....	130
<b>ANEXO G.</b> Hojas de ruta del cárter y carcasa.....	133

## RESUMEN

**TITULO:** REINGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN DE CÁRTER Y CARCASA PARA MOTOR DE DOS TIEMPOS DE PEQUEÑA CILINDRADA DE APLICACIÓN AGRÍCOLA<sup>1</sup>

**AUTORES:** Jorge Eduardo Cáceres Salazar, Johan Andrés Ortiz Carreño<sup>2</sup>

### **PALABRAS CLAVES:**

Cárter, Ingeniería concurrente, Diseño, Reingeniería, FEM (método de elementos finitos), dos tiempos (2T), Motor, Fundición, Manufactura.

### **DESCRIPCIÓN**

Para la reingeniería y construcción de un sistema cárter-carcasa, se tomó una pieza original Carter-Carcasa de un motor Shindaiwa B45, a la cual se le hicieron ensayos de metrología y destructivos en el Parque Tecnológico de Guatiguará en la ciudad de Piedecuesta. Basados en estos resultados y un óptimo proceso de diseño y manufactura, se construyó una pieza prototipo similar a la original, cumpliendo a cabalidad el objetivo de utilizar la tecnología existente en el área metropolitana de Bucaramanga. Para su diseño, se efectuó un análisis termodinámico, el análisis de fuerzas en el sistema embolo–biela-cigüeñal y un análisis por medio CAD (Diseño asistido por computadora) y CAE (Ingeniería asistida por computadora), debido a que no existe un modelo matemático aplicable al sistema cárter-carcasa. Se muestra el modelado de las piezas original y prototipo en el software SolidWorks.

Para su construcción, se seleccionó el material y los procesos de manufactura disponibles en el mercado local. Obtenida la pieza prototipo se efectuaron análisis de composición química, microdureza y metrología para analizar la pieza prototipo con respecto a la original.

Finalmente, se efectuaron las hojas de ruta y los planos de trabajo respectivos del cárter y la Carcasa para su posterior fabricación estandarizada. Los ensayos básicos de funcionamiento se realizaron en un motor Shindaiwa B45 realizando trabajo de desmalezado durante diferentes períodos de tiempo.

---

<sup>1</sup> Trabajo de Grado

<sup>2</sup> Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director Ph. D. Jorge Luis Chacón Velasco. Co-Director M. Sc. Ricardo Jaimes Rolón

## ABSTRACT

**TITLE:** RE-ENGINEERING AND CONSTRUCTION OF CRANKCASE AND ENGINE COVER FOR A SMALL DISPLACEMENT TWO-STROKE ENGINE OF AGRICOLA APPLICATION<sup>3</sup>

**AUTHORS:** Jorge Eduardo Cáceres Salazar, Johan Javier Ortiz Carreño<sup>4</sup>

### KEYWORDS:

Crankcase, Concurrent engineering, Design, re-engineering, FEM (finite elements method), two strokes, engine, casting, manufacturing.

### DESCRIPTION:

For the reengineering and construction of a crankcase-engine cover system, an original piece of crankcase - engine cover of a Shindaiwa engine B45 was taken to carry out metrology test and nondestructive at Guatiguará technology park in Piedecuesta city. Based on these results and an optimum design and manufacturing process, a prototype piece similar to the original was built. Fully complying the objective of using Bucaramanga metropolitan area technology. For its design, thermodynamic analyses, analysis of forces in the Piston – Conrod - Crankshaft system were made. An analysis by CAD (Computer - Aided Design) and CAE (Computer- Aided Engineering) were made due to there are no mathematical models for the crankcase-engine cover. Modeling of the original piece and prototype in the SolidWorks is shown.

For its construction, selection of materials and manufacturing processes available in the local market were selected. Obtained the prototype piece, chemical composition analysis, microhardness and metrology were performed to analyze the prototype part with respect to the original.

Finally, roadmaps and respective work planes for carter and engine cover were made for its further standardized manufacturing. Performance basic tests were made in a Shindaiwa engine B45. Making weeding work, including activities for different periods of time.

---

<sup>3</sup> Degree Project

<sup>4</sup> Faculty of Physicomechanical Engineering. Mechanical Engineering School. Director Ph. D. Jorge Luis Chacón Velasco. Co-Director M. Sc. Ricardo Jaimes Rolón

## INTRODUCCIÓN

Bucaramanga es la capital del departamento de Santander y cuenta con gran riqueza industrial, agrícola y educativa, destacándose a nivel nacional por la formación de profesionales altamente calificados.

La reingeniería y construcción del cárter y carcasa, con base en el motor de dos tiempos Shindaiwa B45, se realizó con la finalidad de ratificar la alta calidad de formación profesional y humana de la Universidad Industrial de Santander en pro del desarrollo social, científico y tecnológico.

Para ello se requiere la articulación entre la industria y la academia, que permita evaluar y compartir conocimiento de manera más dinámica y real. Por ello la UIS tienen acercamientos muy importantes con diferentes empresas de mantenimiento, construcción y diseño de elementos mecánicos como es el caso de Industrias Lavco, Metalizadora del Oriente, DANA y demás pequeñas empresas de mecanizado, fundición y forjado. Pero ninguna de ellas con enfoque en el campo de máquinas térmicas alternativas. De allí la necesidad de construir un laboratorio de pruebas para motores de dos tiempos en el Parque Tecnológico de Guatiguará con locación en el municipio de Piedecuesta.

Es importante recalcar que el presente proyecto puede sentar las bases para el desarrollo de empresas dedicadas y especializadas en la fabricación de repuestos, piezas y motores de dos tiempos de pequeña cilindrada que faciliten su adquisición, debido a que en la región nororiental del país el uso de máquinas agrícolas es muy importante.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Colaborar junto con la Universidad Industrial de Santander en el cumplimiento de su misión determinada en formar personas de alta calidad profesional, en la generación y adecuación de conocimientos, mediante el desarrollo del presente proyecto como antecedente de investigación, análisis, diseño, construcción y ensayo, de piezas para motores de dos tiempos. Hacia la potencial construcción de un laboratorio de pruebas para M.T.A en el Parque Tecnológico de Guatiguará.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Caracterizar el cárter y carcasa del motor de dos tiempos Shindaiwa modelo B45, para lo cual se deberá: Conocer sus dimensiones principales mediante metrología, realizar ensayos de dureza, metalografía, rugosidad y composición química para identificar el material, el proceso de manufactura, los valores máximos de esfuerzo y deformación bajo las cuales se fabricaron el cárter y la carcasa.
2. Rediseñar el cárter y carcasa, usando la metodología y la información adquirida en la caracterización, considerando el proceso de fabricación según las posibilidades que ofrece la industria y la tecnología local.
3. Construir prototipos del diseño del cárter y carcasa planteado, posteriormente realizar los ensayos de dureza, metalografía y composición química para verificar sus propiedades físicas.

4. Documentar toda la información necesaria y suficiente para el proceso de manufactura del diseño del cárter planteado. Teniendo en cuenta máquinas a utilizar, procedimientos, planos, hojas de ruta y control de calidad.
5. Instalar y verificar el funcionamiento del prototipo en un motor de dos tiempos Shindaiwa modelo B45.

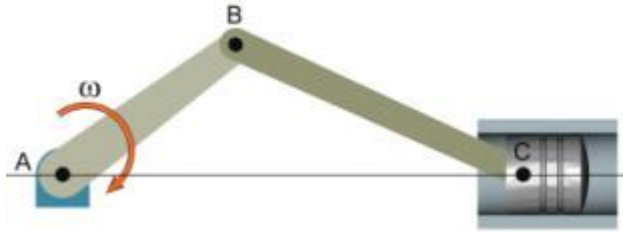
## **1. MARCO CONCEPTUAL**

Antaño, los Motores de Combustión Interna (M.C.I.) no fueron muy aceptados, pues la máquina de vapor tenía mejores prestaciones de servicio. En la actualidad estos motores son los más utilizados en la industria y el transporte. Debido al gran avance tecnológico y la evolución de los materiales, estos motores han alcanzado una eficiencia que inició alrededor del 10% hasta un rango que oscila entre el 30% a 40 % en estos días. Estos avances en cuanto a la calidad del combustible, las mejoras de control a través de la electrónica y los nuevos materiales, más resistentes y livianos, han permitido que estos motores térmicos generen potencias que varían desde 0.5 KW hasta 104 KW de potencia.

### **1.1. PRINCIPIOS PRÁCTICOS**

Los Motores de Combustión Interna (M.C.I.) se diseñan con el propósito de realizar un trabajo de manera eficiente. Este trabajo se obtiene a partir de la energía liberada de un combustible a través de la explosión. En la fase de combustión se libera la energía del comburente a través de un aumento de presión y temperatura en la cámara de compresión; donde la mezcla de aire-combustible se ha mezclado y comprimido para tener una mejor combustión. Al ocurrir la explosión el pistón recibe la fuerza generada por la expansión de los gases, lo cual lo desplaza una distancia, este suceso es conocido como trabajo. A través de un mecanismo biela-manivela se transmite la energía liberada por el combustible, convirtiendo el movimiento rectilíneo realizado por el pistón en movimiento rotativo, como se puede observar en la figura 1.

**FIGURA 1.** Mecanismo biela-manivela



**FUENTE:** Universidad Nacional de Colombia. [En línea] 5 de mayo de 2015. DISPONIBLE EN LA WEB:  
[http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001734/lecciones/tem05/lec03\\_1\\_2.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001734/lecciones/tem05/lec03_1_2.htm)

El trabajo que realiza el motor en cada vuelta se conoce como par motor y su magnitud es proporcional a la fuerza de combustión. En este concepto no se contempla el número de vueltas del cigüeñal.

$$M = F * D \quad (1)$$

Donde  $M$  es el momento,  $F$  es la fuerza perpendicular aplicada y  $D$  es la distancia perpendicular al punto de rotación.

Para conocer la potencia que entrega el motor, se considera el trabajo efectuado durante un periodo de tiempo. Se representa por la siguiente expresión:

$$P = M * \omega \quad (2)$$

Donde  $P$  es la potencia generada,  $M$  es el momento aplicado y  $\omega$  es la velocidad angular de giro del cigüeñal.

## 1.2. TIPOS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

De acuerdo a Heywood, los Motores de Combustión Interna (M.C.I.) se clasifican en dos principalmente<sup>5</sup>:

---

<sup>5</sup> Heywood, Jhon, Internal combustion engine. 1988

### 1.2.1. Motores de 2 Tiempos

Los motores de dos tiempos fueron los primeros motores que se construyeron y el más sencillo en cuanto a su fabricación, funcionamiento y mantenimiento.

El motor de dos tiempos fue inventado por Sir Dugald Clerk en Inglaterra a finales del siglo XIX. La forma de emplear el cárter para la compresión en la toma de admisión, el control de la sincronización y la zona de escape fue patentado por Joseph Day en Inglaterra en 1891<sup>6</sup>

Este tipo de motores tuvo variadas aplicaciones gracias a su buena entrega de par y velocidad, empleándose en motocicletas, guadañas, motosierras, máquinas de arranque y motores fuera de borda.

El motor de 2T tiene como ciclos fundamentales de operación:

**Admisión- compresión:** Cuando el pistón se encuentra en el Punto Muerto Inferior (P.M.S. es el punto más bajo de la carrera del pistón), a través de la lumbrera de admisión se llena la cámara de combustión de mezcla aire-combustible, comprimiéndose a medida que sube el pistón, hasta alcanzar el punto muerto superior.

**Explosión- escape:** En el momento que el cilindro esta próximo del Punto Muerto Superior (P.M.S. punto máximo de desplazamiento de la carrera del pistón), la bujía genera la chispa para dar inicio a la combustión del comburente comprimido; con la explosión, el pistón se desplaza hacia abajo y cuando alcanza la lumbrera de escape la misma presión de los gases hacen que estos salgan de la cámara de combustión. En la figura 2 se muestra un motor de 2T.

---

<sup>6</sup> Blair, Gordon.1996. Desing and Simulation of two-stroke engines. Pg. 1

**FIGURA 2.** Motor de 2T de motocicleta 125 C.C



**Fuente:** Antonio Cuadra. HM CRE SIX COMPETITION 125 2T. [Online]. En: <http://www.moto125.cc/f125cc/reportajes/tematico/item/161-hm2t>

### **1.2.2. Motores de 4 Tiempos**

Los motores de cuatro tiempos son más eficientes y contaminan menos. En contraparte generan menor potencia que los motores de dos tiempos, pues por cada dos vueltas del cigüeñal tienen una carrera de explosión.

En el desarrollo del ciclo de este motor, hay dos modelos: el primero es el ciclo Otto, donde el encendido de la combustión se provoca a través de la bujía. El análisis de su ciclo termodinámico se realiza con las siguientes aproximaciones: la expansión es a presión constante, su compresión es adiabática, calentamiento a volumen constante, expansión adiabática, enfriamiento a volumen constante y compresión a volumen constante.

El ciclo Otto de un motor de cuatro tiempos consta de:

**Admisión:** inicia cuando el pistón está en el punto muerto superior y se desplaza hacia abajo, generando una presión de vacío para llenar su cavidad de mezcla aire-combustible. El llenado se da cuando la válvula de admisión se abre permitiendo la entrada de la mezcla hasta alcanzar el punto muerto inferior.

**Compresión:** Cuando el pistón está en el punto muerto inferior, la válvula de admisión se ha cerrado y la válvula de escape continúa cerrada, luego el pistón se desplaza hacia arriba comprimiendo la mezcla hasta alcanzar el punto muerto superior.

**Expansión:** Cuando está cercano al punto muerto superior, la bujía genera la chispa para que se presente la explosión, la cual empuja el cilindro hasta el punto muerto inferior, entregando el trabajo útil.

**Escape:** en este paso del ciclo, la válvula de escape se abre y el émbolo se desplaza hacia arriba, mientras la válvula de admisión continúa cerrada. De esta manera los gases salen del cilindro.

La figura 3 muestra un motor de 4T

**FIGURA 3.** Motor CUMMINS de 4T



**FUENTE:** CUMMINS Chile. Potencia Cummins. [Online]. En: <http://www.cummins.cl/motores-diesel/potencia-cummins/>

El segundo modelo es el ciclo Diesel<sup>7</sup>, este modelo tiene un encendido por compresión, a diferencia del ciclo Otto que la chispa es generada por la bujía. En este modelo se considera su admisión a expansión constante y compresión adiabática; en el proceso de combustión al requerir mayor tiempo en comparación al ciclo Otto, se requiere un aporte de calor que se modela a presión constante. En la explosión se representa como un proceso adiabático, debido a la rapidez con que ocurre y finalmente la fase de escape. Todo el ciclo es muy similar durante la admisión, compresión y el escape, solo se diferencia en el proceso de combustión con los motores de ciclo Otto.

### **1.3. PROCESO DE DISEÑO EN LA INGENIERÍA<sup>8</sup>**

Desde un punto de vista global y profundo, el diseño podría definirse como el proceso de abordar, adquirir y concebir ideas para el desarrollo de la solución de una necesidad o de un producto tecnológico, con la ayuda de herramientas o el uso de recursos tecnológicos.

El proceso de diseño se lleva a cabo bajo la responsabilidad de un grupo de personas constituidas y organizadas dentro de este, que conforman un departamento o empresa. El Diseño se divide en diseño de productos y en diseño de sistemas, para lo cual a medida que avanza el diseño, deben aplicarse principios de ingeniería en los que hay que tener en cuenta riesgos (positivos y negativos), restricciones, alcance y presupuesto, funcionalidad, asuntos legales, psicosociales y de recursos humanos, entre otros. Cada uno de los puntos anteriores debe llevarse de manera organizada y para ellos existen áreas o departamentos que se encarguen de gestionar y proveer los recursos necesarios. Es muy importante para una empresa saber cuáles son las necesidades del cliente, qué cantidad de material y de capital (gestión de recursos) se requiere para la elaboración de un producto o proceso, qué

---

<sup>7</sup> DIESEL. Rudolf. 1858-1913. Ingeniero alemán inventor del carburante diésel y del motor de combustión que lleva su nombre.

<sup>8</sup> GROOVER, Mikell P. Fundamentos De Manufactura Moderna 3ed.,. 2007. P.942

habilidades tienen sus trabajadores, y qué tiempo se requiere para la entrega del producto (gestión del tiempo).

Existen maneras interactivas de llevar a cabo un proceso de diseño, una de estas es el uso de gráficos o mapas, que garantice y tenga la información necesaria para elaborar un todo. En el diseño de un producto se podría hablar de hoja de ruta, la cual es un algoritmo detallado y gráfico de las operaciones de manufactura que deben llevar las piezas que compongan una máquina o un producto, en la que se describen operaciones como tratamientos térmicos, curvaturas, chaflanados, maquinados y tolerancias.

En la figura 4 se muestra un ejemplo de hoja de ruta.

**FIGURA 4.** Ejemplo de hoja ruta

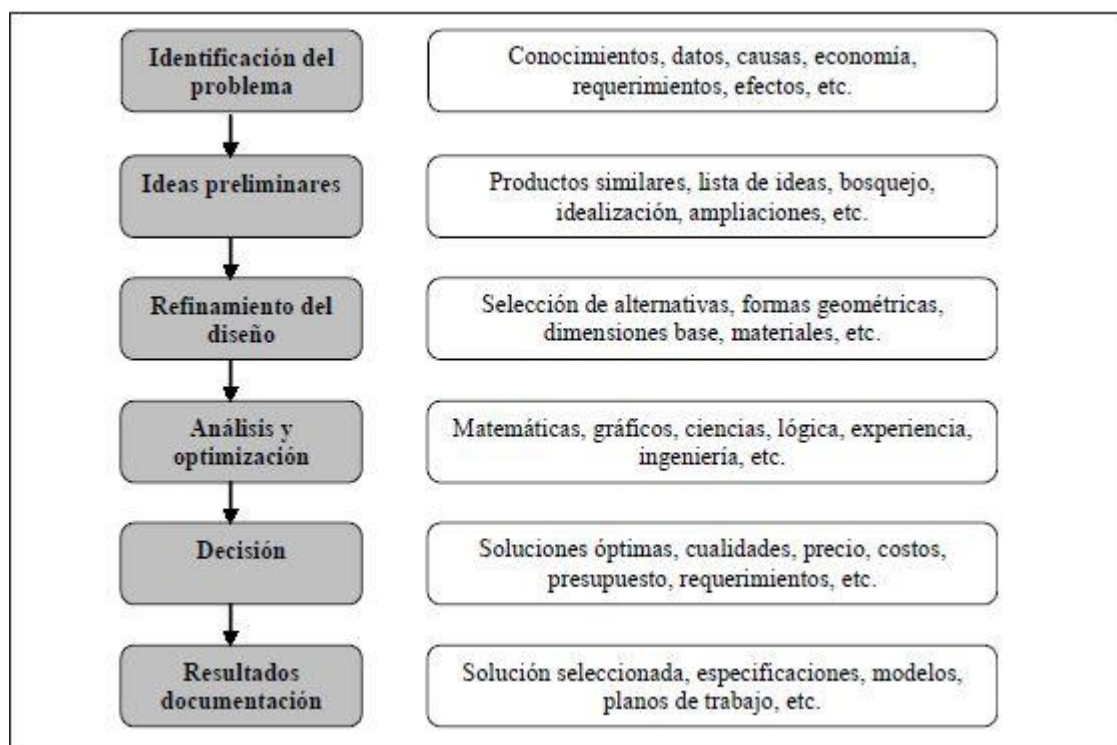
Núm. de pieza: 031393		Nombre de la pieza: Caja de la válvula		Revoluciones 2		Página <u>1</u> de <u>2</u>	
Material: 416 Inoxidable			Tamaño: 2.0 diám. × 5.0 long.		Planificador: MPG		Fecha: 3/13/XX
Núm.	Operación	Depto.	Máquina	Herram. calibr.	Tiempo de preparación	Tiempo del ciclo	
10	Cara; áspera y torneado de acabado para $1.473 \pm 0.003$ de diám. × $1.250 \pm 0.003$ de longitud; chaflán a $0.313 \pm 0.002$ ; torneado de acabado para $1.875 \pm 0.002$ de diám.; formar tres surcos de 0,125 de ancho × 0,063 de profundidad.	L	325	G857	1.9 h	8.22 m	
20	Invertido; cara a $4.750 \pm 0.005$ de longitud; torneado de acabado para $1.875 \pm 0.002$ de diám.; taladrar orificio axial $1.000 + 0.006, -0.002$ de diám.	L	325		0.5 h	3.10 m	
30	Taladrar y mandrilar tres orificios radiales en $0.375 \pm 0.002$ de diám.	D	114	F511	0.3 h	2.50 m	
40	Fresar ranura de $0,500 \pm 0,004$ de ancho × $0,375 \pm 0,003$ de profundidad.	M	240	F332	0.3 h	1.75 m	
50	Fresar plano de $0,750 \pm 0,004$ de ancho × $0,375 \pm 0,003$ de profundidad.	M	240	F333	0.3 h	1.60 m	

FUENTE: Fundamentos De Manufactura Moderna 3ed, Mikell P Groover. 2007. P.942

Otro factor importante en el proceso de diseño son las normativas que existen tanto nacionales como internacionales. Regularmente son normas de estandarización de procesos creadas por organizaciones o sociedades y muy seguramente el lector esté familiarizado con algunas de estas como la ISO (International Standards Organization), ANSI (American National Standards Institute), ASME (American Society for Mechanical Engineers).

En la figura 5 se muestra el desarrollo del proceso de diseño en la ingeniería.

**FIGURA 5.** Proceso de diseño en la ingeniería



**FUENTE:** ROJAS, OSWALDO. ROJAS, LUIS. Diseño Asistido por Computador. Departamento de Diseño y Tecnología Industrial, UNMSM. Junio de 2006.

#### 1.4. DISEÑO Y MODELADO POR COMPUTADOR (CAD-CAE-CAM)

Al hablar de diseño y modelado por computadora, se debe considerar conceptos muy importantes como el dibujo y el proceso de diseño en ingeniería; debido a que de estos se desprende y se involucra el uso de software y planificación para la elaboración de prototipos, análisis de esfuerzos, simulaciones, optimizaciones,

operaciones de maquinado e incluso cálculos de vida útil (Fatiga) para la ejecución de planes de mantenimiento.

Existen herramientas computacionales que prestan dichos servicios, algunos más completos y precisos que otros, con plataformas más visibles y más fáciles de manejar por el usuario. Algunas herramientas de este tipo empleadas en la academia son: SolidWorks, ANSYS, CATIA, COMSOL, SolidEdge, AutoCad. También se deben tener en cuenta herramientas informáticas para la planificación y orden de un proyecto, algunos ejemplos de estos son Microsoft Project, Primavera y Gantt Project.

El diseño como tal, se plantea bajo la necesidad de buscar la solución a un problema y la satisfacción de necesidades con el propósito de adaptarse a un entorno o al mundo que lo rodea. Hoy en día la tecnología le presenta al ser humano formas más eficaces, efectivas y fáciles de realizar un trabajo, para ello emplea recursos de tecnología CAD/CAE/CAM, los cuales se han venido aplicando bajo la metodología de la *ingeniería concurrente*, que no son más que un recurso de facilidad y optimización para el diseño. Por otra parte existen diseños que poseen modelos matemáticos, cálculos manuales, muy tediosos o complejos para su análisis, de esta manera la tecnología se convierte en un recurso fundamental de análisis.

Basados en el uso de CAE, se han desarrollado técnicas muy importantes como el Análisis por Elementos Finitos (FEA), “estas técnicas son usadas industrialmente desde el diseño hasta la fabricación consiguiendo optimizar costos, calidad, tiempo, seguridad”<sup>9</sup>.

#### **1.4.1. Diseño e ingeniería asistido por computador (CAD - CAE)**

El dibujo en la ingeniería es la representación gráfica en formas geométricas para la realización de un diseño sencillo o complejo. Como tal es una idealización

---

<sup>9</sup> ROJAS, OSWALDO. ROJAS, LUIS. Diseño Asistido por Computador. Departamento de Diseño y Tecnología Industrial, UNMSM. Junio de 2006.

de lo que realmente se tiene. Un ejemplo con base en el uso de un software de diseño, podría ser el análisis de transferencia de calor en un cuerpo ovalado o que no es plenamente circular usando análisis de elementos finitos (FEA), para ello, es más fácil reducir el ovalo a un círculo, y de esta manera desarrollar el trabajo de manera más práctica y simplificada.

Dentro de la industria ingenieril el dibujo se basa en la representación y ensamble de piezas, máquinas y construcciones en perspectivas, haciendo uso de la geometría descriptiva y CAD/CAE. Hoy en día, el equipo de diseño en una empresa está conformado por ingenieros de diversas disciplinas, los cuales se encargan de hacerse a una idea de cómo funcionará y cómo se elaborará el producto.

El diseño en Ingeniería Mecánica se dedica en gran medida al cálculo de transmisiones y elementos mecánicos. Aun cuando esta parte es de vital importancia, no deja de ser un paso dentro del proceso total de diseño. La integración del proceso mediante un método general permite al estudiante tener una visión más exacta del diseño, integrar los conocimientos adquiridos y aplicar un método. Al diseñador le ofrece la oportunidad de salirse de la forma empírica, muchas veces utilizada, al emprender un problema de diseño, y seguir un procedimiento más confiable.<sup>10</sup>

La tecnología y el uso de computadoras han revolucionado la manera de diseñar y realizar los dibujos en la ingeniería, permitiendo obtener gráficos en 2D y 3D que enriquecen la información del diseño, dándole gran versatilidad al diseñador a través de simulaciones que le facilitan realizar un trabajo confiable y seguro. Actualmente el dibujo en ingeniería se basa en el manejo de plataformas de paquetes informáticos (programas, software) y la comunicación eficiente entre el hombre y la máquina.

---

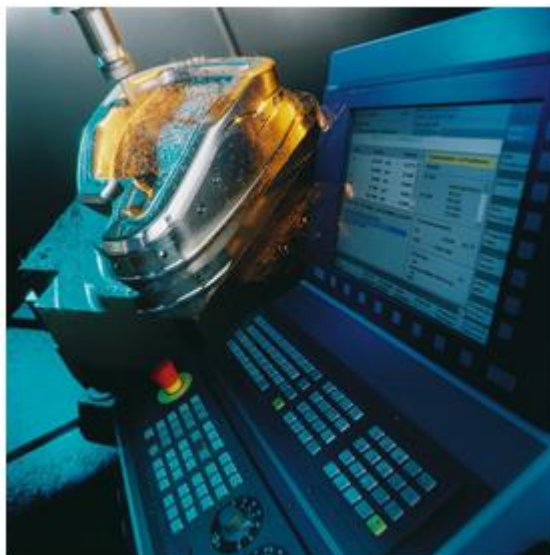
<sup>10</sup> Guillermo García P. Ingeniero Mecánico. Estudio de Postgrado en diseño de productos. Universidad de Illinois.

### 1.4.2. Fabricación asistida por computador (CAM)

El término CAM, hace referencia a las aplicaciones de software computacional de control numérico, relacionadas con planes de manufactura para: el diseño de herramientas, Diseño Asistido por Computadora (CAD) para la preparación de modelos, simulación de máquinas herramientas o post-procesamiento con el propósito de manufacturar un producto con instrucciones detalladas. Los sistemas CAM pueden ayudar a la creación, verificación y optimización de programas de control numérico para una productividad óptima de maquinado, así, como automatizar la creación de documentación de producción.<sup>11</sup>

En la figura 6 se muestra la plataforma de un software CAM que permite el modelado geométrico en 3D

**FIGURA 6.** Plataforma CAM Parasolid



**Fuente:** Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.

---

<sup>11</sup> 2015 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. Todos los derechos reservados.

## 2. GENERALIDADES

### 2.1. EL MOTOR 2T<sup>12</sup>

El motor de combustión interna de dos tiempos desarrolla los procesos de admisión-compresión y combustión-escape en una vuelta de cigüeñal, obteniéndose así una carrera de trabajo por cada vuelta del mismo. Está compuesto por elementos mecánicos, los cuales presentan características específicas y especiales en su diseño y manufactura para llevar a cabo una tarea fundamental dentro del ensamblaje, para el perfecto funcionamiento del motor. Cada elemento mecánico o pieza del motor debe ser cuidadosamente diseñado, bajo estrictos parámetros de diseño y normativas, de tal manera que cada pieza cumpla su objetivo y soporte las diferentes cargas y esfuerzos que se presentan en el momento de convertir la potencia química en potencia mecánica.

Las partes Principales de un motor 2T son los siguientes y se pueden apreciar en la figura 7:

**Cigüeñal - Biela - Pistón:** Estas tres piezas son las únicas piezas móviles del motor 2T. El movimiento se ejecuta tras el giro del cigüeñal, el cual es causado por desplazamiento del pistón por medio de la biela y esta a su vez está conectada al cigüeñal en un extremo, de tal forma se traduce un movimiento horizontal o *carrera* (hacia arriba y hacia abajo) del pistón en un movimiento rotativo del cigüeñal.

**Bloque:** En el bloque están ubicados los cilindros con sus respectivas camisas, que son cavidades practicadas en el mismo. Por cuyo interior se desplazan los pistones. La cantidad de cilindros que puede contener un motor es variable, así como su disposición en el bloque. Existen motores de uno, cuatro, seis, ocho y hasta doce cilindros, incluyendo algunos coches pequeños que emplean sólo

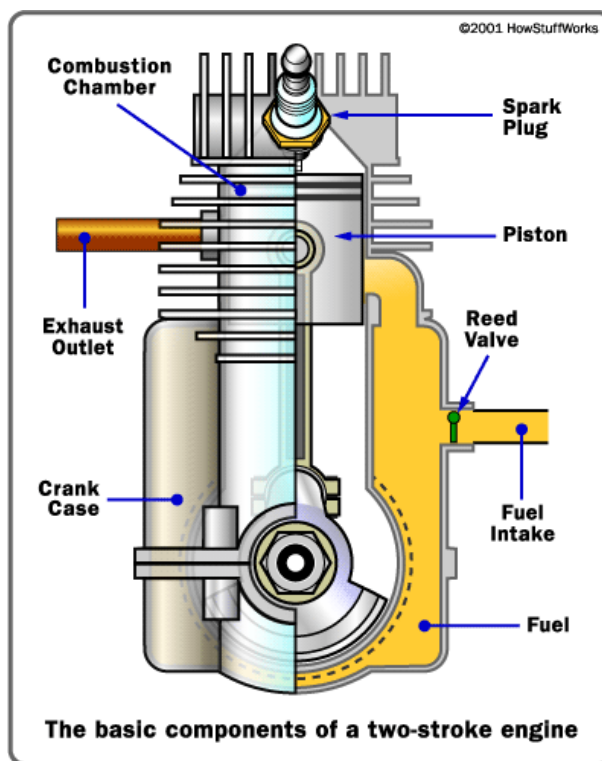
---

<sup>12</sup> GORDON. P. Blair. Design and simulation of two strokes engines. Society of automotive engineers. 1996.

tres. El bloque del motor debe poseer rigidez, poco peso y volumen, de acuerdo con la potencia que desarrolle.

**Cárter:** Es una caja metálica la cual aloja y protege al conjunto biela-manivela, entre otros elementos operativos del sistema de admisión de un motor 2T. Adicionalmente, su función es servir como cámara precompresora de la mezcla aceite-gasolina antes de ingresar a la cámara del cilindro.

**FIGURA 7.** Partes fundamentales de un motor de combustión interna de 2 Tiempos



**FUENTE:** Francisco Lajas Gonzales. Aplicación Mecánica. Descartes 2D [Online]. En: [http://recursostic.educacion.es/descartes/web/materiales\\_didacticos/Nociones\\_geometria\\_analitica/Geome\\_7.htm](http://recursostic.educacion.es/descartes/web/materiales_didacticos/Nociones_geometria_analitica/Geome_7.htm)

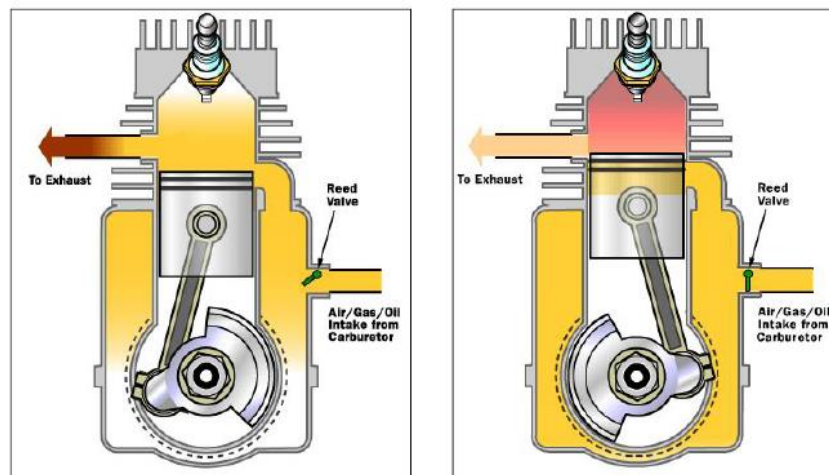
La carrera del pistón, sea ascendente o descendente, determina los ciclos fundamentales de operación los cuales son admisión – compresión y explosión – escape, como se aprecia en la figura 8.

**Admisión- Compresión:** Cuando el pistón se encuentra en el punto muerto inferior, se llena la cámara de combustión de mezcla aire-combustible a través

de la lumbrera de admisión, comprimiéndose a medida que sube el pistón, hasta alcanzar el punto muerto superior.

**Combustión- Escape:** En el momento en que el cilindro esté próximo al punto muerto superior, la bujía genera la chispa para dar inicio a la combustión de la mezcla comprimida; con la explosión el pistón se desplaza hacia abajo y cuando alcanza la lumbrera de escape la misma presión de los gases hacen que estos salgan de la cámara de combustión.

**FIGURA 8.** Ciclo de 2 Tiempos de un motor a gasolina, expansión y compresión



**FUENTE:** Andrés Enrique Ávila Montañés. Instructor SENA CIMI. Red Automotriz. . [Online]. En:< [http://andresena-autos.blogspot.com/2014\\_08\\_01\\_archive.html](http://andresena-autos.blogspot.com/2014_08_01_archive.html)>

### 2.1.1. Principios prácticos y aplicaciones

Haciendo la comparación con un motor de 4T, estos son más complejos, robustos y pesados, mientras que los motores de 2T contienen menos piezas, son más económicos y sencillos en cuanto a su fabricación, diseño, mantenimiento; debido a su buena relación peso potencia, lo hacen apto en motores de alta potencia y aplicaciones de mano. En contraparte debido al alto régimen de giro se produce mayor desgaste. Teóricamente, “Un motor de 2T de igual cilindrada y funcionando al mismo régimen de giro que otro de 4T

proporcionaría el doble de potencia, puesto que el número de carreras de trabajo es el doble. En la práctica, sin embargo, los procesos de escape y posterior llenado del cilindro se llevan a cabo de forma más imperfecta en el caso de motores de 2T y si bien, desarrollará más potencia a igualdad de condiciones, en ningún caso será el doble de un motor de 4T”<sup>13</sup>

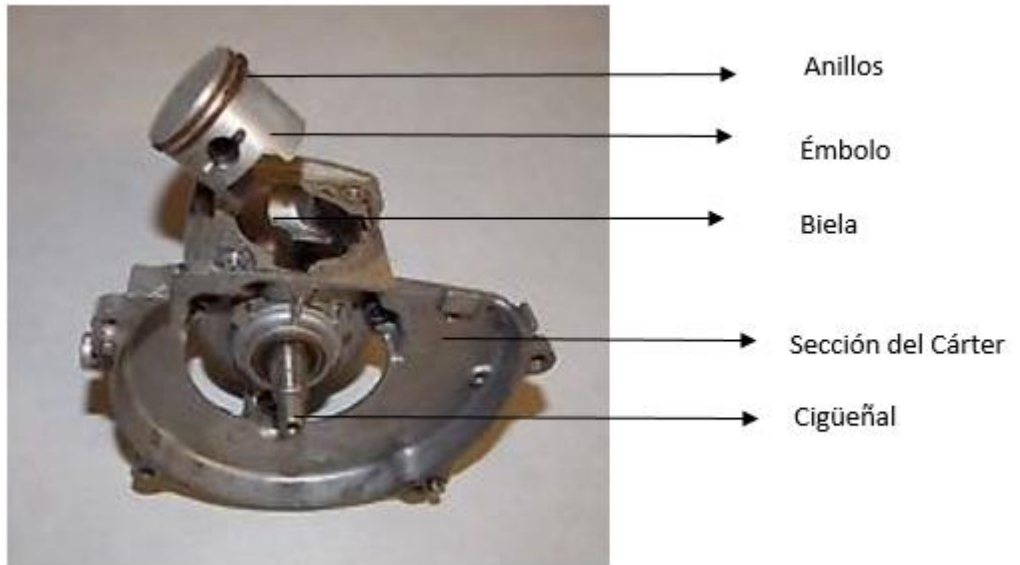
## **2.2. CÁRTER Y CARCASA**

El Cáster es una de las piezas más importantes pero menos resaltadas del motor de dos tiempos, es una caja metálica compuesta de dos piezas, las cuales alojan el mecanismo Pistón – Biela – Cigüeñal y otros elementos del conjunto del motor como se puede apreciar en la figuras 6 y 7. Además de funcionar como soporte de estas piezas, también funciona como cámara de pre-compresión de la mezcla antes de ingresar al cilindro, con el fin de que la cámara de combustión se llene a mayor velocidad. La Carcasa no cumple ninguna función correspondiente a trabajo o movimiento, tampoco interactúa en el proceso de conversión de energía, su función es sellar y proteger el ingreso de suciedad o cualquier agente externo que pueda interferir en el funcionamiento del motor, tales como polvo, partículas, líquidos exteriores al ventilador y el tambor de embrague. Incluso brindar seguridad al operario y proteger los posibles golpes del motor debido a su manipulación.

---

<sup>13</sup> PAYRI, Prof. F.; DESANTES, Prof. J. M. Modelado unidimensional de los motores de dos tiempos de pequeña cilindrada. Universidad Politécnica de Valencia: Editorial Reverté, S. A. 2004.

**FIGURA 9.** Cárter Shidaiwa B45 con cigüeñal y biela



**FUENTE:** EBAY. [En línea] 4 de mayo de 2015. DISPONIBLE EN LA WEB: <http://www.ebay.com/itm/SHINDAIWA-T20-CRANKCASE-PISTON-ASSY-/321420181622>

**FIGURA 10.** Carcasa Shindaiwa B45



### **2.2.1. DETALLES DE CONSTRUCCIÓN**

Los detalles constructivos son importantes para que el Cárter y la Carcasa puedan llegar a cumplir su trabajo de manera adecuada. Para ello se necesita que las piezas cumplan los requerimientos de resistencia, diseño y proceso de manufactura, ya que las piezas están sometidas a esfuerzos, vibraciones, posibles impactos y cargas variables que pueden causar desgaste, grietas o roturas en cada una de las piezas.

### **2.2.2. Materiales para construcción del cárter y carcasa**

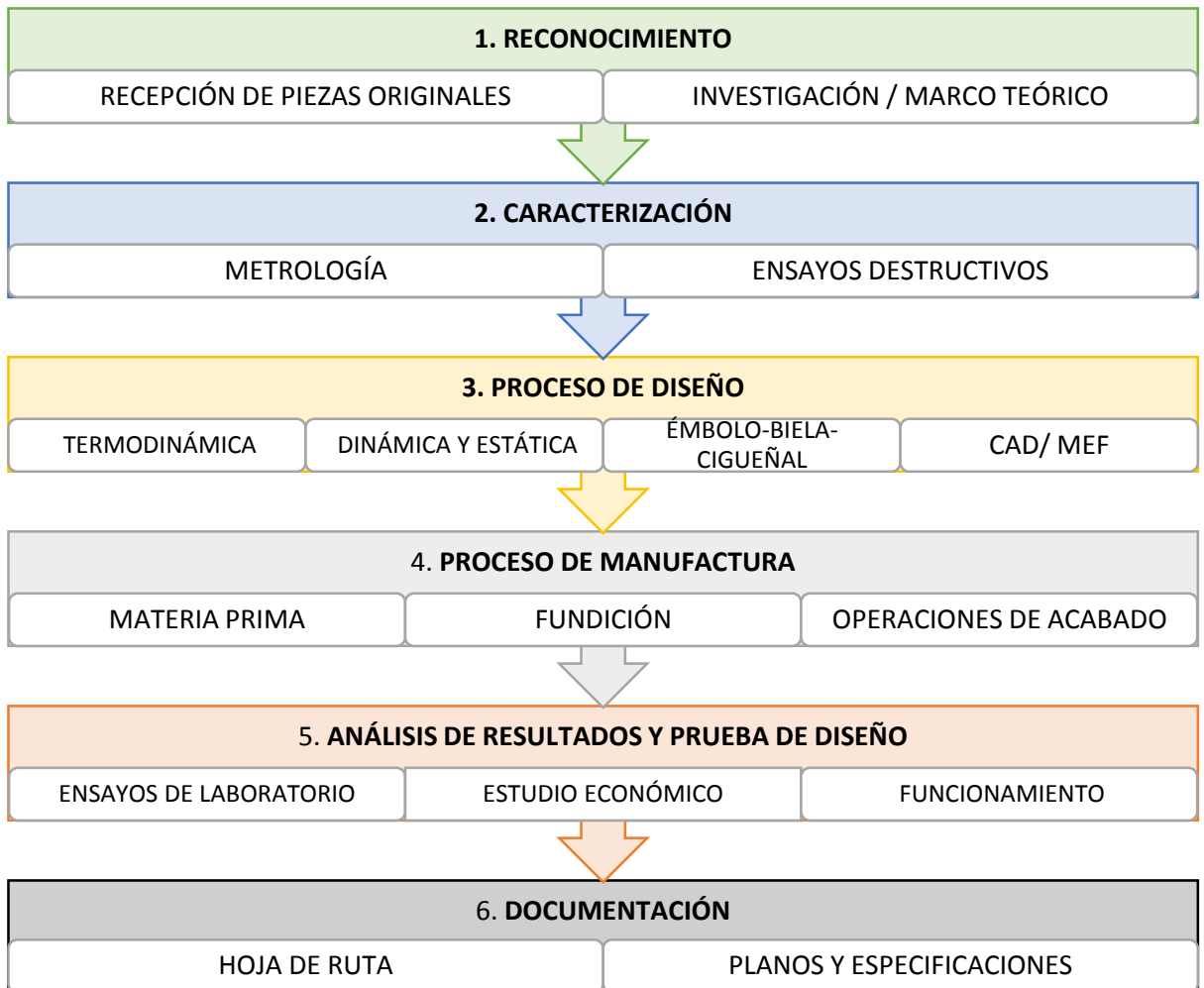
Los materiales utilizados para la construcción del cárter y la carcasa, pueden variar de manera significativa según los criterios del diseñador a la hora de seleccionarlo, teniendo en cuenta factores de vibraciones, corrosión, peso-potencia, resistencia etc. Para este tipo de aplicaciones se pueden utilizar aleaciones de aluminio o aleaciones de magnesio.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología que se llevará a cabo en el presente trabajo, permitirá desarrollar un trabajo de caracterización, proceso de diseño y manufactura junto las pruebas de diseño, que tendrán como finalidad la reingeniería y construcción de un Cárter y Carcasa para un motor 2 tiempos de pequeña cilindrada de aplicación agrícola. De igual manera, se podrán establecer los alcances y las limitaciones de llevar a cabo un proceso de creación y diseño de autopartes con tecnología local, con la participación y colaboración de entidades internas y externas a la Universidad Industrial de Santander.

En la figura 11, se aprecia el esquema del desarrollo del proyecto.

**FIGURA 11.** Esquema general de estructura y desarrollo del proyecto



### **3.1. RECONOCIMIENTO DE LA PIEZA**

#### **3.1.1. Recepción de piezas originales**

La recepción de piezas está basada en la gestión y adquisición de piezas originales. Cabe mencionar, que al hacer uso del término “originales”, se hace alusión a piezas que se consiguen en el mercado industrial del área metropolitana de Bucaramanga, y pueden ser distribuidas directamente por la empresa japonesa Shindaiwa o por pequeñas empresas que compran los motores nuevos, los desarmen y las venden como repuestos debido al alto costo de la adquisición de los mismo, siendo más viable desmontar las piezas.

#### **3.1.2. Investigación / Marco conceptual**

Posteriormente a la adquisición de la pieza, se procede a hacer una investigación a cerca de información puntual y relacionada con esta misma. Dicha información es un marco teórico, en el cual se describe el funcionamiento de la pieza, su composición, qué es y para qué sirve, entre otros factores que están involucrados indirectamente con la pieza, como por ejemplo información teórica de diseño y manufactura, tipos de motores etc. Así mismo, la parte investigativa requiere encontrar proyectos similares o antecedentes históricos investigativos que soporten el desarrollo de este trabajo.

### **3.2. CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS DE CÁRTER Y CARCASA**

La caracterización se basa en conseguir las características y descripción de la pieza con base en análisis, ensayos y mediciones, de tal forma que se especifiquen tanto el porcentaje de composición química, características de superficie y metrología de la misma. La caracterización debe llevarse a cabo con el fin de dar paso a la selección de un material estandarizado, el cual es el proceso de apertura a la reingeniería y construcción del Cáster y la Carcasa.

### 3.2.1. METROLOGÍA

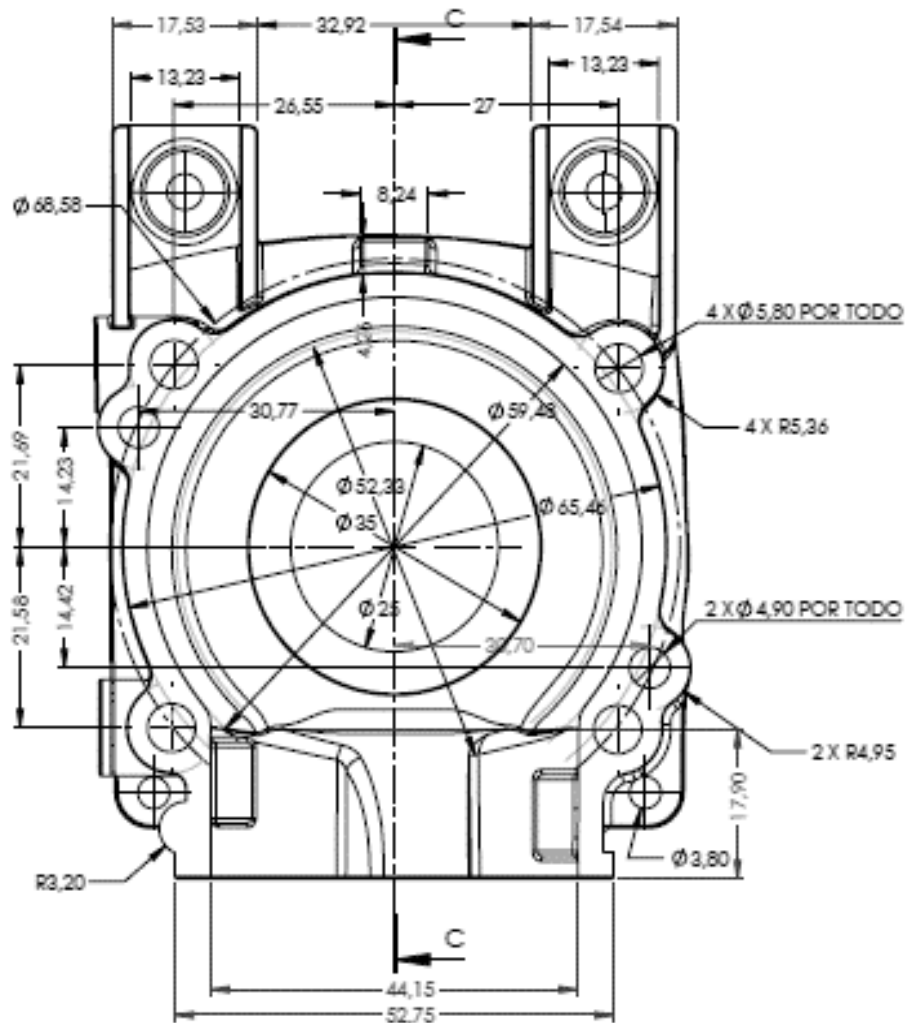
La metrología es una herramienta que apoya la gestión de calidad y competitividad de la industria, ya que permite suministrar evidencia objetiva del proceso de fabricación de un producto. En muchos casos la calidad de éstos, depende de mediciones confiables, que son suministradas por equipos de medición, los cuales deben ser precisos<sup>14</sup>.

Como primera instancia, se pretendió que la metrología fuera desarrollada en una empresa certificada con estándares de calidad para brindarle soporte a la caracterización de las piezas. Sin embargo, muy pocas empresas en el área local cuentan con laboratorio de metrología, y éstas a su vez, solo utilizan dichos bancos para trabajos propios de la empresa, como el caso de LAVCO y TRANSEJES, dos empresas representativas de la industria en el área metropolitana, pero no se consiguió el respaldo de ninguna de las dos. De esta manera, la metrología se llevó a cabo con el uso de un Vernier digital marca Mitutoyo y el modelado de las piezas en SolidWorks que se realizó previamente. A continuación, en las figuras 12, 13 y 14 se presentarán las dimensiones para cada una de las piezas del cárter y la carcasa:

---

<sup>14</sup> 2014. ICONTEC. Todos los derechos reservados. Hospedado y desarrollado por: *elaborando futuro*

**FIGURA 12.** Dimensiones de la pieza pequeña del cárter



La tolerancia de ajuste de cada una de las dimensiones especificadas en el plano, corresponden a  $\pm 0.01$  mm.





material y las dimensiones en tamaño real de las mismas. Dichas estimaciones se pueden apreciar en la tabla 1.

**Tabla 1.** Propiedades físicas y centro de masa de cada una de las piezas del cárter y carcasa

PROPIEDAD	CÁRTER 1	CÁRTER 2	CARCASA
<b>MASA (gr)</b>	84.33	180.93	123.30
<b>VOLUMEN (mm<sup>3</sup>)</b>	49606.89	63263.07	123297.35
<b>ÁREA (mm<sup>2</sup>)</b>	32633.41	46648.60	79476.89
<b>CENTRO DE MASA (gr)</b>	X = 52.18	X = 69.00	X = 105.98
	Y = 25.93	Y = 88.22	Y = 53.23
	Z = -19.97	Z = 4.79	Z = 35.01

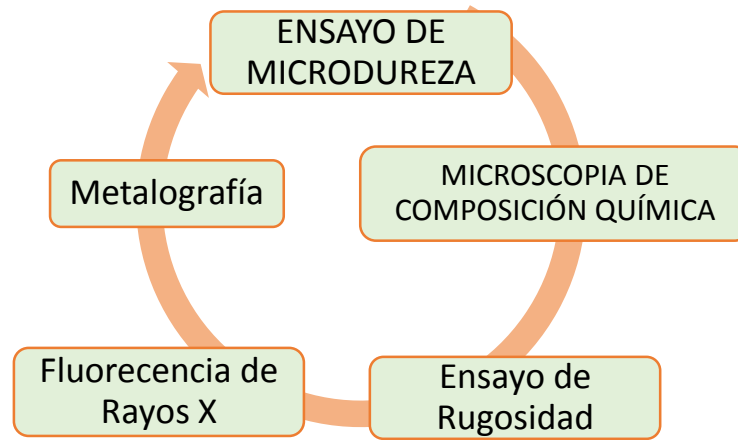
FUENTE: El Autor

### 3.2.2. ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Los ensayos destructivos son pruebas en las cuales una pieza es descompuesta o destruida con la finalidad de obtener sus propiedades físicas y químicas del material, brindando información acerca de la calidad del mismo y sus aplicaciones industriales. Dado que existen equipos tecnológicos capaces de analizar una pequeña muestra representativa para describir su totalidad, algunas propiedades que se pueden analizar son: dureza, resistencia mecánica y ductilidad.

Para llevar a cabo una caracterización completa del Cárter y Carcasa, se realizaron los siguientes ensayos destructivos: microdureza por espectroscopia, análisis de composición química por microscopia electrónica de barrido, análisis de fluorescencia de rayos x, rugosidad y metalografía. A continuación en la figura 15, se muestra el proceso de ensayos destructivos que se aplicaron a cada una de las muestras de las piezas.

**FIGURA 15.** Proceso de ensayos destructivos para la caracterización



### 3.2.2.1. MICRODUREZA

La finalidad de un ensayo de microdureza, es medir la resistencia de un cuerpo con un material específico a ser penetrado por otro. Estos ensayos, son ensayos de precisión, donde se aplican cargas muy pequeñas (varía entre 1 a 1000 gr) en la superficie de la muestra y se realiza en diferentes zonas de la misma. Este método deja una huella bastante fina y pequeña, de tal forma que su visualización y análisis debe ser llevado a cabo por medio de un microscopio. Para la ejecución del ensayo es necesario preparar la pieza por medio de lijado y pulido hasta conseguir un pulido metalográfico, también conocido como acabado espejo.

Existen tres tipos de ensayos de microdureza: Vickers, Knoop y ultrasonido. En los dos primeros ensayos, los resultados se dan en relación de la fuerza aplicada con la huella dejada al aplicarse la carga. El último de estos, mide las variaciones de frecuencia basada en la profundidad obtenida tras aplicar la carga.

El ensayo de microdureza se llevó a cabo en el Parque Tecnológico Guatiguará, en el laboratorio de espectroscopia con el apoyo del laboratorista encargado. Las piezas analizadas fueron seleccionadas según las especificaciones del

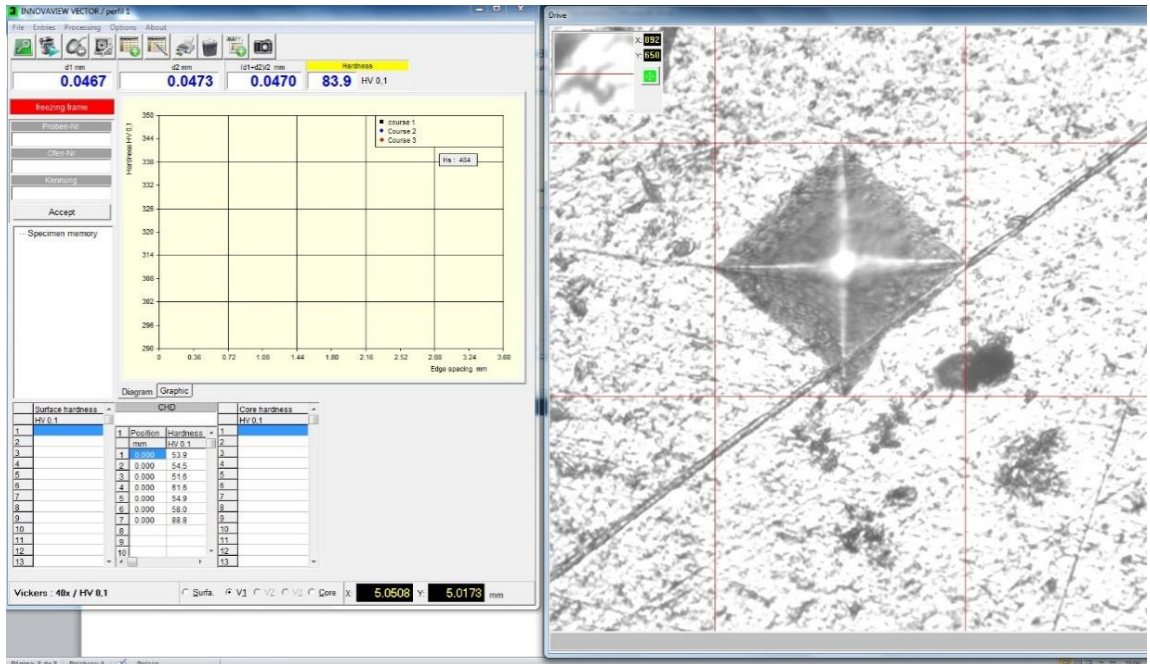
laboratorista, por lo cual, se seleccionaron dos pares de baquelitas correspondientes a los dos componentes del Cárter y una sola baquelita correspondiente a la Carcasa (Ver figura 16); las muestras fueron lijadas por diferentes tamaño de grano y pulidas con pasta de diamante hasta llevarlas a un acabado espejo.

**FIGURA 16.** Muestras para ensayo de microdureza



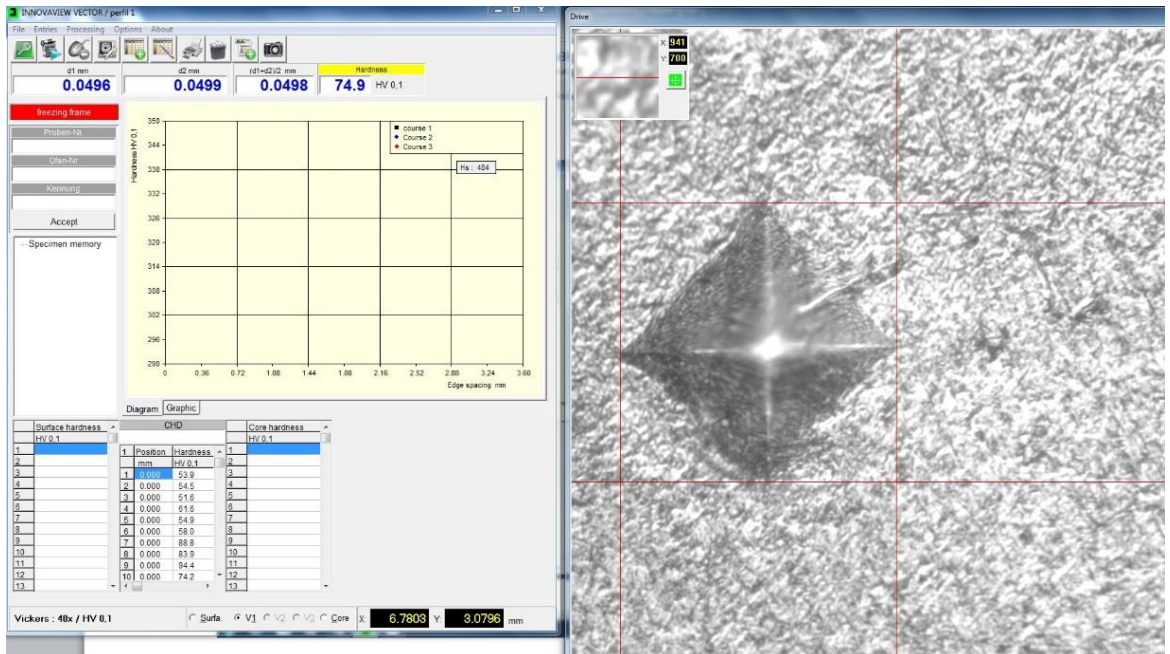
El análisis fue ejecutado con el microdurómetro marca Innovatest 400 TM series (Ver Anexo A) y bajo la norma ASTM E-92 en la cual se realizan tres pruebas. Cada una de las muestras con punta de diamante (Fuerza aplicada 0.9807N, objetivo a 20X con tiempo de identificación 10 segundos) en puntos aleatorios a la superficie de cada una de las baquelitas mostradas en la figura 16. Arroja el perfil y el resultado de la medición de la Dureza Vickers (Hv) de cada una de las piezas, como se puede apreciar en las figuras 17, 18 y 19.

**FIGURA 17.** Perfil de microdureza de la sección pequeña del cárter



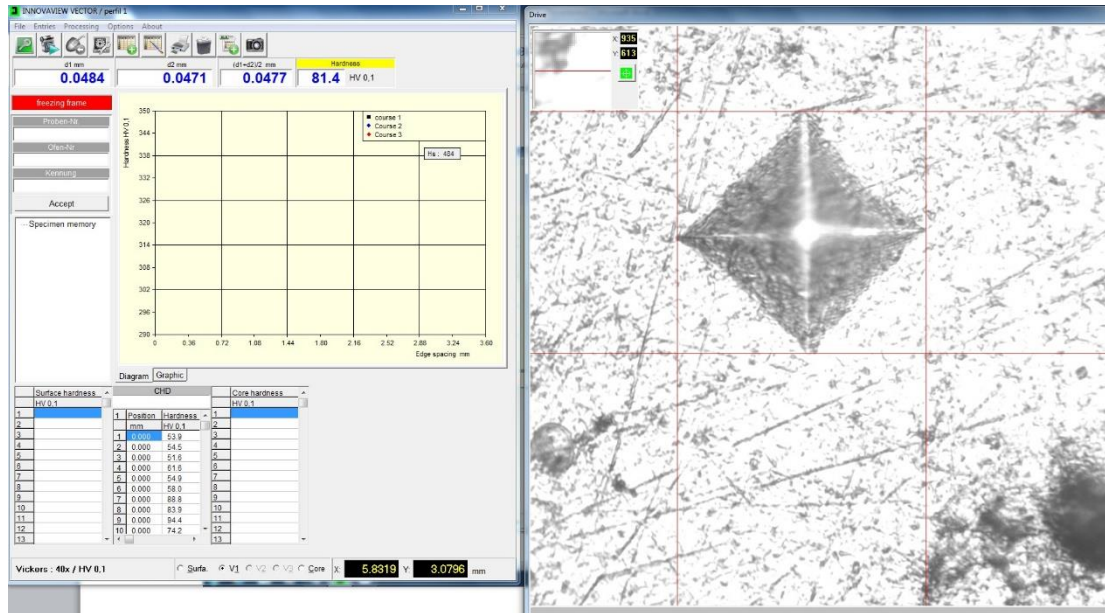
Fuente: Microdurómetro INNOVATEST 400 TM Series

**FIGURA 18.** Perfil de microdureza de la sección grande del cárter



Fuente: Microdurómetro INNOVATEST 400 TM Series

**Figura 19.** Perfil de microdureza de la carcasa



Fuente: Microdurómetro INNOVATEST 400 TM Series

A continuación en la tabla 2, se pueden apreciar los resultados de microdureza obtenidos en cada una de las muestras analizadas. Cabe resaltar que el rango de valores de microdureza variaron desde 54.9 Hv hasta 81.8 Hv, arrojando un promedio de 70.9 Hv.

**Tabla 2.** Resultados de microdureza para cada muestra

Nombre de la Muestra	d1	d2	$\frac{d1 + d2}{2}$	Microdureza Hv
<b>Cárter pequeño</b>	0,0479	0,0473	0,0476	81.8
<b>Cárter pequeño</b>	0,0577	0,0586	0,0581	54.9
<b>Cárter pequeño</b>	0,0583	0,0547	0,0565	58
<b>Cárter grande</b>	0,0521	0,0509	0,0515	69.9
<b>Cárter grande</b>	0,0503	0,0484	0,0493	76.2
<b>Cárter grande</b>	0,0511	0,0491	0,0501	73.8
<b>Carcasa</b>	0,0496	0,0467	0,0481	80
<b>Carcasa</b>	0,0484	0,0471	0,0477	81.4
<b>Carcasa</b>	0,0552	0,0538	0,0545	62.5

### 3.2.2.2. Ensayo de microscopía para composición química

Este ensayo será llevado a cabo por medio de un microscopio electrónico de barrido, el cual utilizará un campo magnético que permite enfocar los rayos catódicos y obtener una imagen tridimensional, por el examen de la superficie de las estructuras, permitiendo la observación y la caracterización de materiales orgánicos e inorgánicos. El MEB consta de una resolución de 10 nm y una profundidad de foco de 10 mm, características que a comparación de un microscopio electrónico de transmisión, este genera una vista de imágenes en tres dimensiones de las superficies de las estructuras que conforman el material.

El ensayo de microscopía fue llevado a cabo en el Parque Tecnológico Guatiguará, bajo la supervisión del laboratorista y analista asignado. Las muestras a analizar tenían como requisito estar lo suficientemente planas, lijadas y pulidas (con pasta de diamante y alúmina preferiblemente), asegurando que estén libres de contaminantes o sustancias químicas. Además deben cumplir un rango de radio de aproximadamente 1.5 cm a 2 cm para realizar el ensayo.

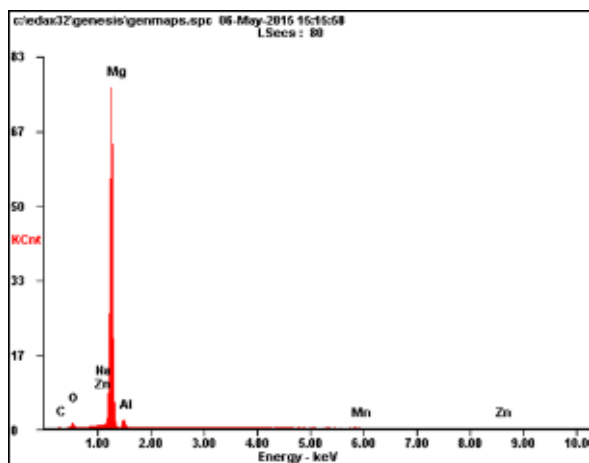
Para la obtención de las muestras se realizaron cortes tanto al cárter como a la carcasa original. Como puede observarse en la figura 20, una de las muestras contenía pintura, por ende se analizó el cuerpo central de ésta.

**FIGURA 20.** Muestras para hacer microscopía de composición química



El análisis de las muestras se llevó a cabo tras colocar cada una de las piezas en el interior del QUANTA FEG 650 (Ver anexo A), la cual es una máquina cargada con hidrógeno y realiza un barrido de electrones en las muestras para determinar la cantidad de elementos químicos existentes. La máquina se encuentra en interconexión con una computadora de alto rendimiento, arrojando los porcentajes de mayor composición del material del cual estaban hechas ambas muestras, aleaciones de magnesio-aluminio. En las figuras 21 y 22 se muestran los porcentajes peso de la composición química de las muestras analizadas.

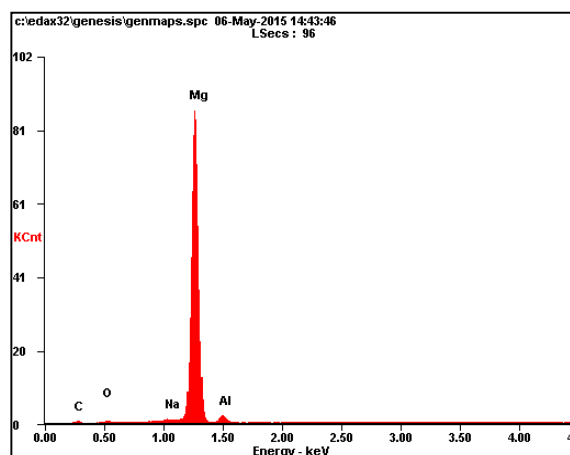
**FIGURA 21.** Composición química de muestra correspondiente al cárter



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	01.39	02.79
<i>OK</i>	02.44	03.66
<i>NaK</i>	00.40	00.42
<i>MgK</i>	85.92	84.86
<i>AlK</i>	08.87	07.89
<i>MnK</i>	00.32	00.14
<i>ZnK</i>	00.65	00.24
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

FUENTE: QUANTA FEG 650

**FIGURA 22.** Composición química de muestra correspondiente a la carcasa



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	04.95	09.52
<i>OK</i>	01.66	02.40
<i>NaK</i>	01.03	01.04
<i>MgK</i>	85.57	81.24
<i>AlK</i>	06.78	05.80
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

FUENTE: QUANTA FEG 650

La microscopia para la composición química, ayudó a la caracterización parcial de ambas piezas (cárter y carcasa), ya que se conoce los porcentajes de los elementos químicos más considerables del material de las piezas originales; los porcentajes de elementos químicos con composiciones menores a 0.2 % son despreciados por la QUANTA FEG 650.

### **3.2.2.3. Ensayo de fluorescencia de rayos X**

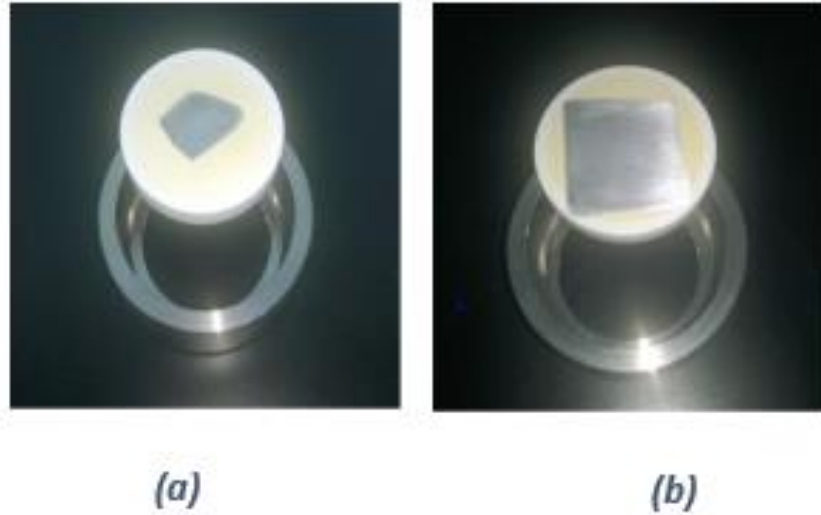
El ensayo de fluorescencia analiza la longitud de onda de los rayos fluorescentes reflejados por el material al ser bombardeo por un haz de rayos X, con la cual se puede proporcionar el porcentaje peso de la composición química del material, de manera más exacta en comparación que el MEB. Es decir, al medir la transición energética, la fluorescencia por rayos x es capaz de captar más elementos presentes en un material, aun cuando estos sean diminutos.

El análisis cuantitativo se realizó mediante el método QUANT-EXPRESS (Parámetros fundamentales) en el rango de sodio (Na) a uranio (U) en un espectrómetro secuencial de fluorescencia de rayos X, de longitud de onda de 4KW marca BRUKER modelo S8 Tiger (Ver anexo A). El tipo de detector fue centelleo para elementos pesados y flujo para elementos livianos, la fuente para los rayos X fue por medio de tubo de rodio (Rh) y un goniómetro de alta precisión para ángulos theta y 2 theta. Las muestras fueron tratadas por medio de prensado, debido al pequeño tamaño de éstas. Las muestras utilizadas fueron tomadas mediante corte del cárter y carcasa originales, pulidas con pasta de diamante, sometidas a un baño químico para eliminar impurezas, luego se compactaron con celulosa (ver figura 23) debido a su reducido tamaño y posteriormente se llevó a cabo el ensayo.

El análisis se realizó con la finalidad de obtener los porcentajes de los elementos de la aleación de magnesio ya identificada anteriormente en la microscopia con mayor precisión. Los resultados obtenidos por medio de fluorescencia de rayos X (ver tablas 3 y 4), evidenciaron un aumento de los elementos aleantes y cambios en los porcentajes de todos los elementos. La cantidad de magnesio

presente en la aleación es muy elevada respecto a los demás, por lo que se clasifica como una aleación ligera.

**FIGURA 23.** Muestra de cárter (a) y carcasa (b) compactadas por celulosa



FUENTE: BRUKER S8 TIGER

**Tabla 3.** Porcentaje de los elementos químicos presentes en el cárter

Elemento	Número atómico (Z)	Concentración
Mg	12	91,42%
Al	13	7,48%
Zn	30	0,60%
Mn	25	0,18%
Si	14	0,11%
Cl	17	0,10%
Ca	20	0,04%
S	16	0,04%
Fe	26	0,02%
<i>Elementos minoritarios</i>		
Elemento	Número atómico (Z)	Concentración
Cu	29	92 mg/Kg
Ni	28	33 mg/Kg

FUENTE: BRUKER S8 TIGER

**Tabla 4.** Porcentajes de los elementos químicos presentes en la carcasa

Elemento	Número atómico (Z)	Concentración
Mg	12	91,06%
Al	13	7,89%
Zn	30	0,65%
Mn	25	0,19%
Si	14	0,13%
Ca	20	0,04%
Cl	17	0,02%
S	16	0,01%
<i>Elementos minoritarios</i>		
Elemento	Número atómico (Z)	Concentración
Fe	26	73 mg/Kg
Cu	29	47 mg/Kg
P	15	45 mg/Kg
Pb	82	41 mg/Kg
Ni	28	27 mg/Kg
Ga	31	11 mg/Kg

FUENTE: BRUKER S8 TIGER

Algunos elementos fueron detectados pero no cuantificados. En el cárter estuvieron presentes fósforo (P), cromo (Cr) y bromo (Br); así mismo, en la carcasa el cromo (Cr).

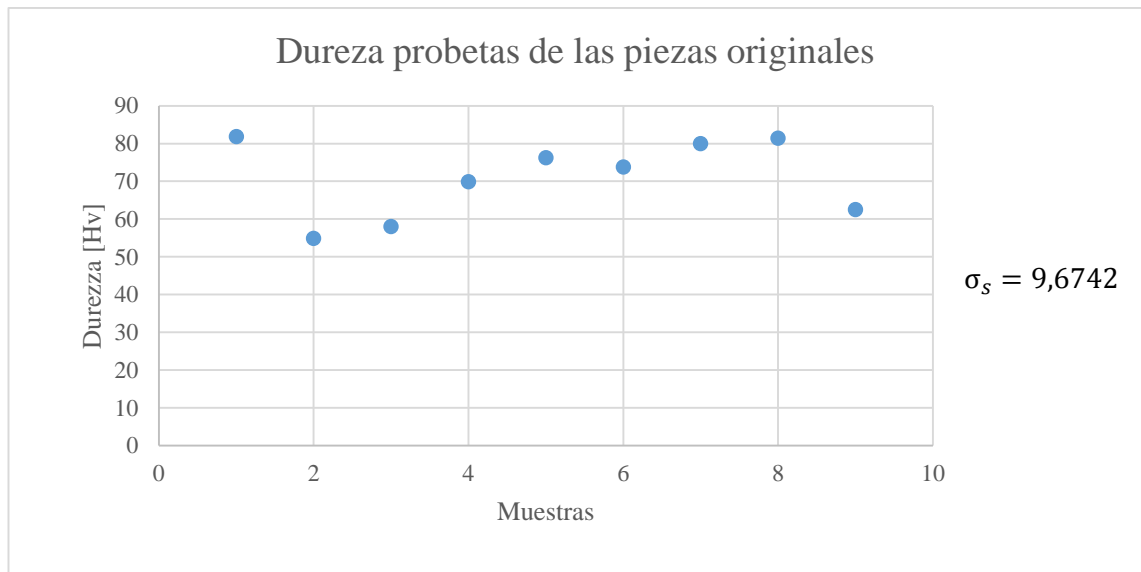
Con la finalidad de clasificar la aleación de magnesio según los resultados de composición química por fluorescencia, se recurrió a la información suministrada por el Metals Handbook, 8 edición de 1961 de la American Society for Metals, en el cual se estableció que la aleación de magnesio corresponde a AZ81A la cual reemplaza la AZ63A en la que se presentan excelentes características de ductilidad y resistencia, ver anexo B. Los parámetros para establecer el tipo de aleación descrito anteriormente, corresponden a los porcentajes aproximados de elementos químicos presentes en las muestras y a la obtención del promedio de microdureza de las dos piezas del cárter y la carcasa, mostradas en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Promedios de microdureza de cárter y carcasa

Nombre de la Muestra	Promedio de Microdureza Hv
Sección pequeña del Cárter	64.9
Sección grande del Cárter	73.3
Carcasa	76.13

Considerando los resultados de la microdureza y la desviación estándar de cada uno de ellos, se puede deducir que el valor de la dureza aumenta a medida que nos acercamos a la periferia, debido al enfriamiento más rápido de las zonas que hacen contacto con las coquillas (fundición inyectada al vacío).

**Figura 24.** Desviación estándar de resultados de microdureza



Las propiedades mecánicas como la resistencia a la tensión y la resistencia a la fluencia equivalen a 275.8 MPa y 82.4 MPa respectivamente. La T presente en la denotación de cada aleación, hace referencia a un

tratamiento térmico para aumentar resistencia mecánica llamado envejecido artificial.

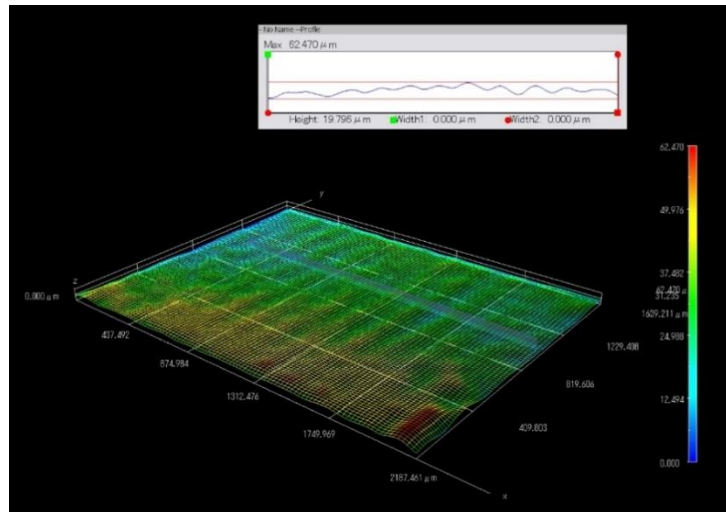
#### **3.2.2.4. Ensayo de rugosidad**

De manera generalizada, este ensayo permite definir la microgeometría de las superficies para posteriormente determinar y validar la calidad superficial de la pieza. Cualificar el nivel de rugosidad depende del acabado superficial de una pieza.

La medición de la rugosidad del Cárter y de la Carcasa se llevó a cabo por medio de un microscopio para observación en 3D, marca HIROX (Ver anexo A) perteneciente al laboratorio de pruebas del grupo de investigación GIMAT de la Escuela de Metalurgia y Ciencia de los Materiales. Las muestras analizadas fueron cortes tomados de las piezas originales, posteriormente fueron limpiadas, lijadas y pulidas hasta obtener una versión lo más plana posible de éstas.

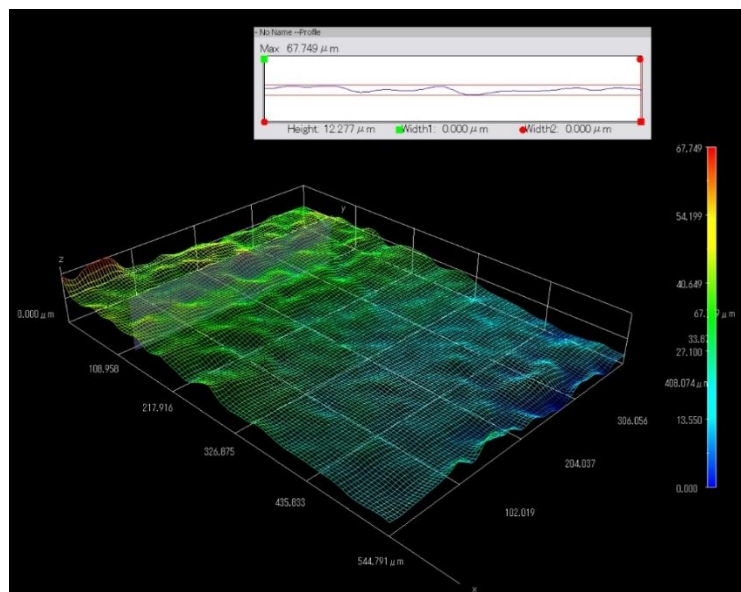
El equipo realizó la medición en la locación más estable y representativa de la superficie de ambas muestras, es decir donde la inclinación fuera mínima o no existiera; el resultando cuantificado de la rugosidad fue el valor promedio entre la altura de las crestas y los valles medidos en dicha zona. Para la muestra correspondiente al Cárter el pico máximo fue de 62.47  $\mu\text{m}$  y un mínimo de referencia de 0  $\mu\text{m}$ , por lo tanto el valor promedio fue de 19.79  $\mu\text{m}$ . Así mismo, para la muestra correspondiente a la Carcasa, el pico máximo fue de 67.75  $\mu\text{m}$ , como una referencia mínima de 0  $\mu\text{m}$ , donde se estableció un valor promedio de rugosidad de 12.27  $\mu\text{m}$ . Ver figuras 24 y 25.

**FIGURA 25.** Valor promedio de rugosidad para la muestra del cárter.



Fuente: Microscopio HIROX grupo de investigación GIMAT.

**FIGURA 26.** Valor promedio de rugosidad para la muestra de la carcasa.



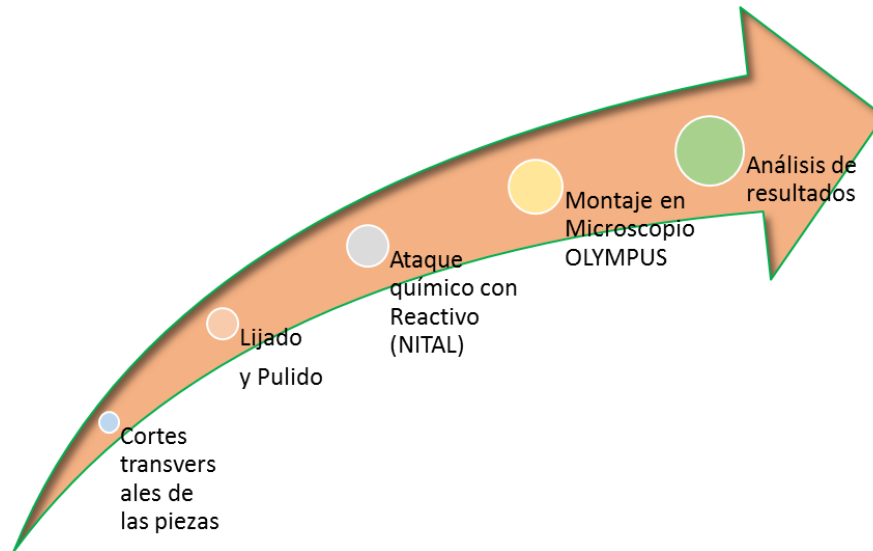
Fuente: Microscopio HIROX grupo de investigación GIMAT.

### 3.2.2.5. Ensayo de metalografía

La metalografía consiste en el análisis de la estructura y constitución de los metales o aleaciones, determinando el tamaño de grano, su forma e irregularidades presentes en el material. Tales características permiten obtener información acerca del proceso de manufactura utilizada para la fabricación de la pieza (fundida, forjada o mecanizada). Con la metalografía permite establecer

qué tipo de tratamiento se ha utilizado e inclusive dar una aproximación respecto al tipo de material de la pieza. La figura 26 muestra el proceso para realizar el ensayo de metalografía.

**FIGURA 27.** Proceso de ejecución del ensayo metalográfico



El ensayo de metalografía fue realizado en la Universidad Industrial de Santander, en la planta de aceros adscrita a la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales. Este ensayo se debió realizar en primera instancia para la caracterización de ambas piezas (ver figura 27), pero debido a que se desconocía el tipo material del cual estaban hechas las piezas, no se lograba revelar la metalografía de las muestras, dado que los reactivos empleados no revelaban la estructura del material de manera apropiada. Por tanto, el ensayo de metalografía fue el último en emplearse para caracterizar el material tanto del cárter como la carcasa.

**FIGURA 28.** Piezas del cárter originales



Principalmente se llevó a cabo el corte del cárter y la carcasa originales por medio de una máquina cortadora con disco de diamante y refrigerado por taladrina marca BUEHLER (Ver Anexo A). Esta máquina se empleó para el corte de las muestras de los ensayos anteriores como se puede apreciar en la figura 28. Posterior al proceso de corte de las piezas, se realiza la selección de los cortes más aptos para la metalografía. Las cinco muestras (dos de la sección pequeña del cárter, dos de la sección grande del cárter y uno de la carcasa), fueron conformadas en base cilíndrica de baquelita, por medio de una máquina de prensado manual marca METASERV. Ver figura 29.

**FIGURA 29.** Muestras para conformar en baquelita



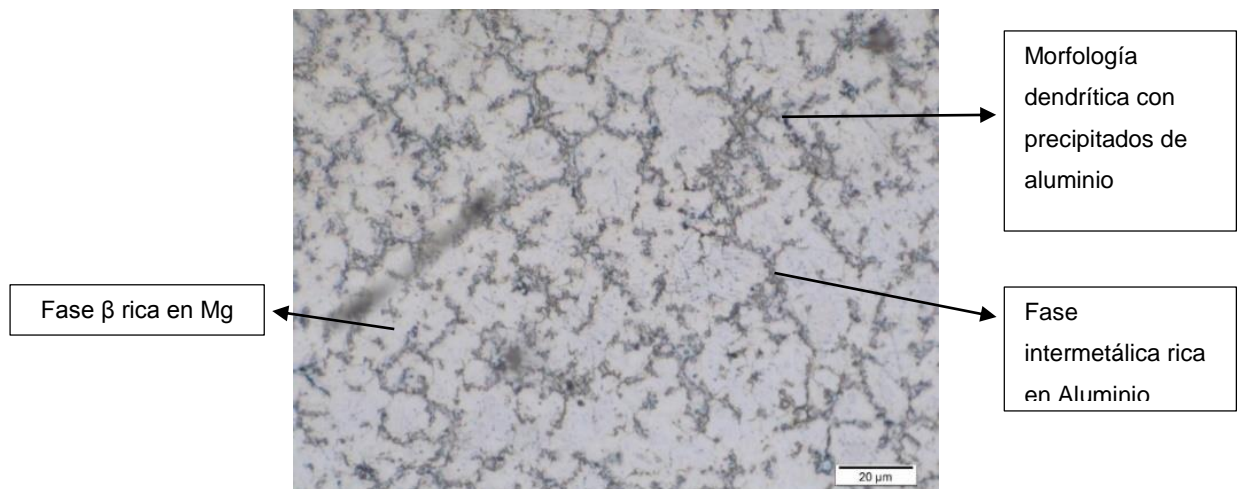
**FIGURA 30.** Segmento de baquelita



Paso siguiente a obtener las piezas en baquelita, se lijaron las muestras en una máquina marca BUEHLER, la cual consta de la rotación de una lija en forma de banda. El lijado se realizó de manera secuencial, empezando con lijas de calibre 60 terminando con lijas de calibre 1200. Hasta obtener un segmento transversal definido. Posterior al lijado, las muestras son pulidas sobre una máquina marca METASERV que consta de dos plataformas circulares giratorias bañadas en pasta de diamante o Alúmina en suspensión de  $0,05 \mu\text{m}$ , con lo cual se consigue el acabado espejo de las muestras. Finalmente las baquelitas fueron atacadas

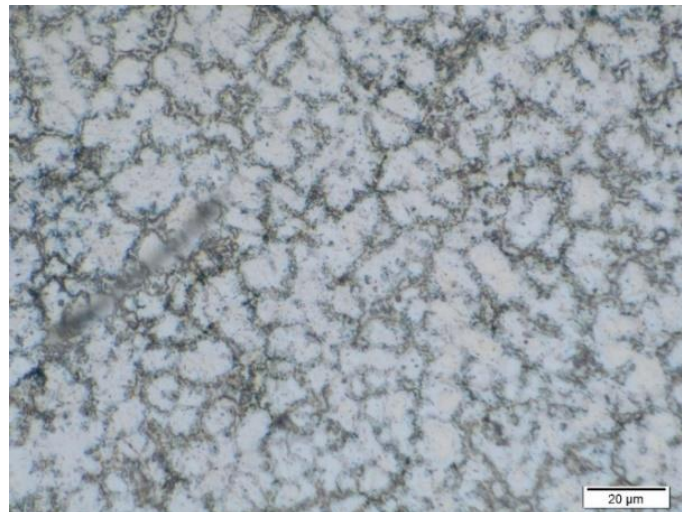
con el reactivo, según la norma ASTM E407. El ataque del reactivo hacia la muestra es de aproximadamente cuatro segundos para evitar quemar la superficie. Por medio de un Estereoscopio marca OLYMPUS, se pudo observar que en su estructura no se observan tratamientos térmicos ni recubrimientos superficiales, como se puede apreciar en las figuras 30, 31 y 32 correspondientes a cada de las muestras analizadas.

**FIGURA 31.** Probeta de muestra correspondiente a la pieza de cárter pequeña



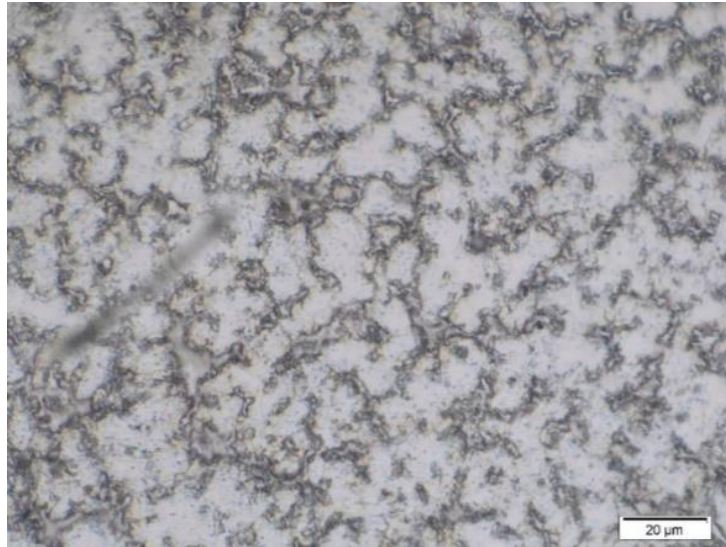
**Fuente:** Microscopio OLYMPUS

**FIGURA 32.** Probeta de muestra correspondiente a la pieza de cárter grande



**Fuente:** Microscopio OLYMPUS

**FIGURA 33.** Probeta de muestra correspondiente a la pieza de la carcasa



**Fuente:** Microscopio OLYMPUS

### **3.3. PROCESO DE DISEÑO**

El proceso de diseño consiste en el análisis químico en conjunto con propiedades mecánicas y el diseño visible, implementando una simulación por medio de paquetes de software. El proceso de diseño debe considerar el proceso de caracterización, para posteriormente llegar a manufacturar los prototipos de cárter y carcasa.

#### **3.3.1. Especificaciones de diseño del cárter y la carcasa**

En las especificaciones de diseño se aprecian cada una de las partes principales que conforman el cárter y la carcasa, junto con las características del motor Shidaiwa B45, extraídas de los manuales del fabricante.

##### **3.3.1.1. Especificaciones de un motor shindaiwa b45**

Las especificaciones nominales del motor Shindaiwa B45, que se tendrán en cuenta para realizar el diseño del cárter y la carcasa se presentan en la tabla 6.

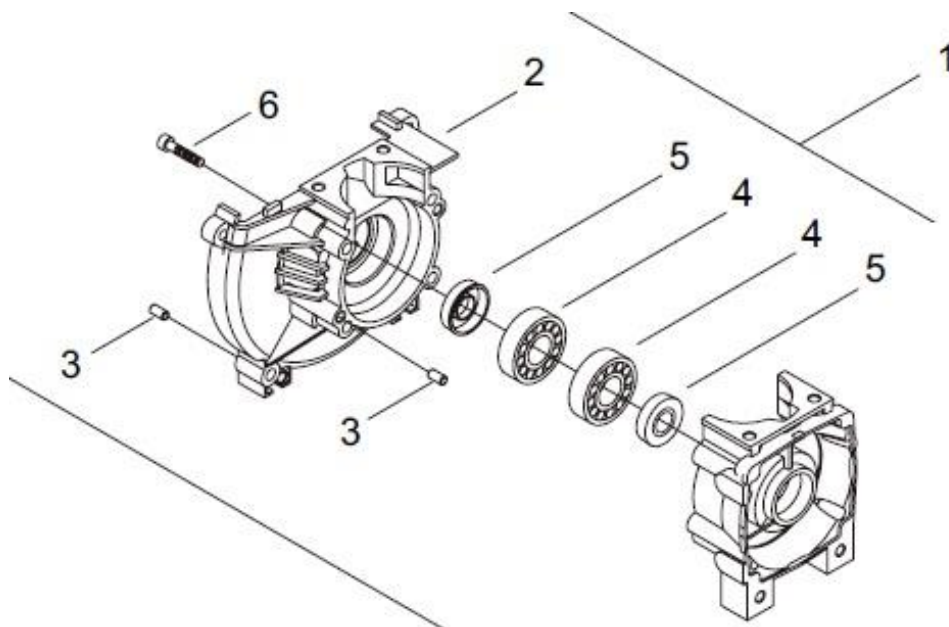
**Tabla 6.** Especificaciones del motor Shidaiwa B45

CILINDRADA	41,5 cm <sup>3</sup>
DIÁMETRO	40 mm
RELACIÓN CORREA/DIÁMETRO	0,825
Bmep	327,7 KPa
POTENCIA NOMINAL	1,7 kW
REVOLUCIONES POR MINUTO NOMINAL	7500RPM
RELACIÓN DE COMPRESIÓN	8:1
POTENCIA POR UNIDAD DE VOLUMEN	41,0 kW/L
PESO POR UNIDAD DE POTENCIA	8,10 kg/kW
CAPACIDAD DEL DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE	1000 cm <sup>3</sup>
RALENTÍ	2750 r.p.m.
MÁXIMA REVOLUCIONES	11500 r.p.m.
POTENCIA MÁXIMA	2,3 HP

### 3.3.1.2. Partes del cárter y la carcasa

Para un motor de dos tiempos de pequeña cilindrada Shindaiwa B45, el cárter (ver figura 33) está compuesto de dos piezas principales y de otros elementos ajustables y desmontables (kit de cárter) descritos en la tabla 7; como los rodamientos de bolas, los sellos y los tornillos que lo ajustan.

**FIGURA 34.** Kit de cárter



FUENTE: Shindaiwa Illustrated part list, B45 Brushcutter

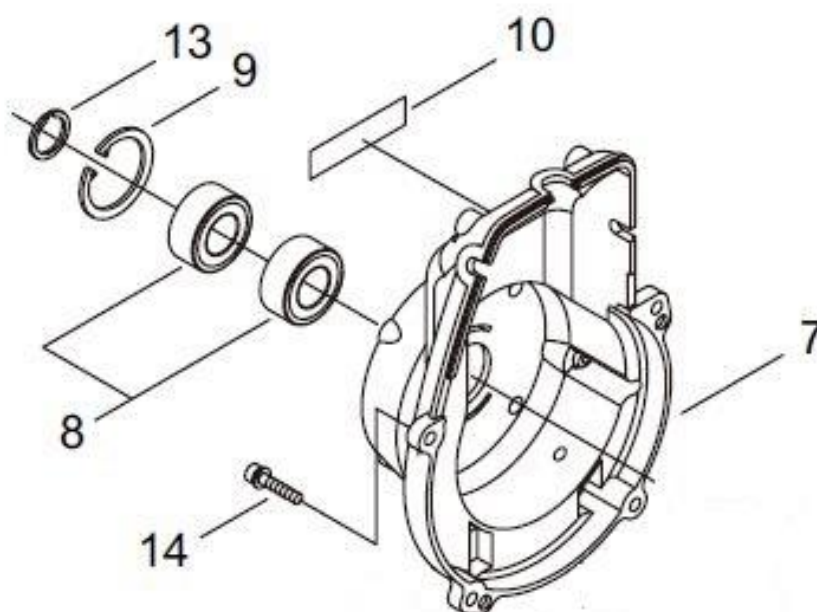
**Tabla 7. Partes del cárter**

NO.	ECHO P/N	SHINDAIWA P/N	QTY.	DESCRIPCIÓN	DESCRIPTION
1	TBA	70012-21002	1	KIT DE CÁRTER	CRANKCASE KIT
2	+ A120000430	70012-21121	1	CÁRTER - M	CRANKCASE -M
3	+ V623000060	12492-50100	4	CLAVIJA - 5X10	PIN, DOWEL - 5X10
4	+ V592000030	12900-62020	2	COJINETE DE BOLAS - 6202C3	BEARING, BALL - 6202C3
5	+ V508000050	20010-21211	2	SELLO, ACEITE	SEAL, OIL
6	+ 90010505030	01020-05300	4	TORNILLO - 5X30	SCREW - 5X30

FUENTE: Shindaiwa Illustrated part list, B45 Brushcutter

La carcasa es una pieza grande fundida, la cual aloja los rodamientos y la campana de embrague junto a las partes pequeñas tales como anillos, tornillos, chavetas y retenedor. Ver figura 34 y tabla 8.

**FIGURA 35. Kit de carcasa**



FUENTE: Shindaiwa Illustrated part list, B45 Brushcutter

**Tabla 8. Partes de la carcasa**

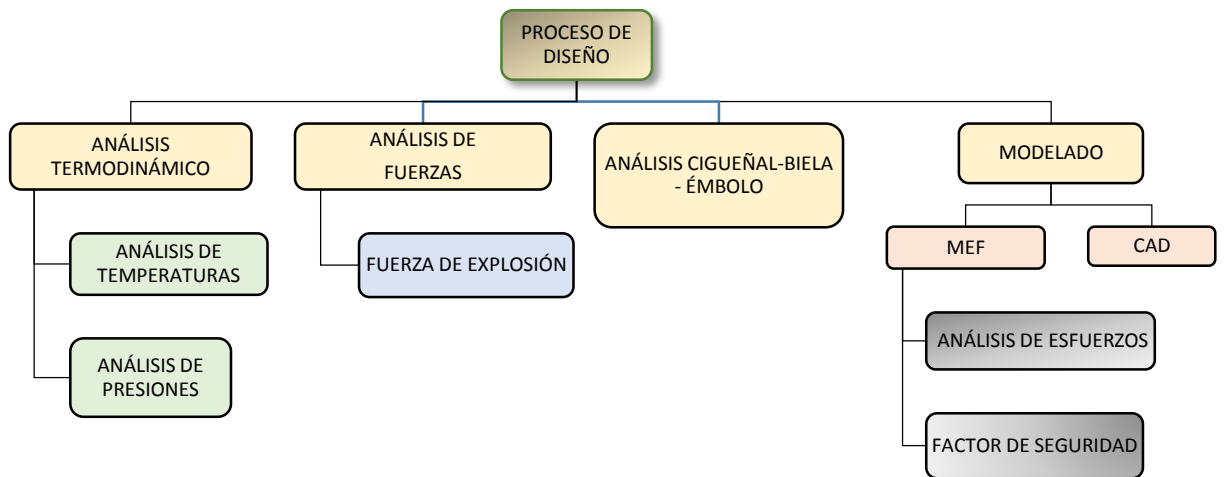
7	A172001300	70012-31111	1	CARCASA, VENTILADOR	CASE, FAN
8	90080206002	02006-06002	2	COJINETE DE BOLAS - 6002DDU	BEARING, BALL - 6002
9	9242432000	02432-32120	1	ANILLO, RETÉN - 32	RING, RETAINING - 32
10	X504002620	70080-31150	1	ETIQUETA - MODELO	LABEL - MODEL
11	A055000020	20021-31200	1	KIT DE TAMBOR DE EMBRAGUE	CLUTCH DRUM KIT
12	+ V582000090	20021-31220	1	ANILLO, RETÉN - 11	RING, RETAINING - 11
13	V583000180	20011-31230	1	ANILLO, RETÉN	RING, RETAINING
14	V203000350	11022-05200	4	TORNILLO - 5X20	SCREW - 5X20

FUENTE: Shindaiwa Illustrated part list, B45 Brushcutter

### 3.3.2. Proceso de diseño

En el proceso de diseño se deben considerar los diferentes aspectos en cuanto a resistencia, fatiga y vibraciones a las cuales están sometidas las piezas. Para ello, se realizará el análisis termodinámico, de fuerzas, cinemático y el modelado empleando SolidWorks. La figura 35 muestra el organigrama de diseño.

**FIGURA 36.** Organigrama del proceso de diseño del cárter y carcasa

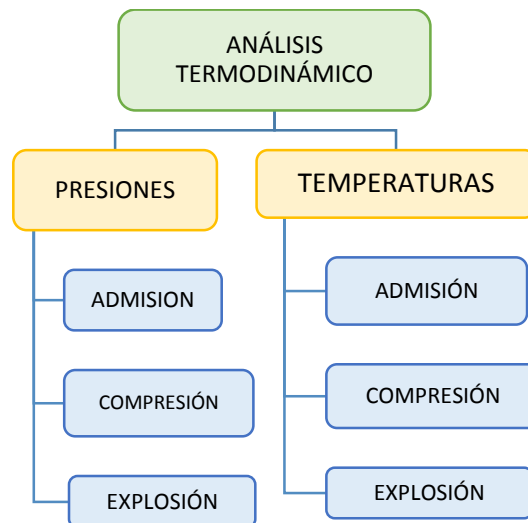


### 3.3.3. Análisis termodinámico y fuerzas

El análisis termodinámico en la cámara de combustión busca la manera de cuantificar la energía química liberada en la cámara de combustión en forma de temperatura, presión y fuerza. Dichas características permiten analizar el desempeño del motor y sus piezas. Posteriormente al hallar la fuerza máxima aplicada en el pistón producto de la explosión, se procede a analizar su efecto a lo largo del pistón, la biela, el cigüeñal y por último, los asientos del cárter.

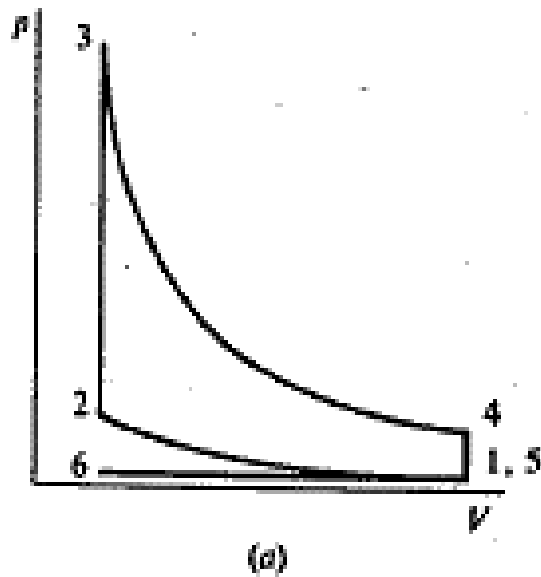
La figura 36 muestra las presiones y temperaturas que se calcularán en la fase de admisión, compresión y combustión.

**FIGURA 37.** Organigrama del proceso termodinámico



Para empezar el análisis cuantitativo de las presiones y temperaturas en la admisión, compresión y escape, es necesario conocer el diagrama del ciclo Otto, mostrado en la figura 37.

**FIGURA 38.** Comportamiento ideal de la presión de admisión



Fuente: HEYWOOD, john. Internal combustion engine fundamentals. McGraw Hill: USA, 1998. P. 163

### 3.3.2.1. Análisis de la presión de admisión

Inicialmente se calcula la presión la presión de admisión, con base en Jovaj.

$$Pa = 1,05pk \quad (3)$$

$$Pa = 1,05 * 90315 \text{ [Pa]}$$

$$Pa = 94830.75 \text{ [Pa]}$$

Donde  $Pa$  es la presión de admisión, ( $Pk$ ) es la presión atmosférica debido a que no hay sobrealimentación. La presión atmosférica de referencia de la ciudad de Bucaramanga es de  $90.315 \text{ Kpa} = Patm = pk$  a la altura de 959 msnm. El resultado anterior, que equivale a 0,95 [bar] aproximadamente, la cual se encuentra en el rango de presión de 0,8 [bar] – 1,6 [bar] para un motor de dos tiempos de pequeña cilindrada que trabaja entre las 3500 rpm a 7500 rpm.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> CLIMENT, Héctor. Modelado unidimensional de los motores de dos tiempos de pequeña cilindrada. Editorial Reverté. Barcelona. 2004. p. 70-71.

### 3.3.2.2. Análisis de la temperatura de admisión ( $T_a$ )

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \varphi \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} \quad (4)$$

$T_a$  = Temperatura del ciclo de admisión [Kelvin]

$T_o$  = Temperatura inicial [Kelvin]

$\Delta T$  = Incremento de temperatura en el proceso

$\varphi$  = Relación entre los calores específicos de la carga y la mezcla

$\gamma_r$  = Coeficiente de gases residuales

$T_r$  = Temperatura de los gases residuales

En donde:

-  $T_o = 295,15 \text{ K}$  "Clima promedio de la ciudad de Bucaramanga"<sup>16</sup>

-  $\varphi = 1$  ya que se desprecia la relación entre los calores específicos de la carga fresca y los gases residuales  $c_p'' = \varphi c_p$  (Jovaj p. 93)

-  $\Delta T = 20$  es la ganancia de temperatura de la mezcla al ingreso en la cámara de compresión (Jovaj p. 92)

- En motores Diesel el coeficiente de presión de los gases residuales  $\gamma_r$  varía entre (0,03 y 0,06), se toma el valor que hace que la fuerza sea máxima:

$\gamma_r = 0.06$  [Adimensional]

-  $T_r$  para motores a gasolina varía entre (700K y 900K) tomamos el valor de temperatura máxima.

---

<sup>16</sup> Alcaldía de Bucaramanga, 23 de Agosto de 2015,  
<http://www.bucaramanga.gov.co/Contenido.aspx?Param=9>, consultado el día 23/08/15

Reemplazando los valores anteriores en (4) se obtiene:

$$T_a = \frac{295,15 K + 20 K + (1)(0,06)(900K)}{1 + 0,06}$$

$$T_a = 348,24 K$$

La Temperatura del Ciclo de admisión será 348,24 K este resultado se encuentra en el rango de temperatura común para un motor de dos tiempos que va desde 250 [K] – 2500 [K] en el rango de giro de 0° a 45°.<sup>17</sup>

### 3.3.2.3. Presión de compresión

$$P_c = P_a \epsilon^{n_1} \quad (5)$$

Donde:

$P_c$  = Presión en el ciclo de compresión en MPa.

$P_a$  = Presión en el ciclo de admisión en MPa.

$n_1$  = Exponente Politrópico medio de compresión (Adimensional).

$\epsilon$  = Relación de Compresión.

Reemplazando en la ecuación (5) se obtiene:

$$P_c = P_a \epsilon^{n_1}$$

$$P_c = 95191 P_a (8)^{1,36}$$

$$P_c = 1609897,669 P_a$$

$$P_c = 1,61 MPa$$

---

<sup>17</sup> FERGUSON, Colin R. Internal Combustion Engine. Editorial John Willy & Sons, Inc. New York. 2001. p. 44.

La presión anterior equivale aproximadamente a 16 [bar], esta se encuentra en el rango de presión promedio entre los 0 [bar] y 40 [bar] en los que opera un motor de dos tiempos de pequeña cilindrada que trabaja entre 3500 rpm y 9000 rpm.<sup>18</sup>

#### 3.3.2.4. Análisis temperatura de compresión (Tc)

$$T_c = T_a \epsilon^{n1-1} \quad (6)$$

Fuente: Libro de Jovaj, p.112.

Donde:

$$T_c = T_a \epsilon^{n1-1}$$

$$T_c = (348,24 K) (8)^{1,36-1}$$

$$T_c = 736,19 K$$

La temperatura de compresión se encuentra en el rango de temperatura inicial para un motor típico de dos tiempos que opera a 9600 rpm.<sup>19</sup>

#### 3.3.2.5. Análisis de presión de explosión (Pz) y temperatura de explosión (Tz)

Debe tenerse en cuenta que la presión de explosión es la presión máxima producida en el ciclo termodinámico del motor.

$$P_z = \mu_r \frac{T_z}{T_c} P_c \quad (7)$$

Fuente: Jovaj, p. 640.

---

<sup>18</sup> CLIMENT, Héctor. Modelado unidimensional de los motores de dos tiempos de pequeña cilindrada. Editorial Reverté. Barcelona. 2004. P. 204-206.

<sup>19</sup> CLIMENT, Héctor. Modelado unidimensional de los motores de dos tiempos de pequeña cilindrada. Editorial Reverté. Barcelona. 2004. P. 204-206.

Donde:

$P_z$  = Presión en la explosión (MPa).

$\mu_r$  = Coeficiente real de variación molecular (adimensional).

$\mu_o$  = Es el coeficiente teórico de variación molecular, comúnmente se emplea con magnitud de 1.08 (Adimensional).

La presión de explosión está en términos del coeficiente real de variación molecular, reemplazando valores en la ecuación de coeficiente real se obtiene:

$$\mu_r = \frac{\mu_o + \gamma_r}{1 + \gamma_r} \quad (8)$$

$$\mu_r = \frac{(1,08) + (0,06)}{1 + (0,06)}$$

$$\mu_r = 1,075$$

Donde:

$\gamma_r = 0,06$  Coeficiente de gases residuales

La Temperatura de Explosión ( $T_z$ ), está dado como valor crítico de temperatura donde  $T_z = 2615 \text{ K} = 2341,85 \text{ °C}$ , según Ferguson en Internal Combustion Engine, p.123.

Reemplazando el valor de coeficiente real y la temperatura de explosión en (7) se obtiene:

$$P_z = 1,075 * \frac{2615 \text{ K}}{736,19 \text{ K}} * 1,6 \text{ MPa}$$

$$P_z = 6,11 \text{ MPa}$$

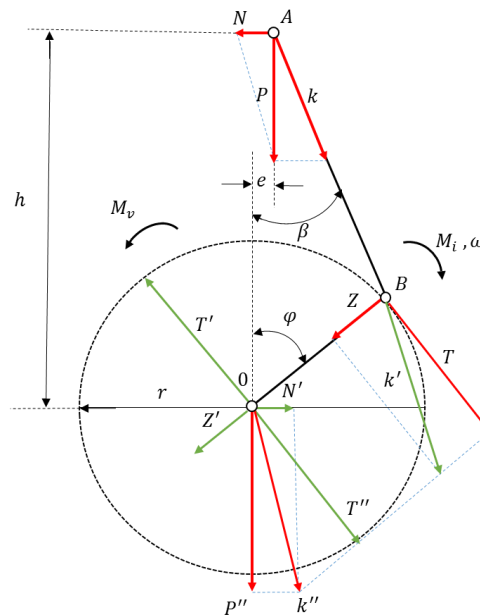
### 3.3.3. Análisis dinámico

Para el análisis dinámico se debe considerar los ciclos termodinámicos que realiza el motor en función del ángulo de giro del cigüeñal. Haciendo énfasis en

la fase de combustión, donde se produce la carrera de entrega de trabajo útil y la mayor fuerza que soportan el mecanismo émbolo-biela-cigüeñal, transmitiendo su fuerza a los rodamientos del cárter.

A continuación en la figura 38, se presenta las distribuciones de las fuerzas que actúan en el mecanismo biela-manivela producto de la combustión.

**FIGURA 39.** Fuerzas y momentos de inercia.



Fuente: JÓVAJ, M. S. Motores de automóvil. Moscú: Editorial MIR, 1982 pag. 93

### 3.3.3.1. Análisis de fuerza de combustión (Fz)

El análisis de la fuerza de explosión está directamente relacionada con la presión de explosión ( $P_z$ ) y del diámetro del émbolo. La fuerza de explosión se distribuye a través del mecanismo émbolo-biela – Cigüeñal, y es la necesaria para determinar la criticidad en los asientos del cárter.

Calculando la Fuerza de Explosión se tiene

$$F_z = P_z * A_{\text{émbolo}} \quad (9)$$

$$A_{\text{émbolo}} = \frac{\pi * \phi^2}{4} \quad (10)$$

$$A_{\text{émbolo}} = \frac{\pi * 40 \text{ mm}^2}{4}$$

$$A_{\text{émbolo}} = 1256.64 \text{ mm}^2 = 12.57 \text{ cm}^2$$

Reemplazando el Área del émbolo en (9) se tiene

$$F_z = 6.11 \text{ MPa} * \frac{12.57 \text{ cm}^2}{10000}$$

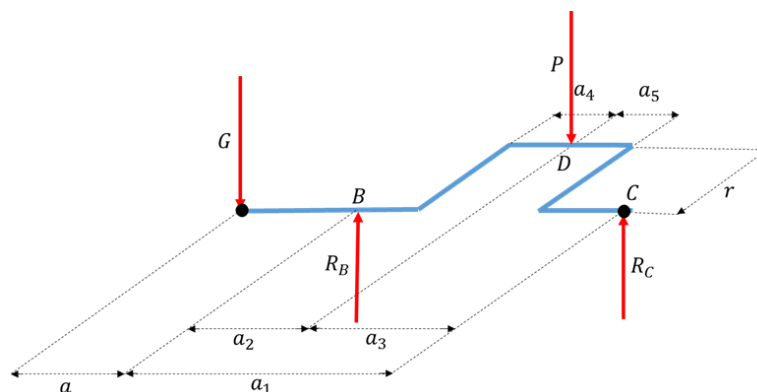
$$F_z = 7680,27 \text{ N}$$

### 3.3.3.2. Análisis estático del cigüeñal

Con el análisis estático se busca calcular las fuerzas que actúan sobre los rodamientos del cárter. Para ello se requirió la medición del cigüeñal correspondiente a un motor Shindaiwa B45.

Las medidas del cigüeñal fueron tomadas de la tesis de grado “**REINGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN DE UN CIGÜEÑAL PARA UN MOTOR DE DOS TIEMPOS MONOCILINDRICO DE PEQUEÑA CILINDRADA**” llevado a cabo por Awdri Velasco Peña y Diego Sánchez Reyes.

**FIGURA 40.** Diagrama de cuerpo libre del cigüeñal Motor Shindaiwa B450



**Fuente:** VELASCO, Awdri, SANCHEZ, Diego, REINGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN DE UN CIGÜEÑAL PARA MOTOR DE DOS TIEMPOS MONO-CILÍNDRICO DE PEQUEÑA CILINDRADA, p.48

Donde:

$$a = 0.02182 \text{ m}$$

$$a_1 = 0.03816 \text{ m}$$

$$a_2 = 0.01908 \text{ m}$$

$$a_3 = 0.01908 \text{ m}$$

$$F_Z = P = 7680.27 \text{ N}$$

$$G = \text{Peso del Volante} = 5015.14 \text{ N}$$

Posteriormente se realiza la Sumatoria de Momentos en el punto B, teniendo en cuenta el signo positivo (+) en contra de las manecillas del reloj.

$$\sum M_B = 0; R_c = \frac{5015.14 * (0.02182 \text{ m}) - 7680.27 * (0.01908 \text{ m})}{0.03816 \text{ m}} \quad (11)$$

$$R_c = 972.46 \text{ N}$$

$$\sum F_Y = R_B + R_c - F_Z - G \quad (12)$$

$$R_B = 11722.41 \text{ N}$$

#### 3.3.4. Análisis dinámico del mecanismo biela- manivela

El análisis cinemático del mecanismo manivela-biela-corredera permite conocer la posición, velocidad y aceleración a la cual opera el motor durante su ciclo de operación.

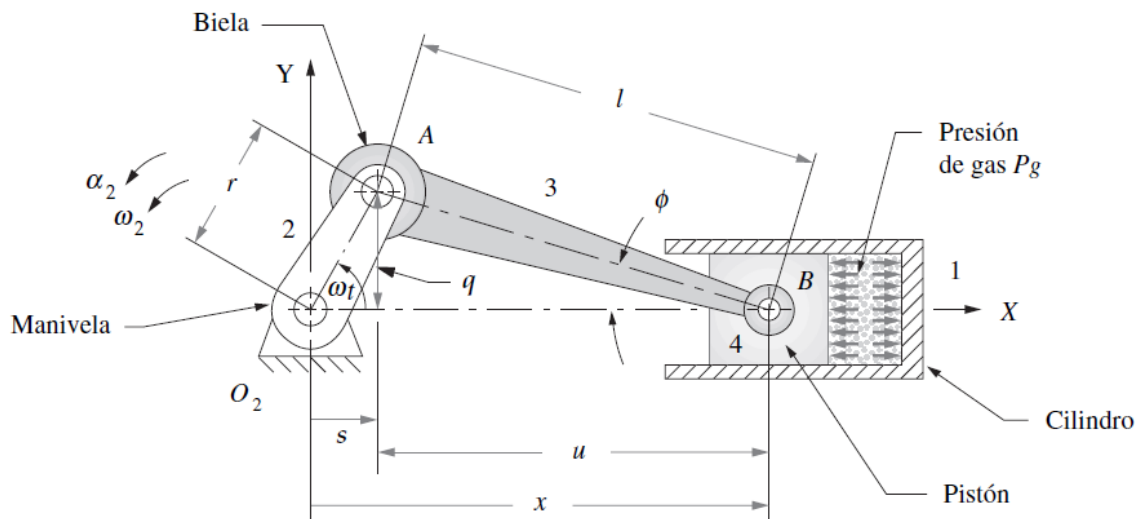
Para realizar el análisis cinemático se emplean los parámetros geométricos de nuestro motor de estudio, dados por la datasheet del fabricante referenciado en la tabla 9.

**Tabla 9.** Tabla de parámetros geométricos motor Shindaiwa B45.

PARÁMETRO	DIMENSIÓN [mm]
<b>B</b>	40
<b>L</b>	61.9
<b>R</b>	16.5
<b>S</b>	33

La nomenclatura empleada para este análisis hace referencia a la representación geométrica de las diferentes distancias como se puede apreciar en la figura 40:

**FIGURA 41.** Diagrama geométrico mecanismo manivela-biela-pistón.



**Fuente:** NORTON, Robert L. Diseño de maquinaria, síntesis y análisis de máquinas y mecanismos. Cuarta edición. McGraw-Hill.

2008. P. 576.

$r$  = Radio de la manivela

$l$  = Longitud de la biela

$\theta$  = Ángulo de la manivela

$\phi$  = El Ángulo que forma la biela con el eje X

$\omega$  = Velocidad angular

Para establecer la posición instantánea del pistón partiendo desde el punto muerto superior, se construyen los triángulos rectángulos de la geometría  $rqs$  y  $lqu$  de manera que se obtiene la siguiente relación geométrica:

$$q = r \operatorname{sen}(\theta) = l \operatorname{sen}(\phi) \quad (13)$$

Para cualquier velocidad angular constante de la manivela se considera:

$$\theta = \omega t \quad (14)$$

Al sustituir la ecuación (13) en (14) se obtiene:

$$r \operatorname{sen}(\omega t) = l \operatorname{sen}(\phi)$$

$$\frac{r}{l} \operatorname{sen}(\omega t) = \operatorname{sen}(\phi)$$

$$s = r \operatorname{cos}(\omega t)$$

$$u = l \operatorname{cos}(\phi)$$

Geoméricamente la posición del pistón es:

$$x = s + u = r \operatorname{cos}(\omega t) + l \operatorname{cos}(\phi) \quad (15)$$

Teniendo en cuenta la identidad trigonométrica del coseno:

$$\operatorname{cos}(\phi) = \sqrt{1 - \operatorname{sen}(\phi)^2}$$

$$\operatorname{cos}(\phi) = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \operatorname{sen}(\omega t)\right)^2}$$

Al considerar la anterior identidad trigonométrica y al sustituirla en la ecuación (15), se obtiene la ecuación de posición instantánea del pistón en función de  $r$ ,  $l$  y  $\omega t$ .

$$x = r \operatorname{cos}(\omega t) + l \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \operatorname{sen}(\omega t)\right)^2} \quad (16)$$

Al considerar  $\omega$  constante y aplicar la derivada de esta ecuación con respecto al tiempo, se obtiene la ecuación de la velocidad:

$$\dot{x} = -\omega r * \text{sen}(\omega t) + l * \frac{-r^2 \text{Sen}(\omega t) * \text{Cos}(\omega t) * \omega}{\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \text{sen}(\omega t)\right)^2}} \quad (17)$$

Para facilitar el cálculo de la aceleración al derivar por segunda vez la ecuación de la posición del pistón, se emplea el teorema del binomio al radical presente en la ecuación de posición:

$$\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \text{sen}(\omega t)\right)^2}$$

Donde el teorema del binomio establece:

$$(a + b)^n = a^n + n a^{n-1} b + \frac{n(n-1)}{2!} a^{n-2} b^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{3!} a^{n-3} b^3 + \dots$$

Identificando los parámetros en el teorema:

$$\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \text{sen}(\omega t)\right)^2}$$

$$a = 1 \qquad b = -\left(\frac{r}{l} \text{sen}(\omega t)\right)^2 \qquad n = 1/2$$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \text{sen}(\omega t)\right)^2} = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{r}{l} \text{sen}(\omega t)\right)^2 + \frac{1}{8} \left(\frac{r}{l} \text{sen}(\omega t)\right)^4 - \frac{1}{16} \left(\frac{r}{l} \text{sen}(\omega t)\right)^6 \dots$$

Esta expresión proporciona el desarrollo del binomio elevado a la potencia  $n=1/2$ , donde se obtiene la suma de los términos con relación  $r/l$ :

$$\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \text{sen}(\omega t)\right)^2} = 1 - \frac{r^2}{2l^2} \text{sen}^2(\omega t) + \frac{r^4}{8l^4} \text{sen}^4(\omega t) - \frac{r^6}{16l^6} \text{sen}^6(\omega t) \dots$$

Al considerar solo los tres primeros términos de la expansión con poco margen de error, ya que la relación de  $r/l$  oscila entre 1/8 y 1/3 según el parámetro escogido por el fabricante<sup>20</sup> luego:

<sup>20</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA, Efecto de la relación Biela-Manivela en el comportamiento del motor ciclo OTTO. 2011

$$x = r\cos(\omega t) + l\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\sin(\omega t)\right)^2}$$

$$x = r\cos(\omega t) + l\left(1 - \frac{r^2}{2l^2}\sin^2(\omega t) + \frac{r^4}{8l^4}\sin^4(\omega t) \dots\right)$$

$$x = r\cos(\omega t) + l - \frac{r^2}{2l}\sin^2(\omega t)$$

Empleando las propiedades de ángulos dobles, obtenemos otra fórmula que describe la posición instantánea aproximada del pistón:

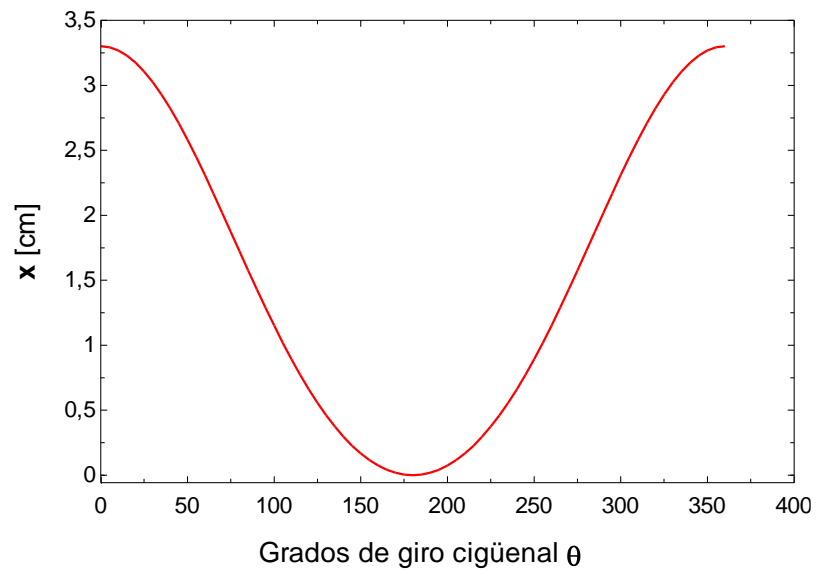
$$x = r\cos(\omega t) + l - \frac{r^2}{2l}\left(\frac{1}{2} - \frac{\cos(2\omega t)}{2}\right)$$

$$x = r\cos(\omega t) + l - \frac{r^2}{4l} + \frac{r^2 \cos(2\omega t)}{4l} \quad (18)$$

En la figura 41 se puede apreciar el desplazamiento alternativo del pistón desde el punto muerto inferior hasta el punto muerto superior, su diferencia equivale a 3.3 cm (la carrera del pistón).

Las figuras 41, 42 y 43 fueron obtenidas variando el ángulo de giro del cigüeñal, con base en las formulas planteadas por medio de EES en el anexo C.

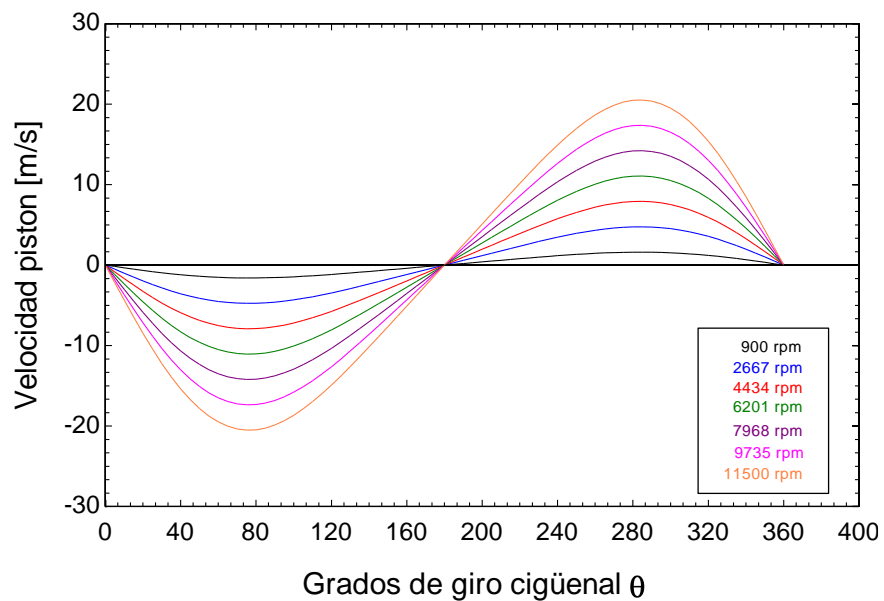
**FIGURA 42.** Posición del émbolo



Continuando con el análisis dinámico, procedemos a derivar la ecuación **(18)** y aplicar el teorema del binomio, de tal forma tenemos que la velocidad aproximada del mismo será:

$$\dot{x} = -\omega r \text{sen}(\omega t) - \frac{r^2 \text{sen}(2\omega t) 2\omega}{4l} \quad (19)$$

**FIGURA 43.** Velocidad del émbolo para diferentes rpm de operación



En la figura 42 se puede apreciar la proporcionalidad existente entre la velocidad del pistón y las rpm de giro del cigüeñal, como era de esperarse, describiendo velocidades tanto positivas (subiendo) y negativas (bajando).

Al aplicar la segunda derivada a la ecuación **(18)** de la posición del pistón, luego de la expansión se obtiene la ecuación aproximada para la aceleración:

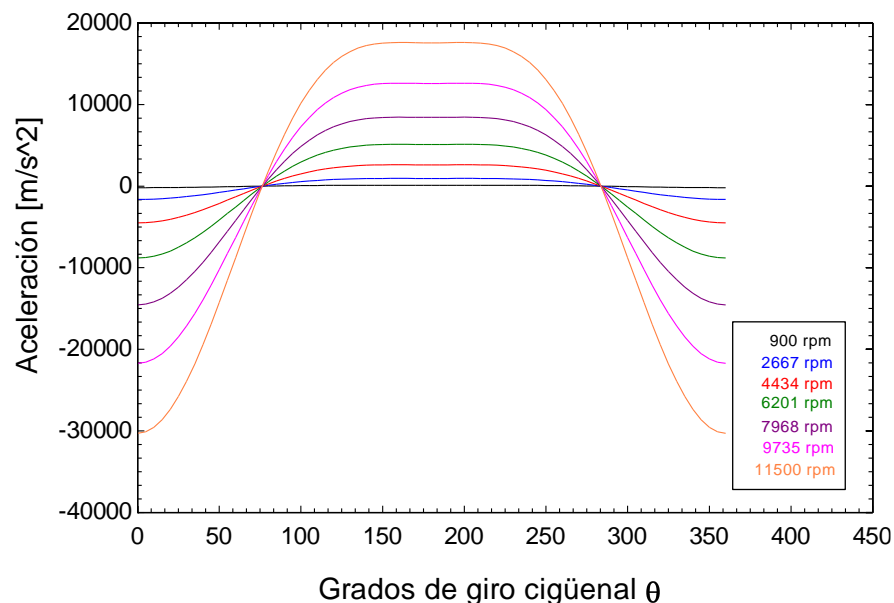
$$\ddot{x} = -\omega^2 r \cos(\omega t) - \frac{r^2 \cos(2\omega t) 4\omega^2}{4l}$$

Al reducir términos se obtiene:

$$\ddot{x} = -\omega^2 r \cos(\omega t) - \frac{r^2 \cos(2\omega t) \omega^2}{l} \quad (20)$$

Se puede apreciar en la figura 43, que la aceleración alcanzada por el pistón es muy elevada en el recorrido de expansión debido a la gran presión a la cual está sometido el pistón producto de la combustión del comburente.

**FIGURA 44.** Aceleración del émbolo para diferentes rpm de operación



### 3.3.4.1. Cinética del mecanismo manivela – biela

Según el diagrama de fuerzas descrito previamente, la fuerza P producida por la expansión de los gases, se puede descomponer en la fuerza lateral N sobre la falda del pistón perpendicular a la carrera del cilindro:

$$N = P \tan(\beta) \approx P \lambda \text{Sen}(\varphi - K); \text{ Dónde: } \varphi = \omega t \quad (21)$$

Donde  $\lambda$  es un número adimensional que indica la relación entre el radio de la manivela y la longitud de la biela.

$$\lambda = \frac{R}{L} \quad (22)$$

Según Jovaj pag. 393, indica que en las ecuaciones aproximadas son correctas y precisas a salvo de los términos de segundo orden, que presentan un error relativo que no supera el 2 %. La fuerza k actúa a lo largo de la biela y es la componente de la fuerza de los gases, calculada con la siguiente expresión:

$$K = \frac{P}{\text{Cos}(\beta)} \approx P \left[ 1 + \frac{\lambda^2}{4} (1 - \text{Cos}(2\varphi)) \right] \quad (23)$$

Considerando la geometría del mecanismo, la fuerza que actúa sobre la biela se puede descomponer en una componente normal, que incide con el eje del radio de la manivela:

$$Z = K \text{Cos}(\varphi + \beta) = P \frac{\text{Cos}(\varphi + \beta)}{\text{Cos}(\beta)} \approx P \left[ \text{Cos}(\varphi) - \frac{\lambda}{2} (1 - \text{Cos}(2\varphi)) + k\lambda(\text{sen}(\varphi)) \right] \quad (24)$$

Y en una fuerza tangencial, perpendicular a la circunferencia descrita por el movimiento de la manivela:

$$T = K \text{Sen}(\varphi + \beta) = P \frac{\text{Sen}(\varphi + \beta)}{\text{Cos}(\beta)} \approx P \left[ \text{Sen}(\varphi) + \frac{\lambda}{2} (\text{Sen}(2\varphi)) - k\lambda(\text{Cos}(\varphi)) \right] \quad (25)$$

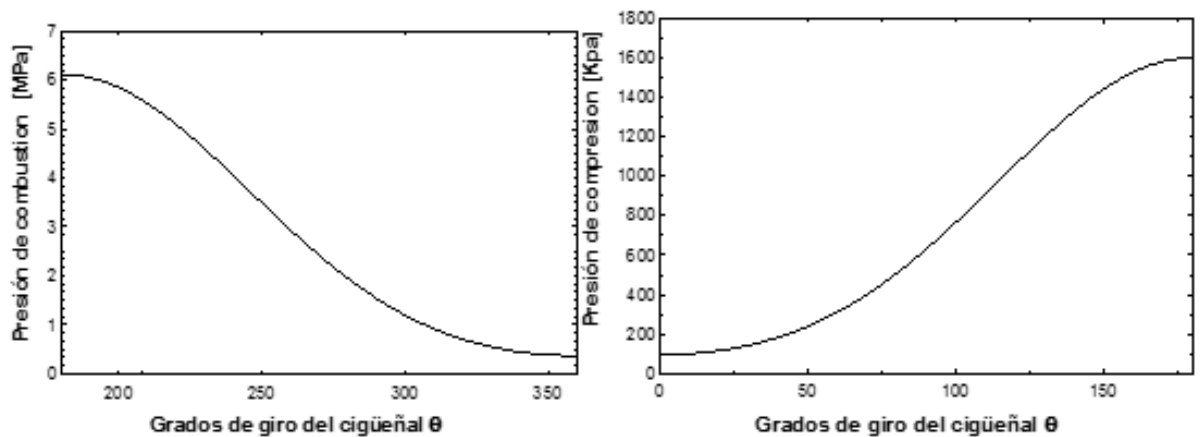
Al trasladar las fuerzas al centro del eje del cigüeñal, la fuerza Z se traslada y permanece igual en magnitud y dirección, pues continua actuando sobre la misma línea de acción, denominándola Z', por otra parte la fuerza tangencial se

desplaza al centro del cigüeñal (donde  $T=T'=T''$ ) y se agrega un momento torsor, también conocido como par de motor:

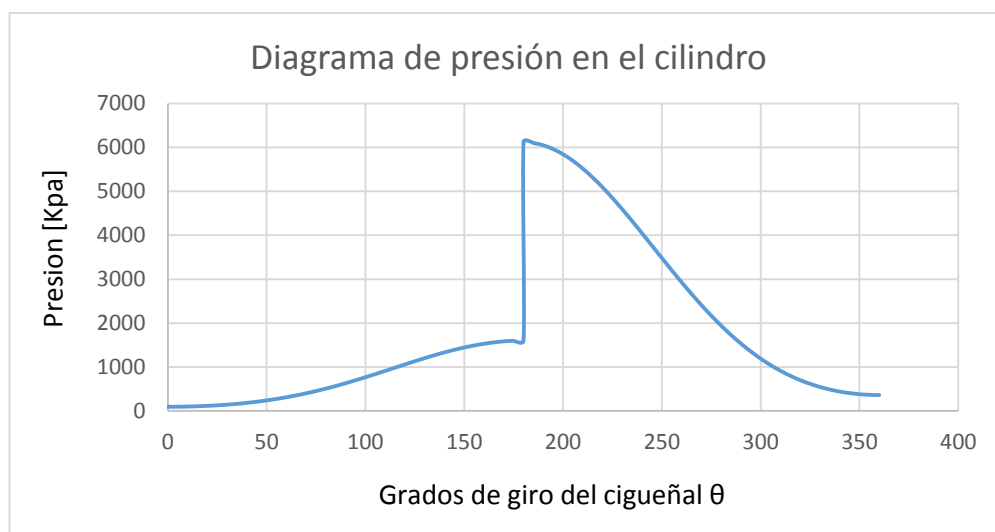
$$M_t = TR = PR \frac{\text{Sen}(\varphi + \beta)}{\text{Cos}(\beta)} \approx PR \left[ \text{Sen}(\varphi) + \frac{\lambda}{2} (\text{Sen}(2\varphi)) - k\lambda (\text{Cos}(\varphi)) \right] \quad (26)$$

Dado que conocemos la geometría del mecanismo y empleando las ecuaciones 3,4 y 5, podemos observar el comportamiento de la presión, fuerzas en el pistón, y el diagrama de presión de barrido en el cilindro. Ver Anexo D. A continuación en las figuras 44 y 45 se muestran el comportamiento de la presión de combustión y compresión y el diagrama de presión.

**FIGURA 45.** Comportamiento de la presión en la combustión y compresión



**FIGURA 46.** Diagrama de presión en el cilindro

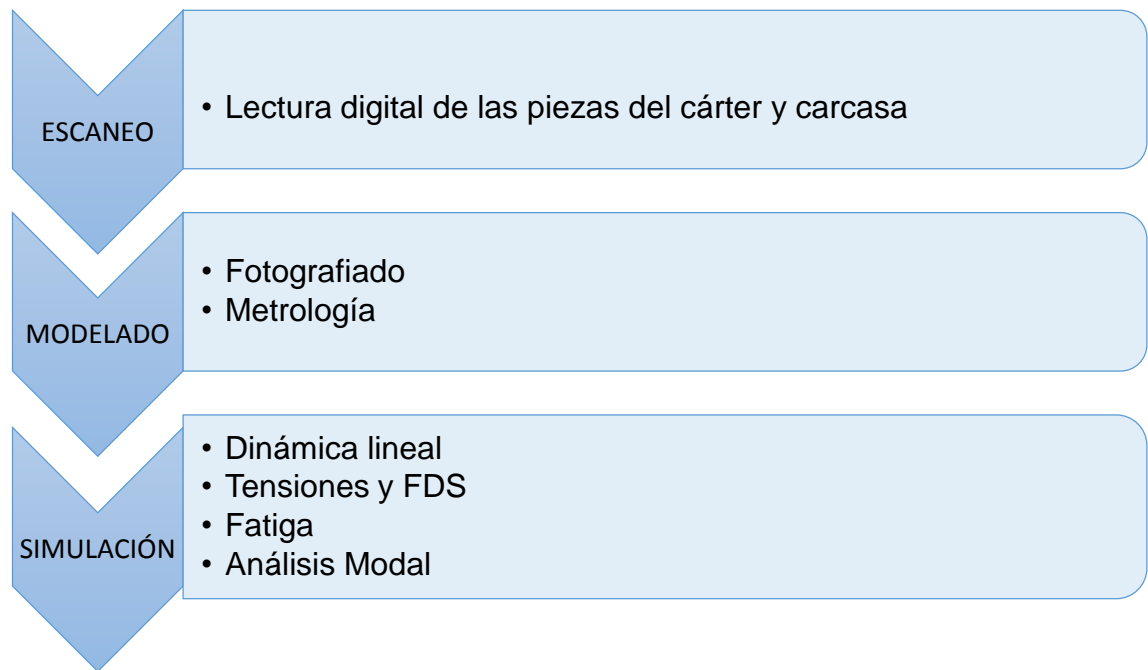


### 3.3.5. CAD/MEF

Se empleará un diseño con la ayuda del método de elementos finitos y diseño asistido por computador. Es de vital importancia realizar la simulación para establecer los valores máximos de resistencia, fatiga, factor de seguridad y frecuencia natural, debido a que estas piezas del motor carecen de un modelo matemático conocido y la irregularidad de su geometría. Se utilizará la herramienta informática SolidWorks, aprovechando las características y facilidades de dibujar y simular respectivamente.

La figura 46 muestra el desarrollo del proceso CAD/CAE, resaltando los ítems más importantes de éste.

**FIGURA 47.** Esquema del desarrollo del CAD/CAE



#### 3.3.5.1. Modelado y simulación del cárter y carcasa

Como primera instancia, el modelado responde a la construcción virtual en 3D de las dos piezas que conforman el cárter y la carcasa. Para ello se implementó el uso de tecnología de escaneo tridimensional debido a la complejidad geométrica de las piezas, y se adquirieron los servicios de la empresa PLA DISEÑO INDUSTRIAL, ubicada la ciudad de Bucaramanga.

El modelado, de las piezas mecánicas se desarrolló en tres fases:

**Escaneado:** Fue necesario el uso de un escáner 3D para poder dar una aproximación virtual de modelado de la pieza. De manera que se creara el primer boceto sólido aproximado y tomar algunas medidas de referencia.

En esta fase se empleó el escáner 3D SENSE que es un equipo moderno, novedoso y competitivo debido a su bajo costo con moderada sensibilidad. Al igual que los demás escáneres se basa en una cámara y un sensor de infrarrojos que censan y modelan directamente en el software. El resultado del escaneo depende de la sensibilidad que se trabaje, del cuidado y lentitud con que se realice. El Sense es capaz de escanear objetos desde 0.2m x 0.2m x 0.2 m hasta un máximo 3m x 3m x 3 m con buena fidelidad. La figura 47 muestra el escáner 3D Sense.

**FIGURA 48.** Escaner 3D SENSE



**Fuente:** CUBIFY, Sense 3D Scanner. [Online]. En: <https://cubify.com/products/senseactivate?iszene=true>

**Toma de medidas:** Este proceso se llevó a cabo con un calibrador pie de rey (Vernier) marca Mitutoyo, con el cual se pudo dimensionar meticulosamente el

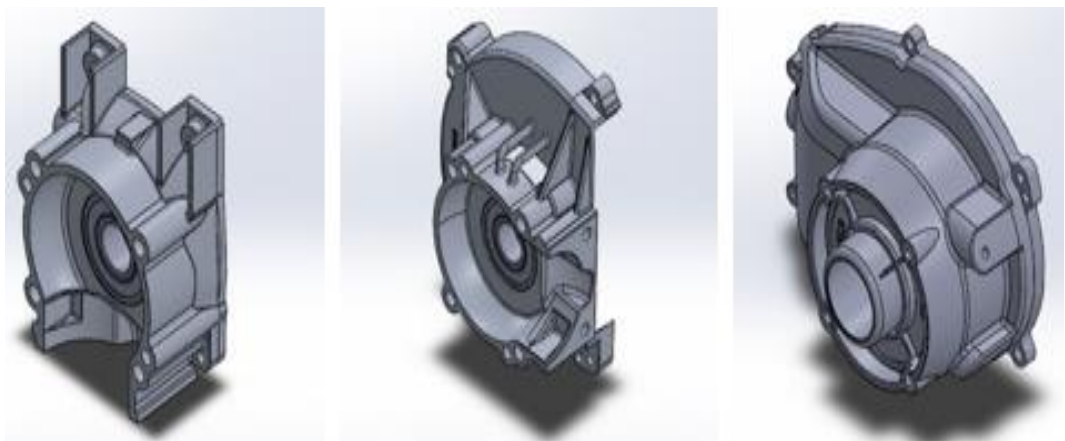
objeto en mm, dando valores a los espesores del conjunto de piezas mecánicas, diámetros de los tornillos, alturas de los rodamientos, y dimensiones generales en X, Y, Z.

**Vistas ortogonales del sólido:** Fueron imágenes tomadas con una cámara fotográfica en planos ortogonales en tres vistas (superior, frontal, derecha) de cada una de las piezas, para definir la posición y distancias de las piezas.

### 3.3.5.2. Modelado CAD

Estos tres métodos fueron necesarios para poder dar inicio en el modelo CAD. El modelado CAD se realizó en el software Rhinoceros 5.0. Las imágenes tomadas con la cámara fotográfica se utilizaron como referencia, para la construcción de curvas dentro del programa en cada una de las vistas respectivas. Posteriormente se ajustaron las dimensiones teniendo en cuenta la toma de medidas que se hizo con el vernier, de esta manera se dio inicio a la construcción de la geometría 3D mediante operaciones de construcción de sólidos y creación de superficies desde curvas, operaciones booleanas de sólidos para hacer las cavidades de los tornillos y rodamientos. Finalmente, las piezas fueron guardadas en ficheros o extensiones compatibles con SolidWorks (ver figura 48) desde donde se pudo elaborar el cambio de propiedades de material y simulación.

**FIGURA 49.** Modelado del cárter y carcasa. Vistas isométricas



Las actividades de simulación están enfocadas al análisis del cárter, ya que soportan las cargas de combustión del motor a través del cigüeñal. Por tanto, termodinámicamente es posible calcular las fuerzas ya sean de carácter estático o dinámico, que recaen sobre el par de rodamientos del cárter.

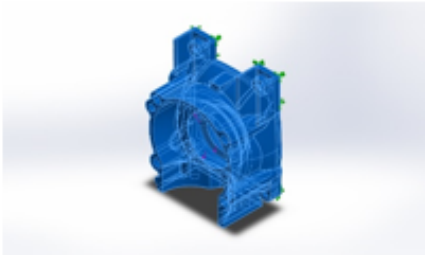
### 3.3.5.3. Simulación dinámica lineal del cárter

En el análisis estático debe suponerse que las cargas son constantes a través del tiempo o se aplican muy lentamente hasta que dichas cargas alcanzan sus valores máximos. A diferencia, un análisis dinámico tiene en cuenta las variaciones en las cargas con respecto al tiempo. Para el siguiente análisis se tuvo en cuenta las variaciones en las cargas, aceleración y fuerzas inerciales.

A continuación se presentará la simulación para las piezas del cárter, ya que son las piezas de mayor interés dado que componen la cámara de precompresión del motor y soportan el cigüeñal.

A continuación se analiza el cárter pequeño cuyas propiedades físicas de la aleación de magnesio se presentan en la siguiente tabla.

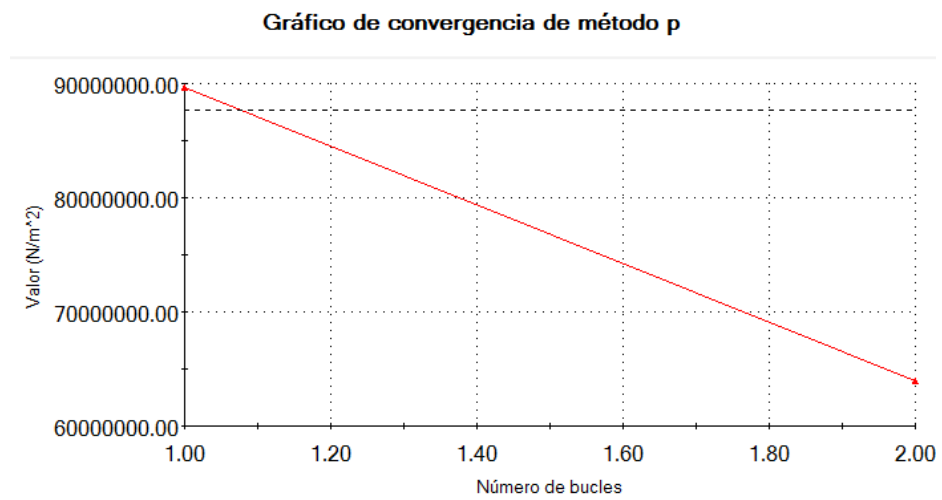
**Tabla 10.** Propiedades del material de una aleación de magnesio – aluminio

Referencia de modelo	Propiedades	
	Nombre:	Aleación Magnesio Aluminio
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado:	Tensión máxima de von Mises
	Límite elástico:	2.5e+008 N/m <sup>2</sup>
	Límite de tracción:	2.9e+008 N/m <sup>2</sup>
	Módulo elástico:	7e+010 N/m <sup>2</sup>
	Coeficiente de Poisson:	0.35
	Densidad:	1700 kg/m <sup>3</sup>
	Módulo cortante:	2.7e+010 N/m <sup>2</sup>
	Coeficiente de dilatación térmica:	2.5e-005 /Kelvin

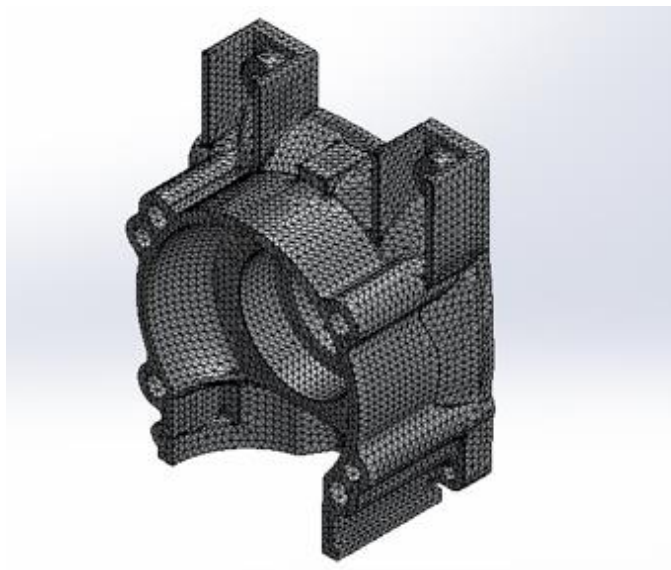
Las características de la malla aplicada al cárter pequeño para su análisis por medio de elementos finitos, se empleó un tipo de malla sólida, con un mallador malla estándar, de cuatro puntos jacobianos, con un tamaño de elementos con un valor de 1.84403 mm, con calidad de elementos cuadráticos de alto orden y una tolerancia de 0.0922017 mm.

En la figura 50, se observa la variación de la máxima tensión (Von Mises) en función de la cantidad de nodos presentes en la simulación.

**FIGURA 50.** Gráfico de convergencia nodal de la sección pequeña del cárter

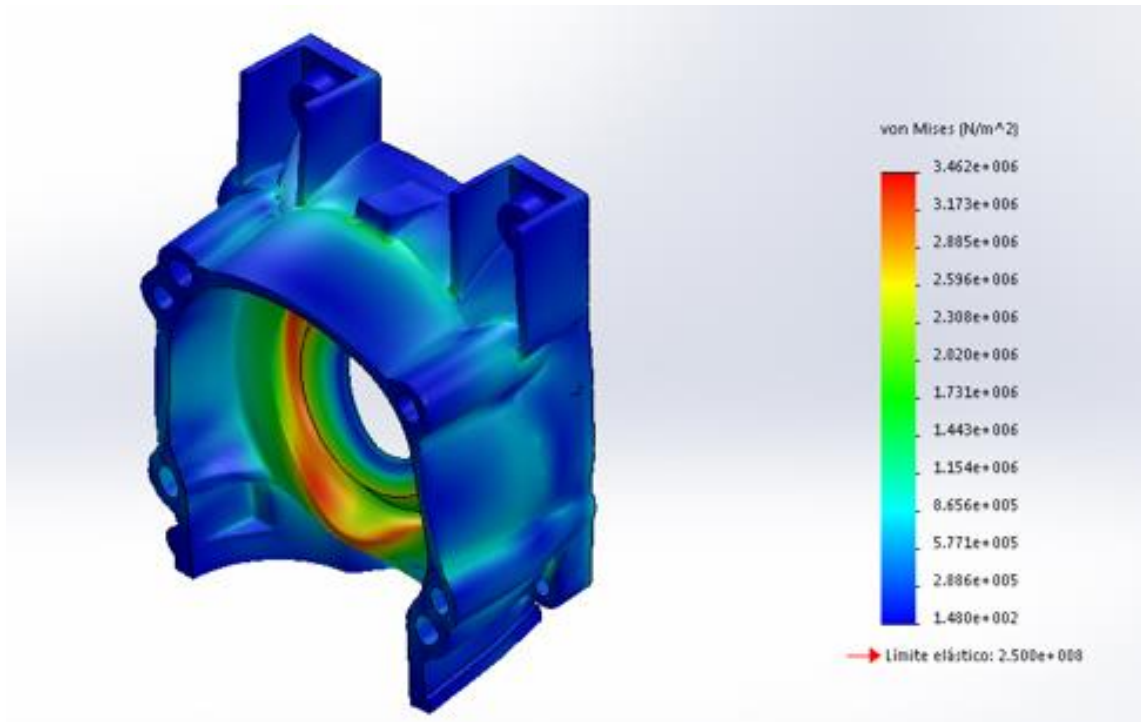


**FIGURA 51.** Mallado del cárter pequeño



La fuerza calculada a través de la termodinámica y la dinámica, permitió establecer que el valor de carga máxima aplicada en el rodamiento de la sección pequeña del cárter fue de aproximadamente 1000 N. Dicho valor aplicado con un análisis nodal de tensiones en la herramienta informática SolidWorks, arrojó un valor máximo de tensión de  $3.4619 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  y un mínimo de  $147.991 \text{ N/m}^2$

**FIGURA 52.** Valores de tensiones a través del cárter pequeño.



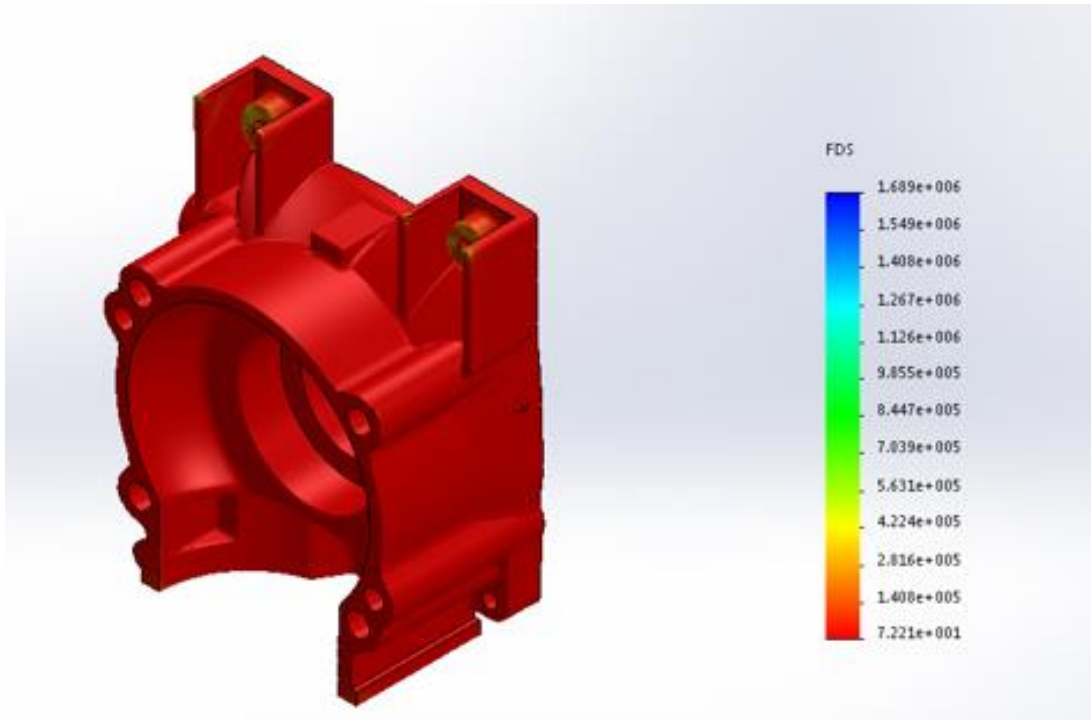
El factor de seguridad bajo el criterio de máxima distorsión de energía de Von Mises se obtiene al dividir el límite elástico sobre la tensión de Von Mises.

$$FDS = \frac{S_{limit}}{S_{VonMises}} \quad (27)$$

Puede apreciarse en la figura 50 que los valores correspondientes al límite elástico y a la tensión de Von Mises son  $2.500 \times 10^8 \text{ N/m}^2$  y  $3.4619 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  respectivamente. Al reemplazar en la ecuación (27), se obtiene un FDS de 72, lo

cual es un valor bastante elevado debido a la baja carga aplicada a la pieza y a su diseño estructural. La figura 51 muestra el diagrama FDS de la sección pequeña del cárter.

**FIGURA 53.** Representación del factor de seguridad del cárter pequeño



Posteriormente se procede a analizar el cárter grande bajo los mismos parámetros que se utilizaron con el cárter pequeño. La diferencia entre las dos secciones del cárter radica en la magnitud de la fuerza aplicada en el área del rodamiento, pues la fuerza que llega a la sección grande del cárter es de 9543 N. El material del cual está compuesto este bloque de cárter es la misma aleación de magnesio de la sección pequeña del cárter. Por tanto, las propiedades del material pueden observarse en la Tabla 10. Las condiciones de mallado sí varían con respecto a la geometría y área de superficie, para lo cual se utilizó un tipo de malla sólida, con un mallador de malla estándar, de cuatro puntos jacobianos, con el tamaño de elementos con un valor de 2.156 mm, con calidad de elementos cuadráticos de alto orden y una tolerancia de 0.108 mm. En la tabla 12 se

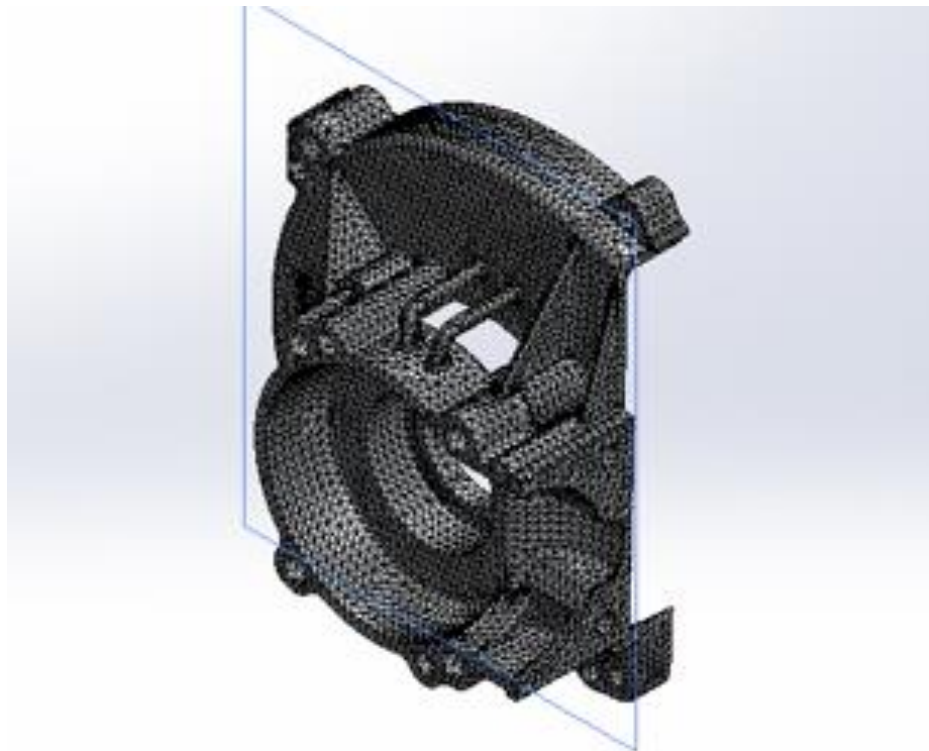
presentarán detalles específicos de la malla aplicada a la sección mediana del cárter.

**Tabla 11.** Detalles definidos en la malla de

<b>Número total de nodos</b>	119981
<b>Número total de elementos</b>	70206
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	91.114
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	90.9
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	1.13
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0

En la figura 52 se muestra el mallado aplicado a la sección grande del cárter.

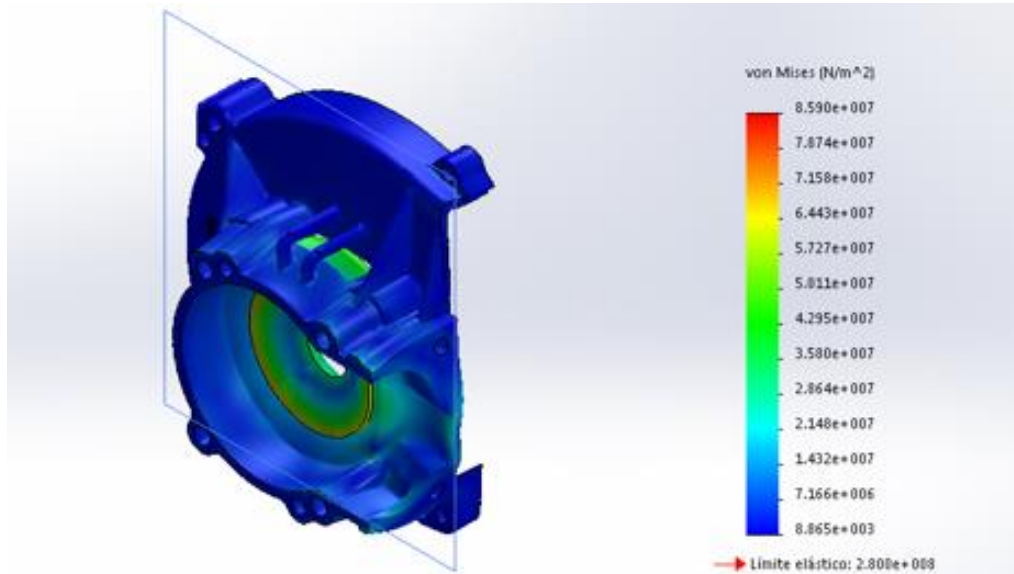
**FIGURA 54.** Mallado del cárter Grande



La fuerza calculada a través de la termodinámica y la dinámica, permitió establecer que el valor de carga máxima aplicada en el rodamiento de la sección

grande del cárter fue de aproximadamente 11722.41 N. Dicho valor aplicado con un análisis nodal de tensiones en la herramienta informática SolidWorks (ver figura 53), arrojó un valor máximo de tensión de  $8.59 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  y otro mínimo de  $8864.62 \text{ N/m}^2$ .

**FIGURA 55.** Valores de tensiones a través del Cárter grande.

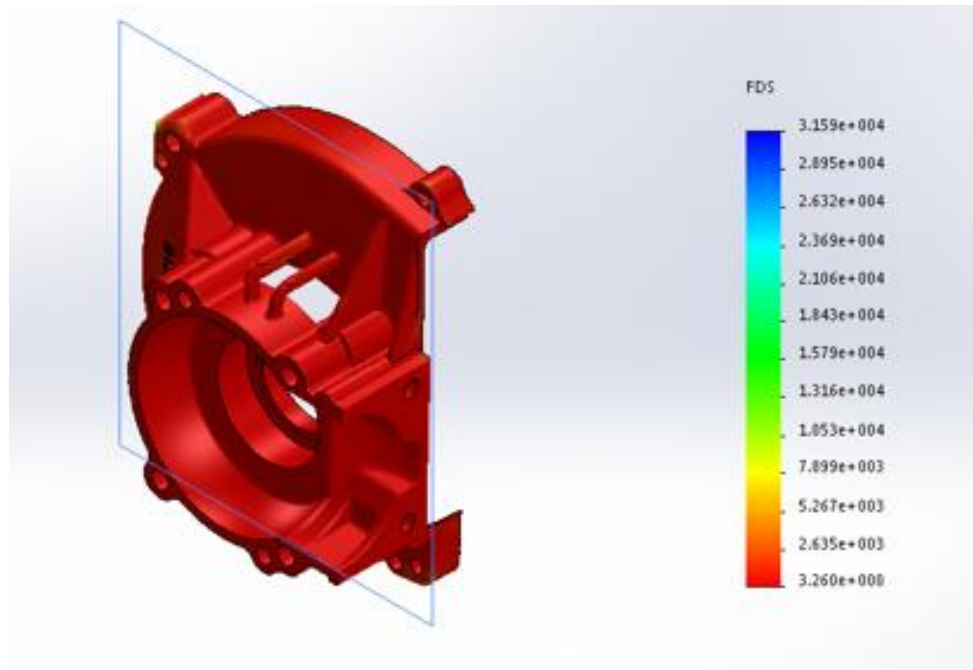


Puede apreciarse en la figura anterior que los valores correspondientes al límite elástico y a la tensión de Von Mises son  $2.8 \times 10^8 \text{ N/m}^2$  y  $8.590 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  respectivamente, al reemplazar en la ecuación (19), se obtiene un FDS mínimo de 3.3. El valor arrojado por el software correspondiente al factor de seguridad en comparación del análisis anterior parece ser más estable y convencional, ya que se encuentra en un rango de valores normales para un valor de FDS. Ver figura 54.

$$FDS = \frac{2.8 \times 10^8 \text{ N/m}^2}{8.590 \times 10^7 \text{ N/m}^2}$$

$$FDS = 3.3$$

**FIGURA 56.** Representación del factor de seguridad del cárter grande



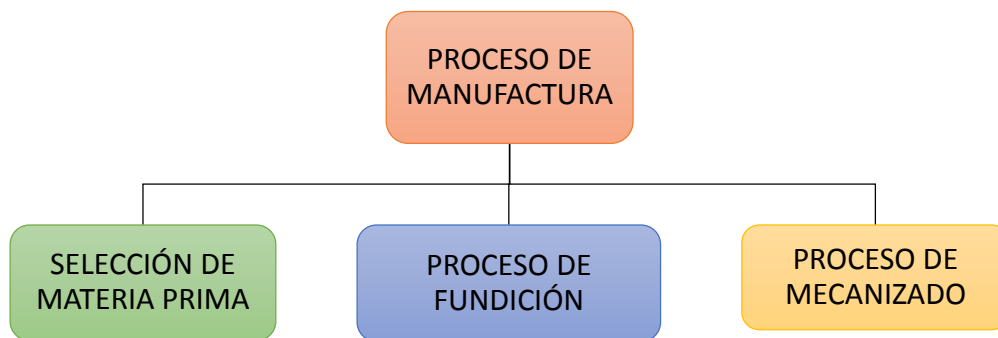
### **3.4. PROCESO DE MANUFACTURA DEL CÁRTER Y CARCASA**

El proceso de manufactura involucra la manera en que se va a fabricar el cárter y la carcasa, empezando desde escoger el material hasta tener los prototipos físicamente materializados. Dentro de este proceso de manufactura se tiene previsto la realización de modelos de fundición por medio de impresión 3D para la posterior actividad de fundición. Finalmente se realizará un proceso de mecanizado para realizar los ajustes de medidas, taladrados, roscados y características superficiales. Respecto a la impresión en 3D de los modelos de fundición, se utilizará como una herramienta más que ayude a facilitar trabajo, pues las piezas son geoméricamente irregulares, por lo que sería muy complicado realizar modelos de fundición de manera artesanal.

El proceso de manufactura es el conjunto de operaciones necesarias aplicadas a una materia prima para obtener un producto. Todas ellas están relacionadas con un proceso de transformación de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la materia prima que se emplea. Debido a que la planeación y

desarrollo de este proceso de manufactura incide en el conocimiento de la materia prima, este proceso se puede sintetizar en tres pasos: el primer paso será seleccionar la materia prima, segundo, realizar el proceso de fundición y finalmente el proceso de mecanizado como se muestra en la figura 59.

**FIGURA 57.** Esquema del proceso de manufactura



#### **3.4.1. Selección de materia prima de la pieza prototipo**

Para la selección de la materia prima que se empleará en la fabricación del cárter y carcasa, no se contempló el material caracterizado de las piezas originales (aleación Mg-Al), dado que dicha aleación no se produce ni se comercializa en el área metropolitana de Bucaramanga y los inconvenientes que tiene esta aleación durante su fundición (fácil oxidación). Por tanto, se realizó una investigación acerca de qué materiales se comercializan localmente y un análisis para determinar los materiales que poseen propiedades mecánicas y aplicaciones similares.

La tabla 15 y 16 muestran las aleaciones de aluminio - magnesio y aluminio - silicio respectivamente. Se podrán observar algunas características y aplicaciones. Las cuales se tendrán en cuenta para seleccionar la materia prima de los prototipos.

**Tabla 12.** Aleaciones de aluminio con magnesio

<b>Norma</b>	<b>Composición Química</b>							<b>Aplicaciones</b>
<b>DIN 1712</b>	% Si	% Fe	% Cu	% Mn	% Mg	% Zn	% Al	<i>Industriales</i>
<b>AlMg1</b>	0,30	0,70	0,20	0,20	0,50 – 0,10	0,20	Resto	-Embalaje, -Carrocerías, -Puertas
<b>AlMg2,5</b>	0,25	0,40	0,10	0,10	2,2 – 2,80	0,10	Resto	-Embalaje -Caldería -Recipientes para líquidos
<b>AlMg4,5Mn</b>	0,40	0,40	0,10	0,40 – 1	4,0 – 4,9	0,25	Resto	-Mecánicas -Moldes -Vehículos
<b>AlMg4Mn</b>	0,40	0,50	0,10	0,20 – 0,7	3,5 – 4,5	0,25	Resto	-Bicicletas -Cisternas -Mecánica
<b>AlMg2Mn0,</b>	0,40	0,50	0,15	0,10 – 0,5	1,7 – 2,4	0,15	Resto	-Tanques -Contenedores -Caldería
<b>AlMg3</b>	0,40	0,40	0,10	0,50	2,6 – 3,6	0,20	Resto	-Automóvil -Caldería -Volquetas

Fuente: Thyssenkrupp Materials Ibérica

**Tabla 13.** Aleaciones de aluminio con silicio

<b>Norma</b>	<b>Composición Química</b>							<b>Aplicaciones</b>
<b>DIN 1712</b>	% Si	% Fe	% Cu	% Mn	% Mg	% Zn	% Al	<i>Industriales</i>
<b>AlMgSi0,5</b>	0,3 – 0,6	0,3	0,10	0,1	0,35 – 0,60	0,15	Resto	-Motores eléctricos -Refrigeración
<b>AlMgSi1</b>	0,7 – 1,30	0,50	0,10	0,40	0,6 – 1,20	0,20	Resto	-Embalaje -Caldería -Recipientes para líquidos
<b>AlMgSiPb</b>	0,4,0,8	0,7	0,15	0,15	0,8 – 1,20	0,25	Resto	-Bridas -Bulones -Émbolos

Fuente: Thyssenkrupp Materials Ibérica

Se seleccionó una aleación de aluminio-silicio *AlMgSiPb* según la norma DIN 1712 como materia prima para la elaboración de las piezas. Dicha aleación presenta propiedades mecánicas y aplicaciones de trabajo similares del cárter y carcasa, además se encuentra fácilmente en el área metropolitana de Bucaramanga. Esta aleación se puede tanto fabricar u obtener a manera de material reciclable de pistones de tractocamiones. Además, otra de las razones por el cual se seleccionó esta aleación fue su bajo costo de adquisición, aunque resulta ser menos ligera que la aleación original.

### 3.4.2. Proceso de fundición

El proceso de fundición, es el proceso mediante el cual se obtienen las piezas al llevar por encima del punto de fusión la materia prima hasta conseguir su estado líquido, el cual será vertido en el interior de un molde donde finalmente se solidificará y se obtendrá una pieza basta. Existen diversas clases de fundición, cuyo uso determina ciertas características físicas e incluso mecánicas del material. Para la fabricación de los prototipos se recomienda la fundición en coquilla, lo cual permite un buen acabado superficial, poco margen de error dimensional y presenta una solidificación más rápida en comparación con la fundición en arena. Debido a su alto costo, se descartó este proceso de fundición y se seleccionó proceso de fundición en arena. En la tabla 17 se muestran los distintos tipos de fundición y sus generalidades.

**Tabla 14.** Procesos de fundición, generalidades y ventajas

PROCESO DE FUNDICIÓN	GENERALIDAD	VENTAJAS
Fundición en arena	Proceso de fundición común, delicado y complejo	Bajo costo, no hay limitaciones de acuerdo al tamaño, producción en grandes lotes
Fundición de precisión	Moldes de yeso refractarios, procesos de fundición lento, industria del calzada y plástica.	Excelentes acabados superficiales y poco margen de error.
Fundición en coquilla	Utilización de moldes metálicos que se pueden reutilizar, estructura de grano más fina.	Buena acabado superficial y poco margen de error dimensional, presenta solidificación más rápida
Fundición a presión	Moldes permanentes, el metal fundido es inyectado a alta presión.	Buen acabado superficial, se pueden realizar secciones de hasta 3 mm, rápida solidificación

La fundición se realizó en una empresa llamada Metálicas FUNDAP, ubicada en el centro de Bucaramanga, especializada en fundición de piezas de hierro, bronce y aluminio. Se escogió un proceso de fundición en arena debido a que es el proceso más económico, se puede producir en más lotes y más flexible. El proceso de fundición se llevó a cabo en un horno de crisol artesanal fabricado en material refractario, arcilla, grafito y cuarzo de sílice. La fuente de energía es el calor de una llama, producto de la combustión de un aceite, la capacidad del horno es de aproximadamente 20 litros. La empresa misma fue la encargada del suministro del material, el cual se llevó a una temperatura superior a los 800 °C, temperatura suficiente para fundir el material de aluminio-silicio. La figura 60 muestra el horno en actividad.

**FIGURA 58.** Horno fundiendo aleación Al-Si



El proceso de fundición de los prototipos se presenta en la tabla 18:

**Tabla 15.** Proceso de fundición

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
1. <b>Modelo</b>	Modelado de las piezas y sobredimensionamiento en cada una de ellas, con el propósito de tener en cuenta las contracciones del material. Se imprimieron los modelos en 3D.
2. <b>Preparación de la arena</b>	La arena debe ser una mezcla homogénea. Existe arena burda que contiene un 10% arena pura con un 90% de arena empleada en otras fundiciones y la arena de contacto que debe ser pura con 5 % de bentonita.
3. <b>Moldeo</b>	Hacer limpieza al modelo, preparar los cajones con sus respectivas guías. Hacer una copia negativa de los moldes de fundición vertiendo la arena de contacto lo más cerca al modelo y rellenando el resto con arena burda; separando la mitad de las cajas con marmolina.
4. <b>Fusión del material</b>	La materia prima es una aleación Al-Si, la cual alcanza el punto de fusión a 650°C. Debe llevarse a 250°C más arriba debido al enfriamiento rápido y pequeño espesor.
5. <b>Colada</b>	Se vierte polvo fundente sobre el material fundente, de manera que facilite el proceso de limpieza y descoriado
6. <b>Solidificación</b>	Se deja enfriar el material colado en el molde de arena, de manera que se solidifique el material colado.
7. <b>Desmoldeo</b>	Se retira la pieza y se limpia la arena adherida. En este paso también se realiza el corte de las rebabas, eliminación de bebederos y mazarotas.

Para la realización de los modelos de fundición mediante impresión en 3D de cada una de las piezas del cárter y la carcasa, se utilizó el modelado original hecho mediante SolidWorks. Dicho modelo fue modificado, de tal forma que las zonas planas frontal y posterior de las piezas fueran aumentadas en aproximadamente 4 mm para dar cabida al refrentado y tapando los agujeros de los rodamientos y de tornillería.

Las figuras 62, 63 y 64 muestran los modelos de fundición elaborados en impresión 3D en material PLA (poliácido láctico). La impresión se llevó a cabo mediante una impresora 3D marca Ultimaker. Esta es la impresora de filamento fundido de gama media más silenciosa y de mayor precisión en el mercado<sup>21</sup>. La figura 61 muestra la impresora Ultimaker 2.

**FIGURA 59.** Impresora 3D Ultimaker 2



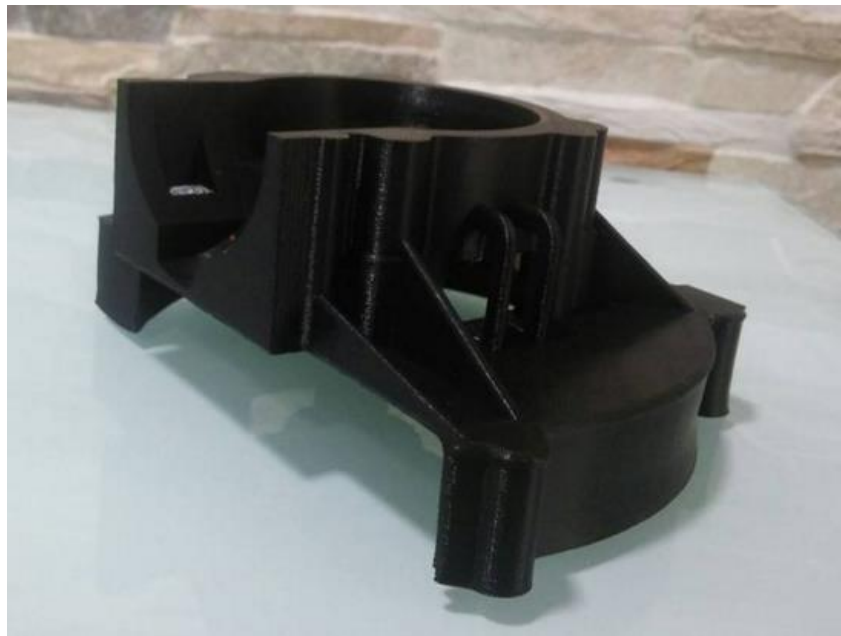
---

<sup>21</sup> Imprimalia 3D. Ultimaker 2. [Online]. En: <http://www.ideaz3d.com/?product=ultimaker-2>. 2015.

**FIGURA 60.** Modelo de fundición por impresión en 3D de la sección pequeña del cárter (material PLA)



**FIGURA 61.** Modelo de fundición por impresión en 3D de la sección grande del cárter (material PLA)



**FIGURA 62.** Modelo de fundición por impresión en 3D de la carcasa  
(Material PLA)



Las figura 65 y 66 muestran el moldeo en arena y el vertimiento de la colada en el molde respectivamente.

**FIGURA 63.** Molde en arena para la elaboración de la carcasa



**FIGURA 64.** Vertimiento de la colada en el molde



La solidificación de la colada se realizó a temperatura ambiente y se desmoldó del cajón, realizando su respectiva limpieza junto con el corte de las mazarotas y las rebabas que se hayan producido durante el proceso de fundición. De esta manera se obtuvieron las piezas del cárter y carcasa con un regular acabado superficial, como se puede en la figura 67.

**FIGURA 65.** Piezas del cárter después del proceso de fundición en arena



### 3.4.3. Proceso de mecanizado

A causa de las contracciones, las pequeñas distorsiones en el material, el poco acabado superficial y la falta de precisión dimensional del proceso de fundición, se procede a realizar el mecanizado, que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante remoción de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión.<sup>22</sup>

Los procedimientos de mecanizado con arranques de viruta son empleados frecuentemente en la industria, donde se define la geometría y las dimensiones finales de la pieza a través de desprendimiento de material.

Las ventajas de este tipo de proceso de mecanizado son:

- Se logra alta precisión dimensional en sus operaciones
- Se pueden realizar una amplia variedad de formas
- No modifica la microestructura del material, conservando sus propiedades mecánicas
- Se consigues buenas texturas de superficie
- Son procesos fáciles de automatizar siendo muy flexibles
- Requiere poco tiempo de preparación

Debido al uso de máquinas y herramientas de precisión y de operarios capacitados para realizar el proceso de mecanizado, se contrataron los servicios de la empresa FRESADOS SANTANDER (ubicada en el cetro de Bucaramanga), un taller experto en mecánica industrial certificado en normas ISO 9001-2008, quienes realizaron las operaciones de refrentado, taladrado, rectificado de ajustes y roscado en cada una de las piezas según la hoja de ruta y los planos de cada una de las piezas.

---

<sup>22</sup> MECANITZATS Marín. Proceso Mecanización. Copyright © 2011

Al cárter y la carcasa se les realizó el mismo procedimiento de mecanizado, consiste fundamentalmente en operaciones de refrentado y operaciones de taladrado. En la tabla 19 se muestra el proceso de mecanizado para cada una de las piezas.

**Tabla 16.** Proceso de mecanizado de las piezas del cárter y carcasa

Paso	Operación	Detalle
1	Hallar el centro de la pieza	La pieza es montada en un torno paralelo, en el cual se monta a copa 3 y 4 para determinar el centro de la pieza. El tiempo de ciclo es de quince minutos.
2	Montaje y ajustes de operación	Estando la pieza montada en el torno paralelo, se realizan las operaciones de ajuste y posicionamiento del buril de acero rápido. El tiempo de ciclo es de 35 minutos
3	Corte del material	Mediante la barra niveladora, criba de mano, paletas y arena de sílice, se cortan las superficies frontales y posteriores de cada pieza hasta lograr ajustar las tolerancias deseadas entre las caras planas. Posteriormente se realizan las operaciones de taladrado con buril de tungsteno en torno paralelo. El tiempo de ciclo es de una hora y treinta minutos.

La figura 69 muestra el juego de piezas de cárter y carcasa mecanizadas.

**FIGURA 66.** Juego de piezas mecanizado



### **3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PRUEBA DE DISEÑO DE LOS PROTOTIPOS**

El análisis de resultados y la prueba de diseño, se realizó con el propósito de establecer una comparación entre las piezas originales y las piezas prototipo. Para ello se realizaron ensayos de laboratorio, con el fin de caracterizar el material prototipo y medir las propiedades mecánicas de éste, respecto al material original.

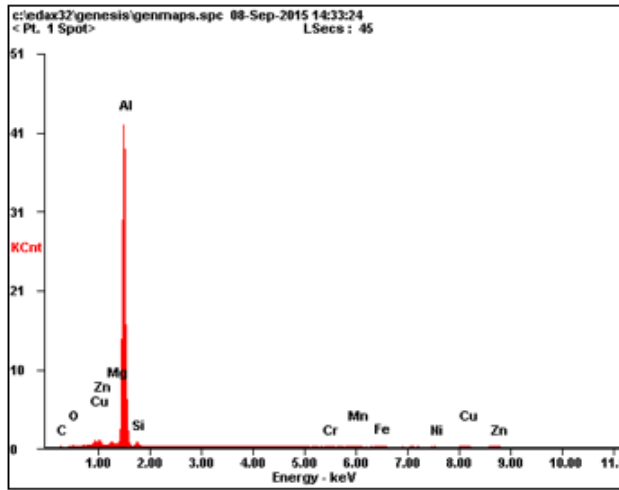
#### **3.5.1. Ensayos de laboratorio**

Los ensayos de laboratorio hacen referencia a los análisis de composición química y microdureza realizados al material de las piezas prototipo, siendo los ensayos más relevantes del proceso de caracterización del material. Por un lado, la composición química permitió conocer los porcentajes peso de los elementos que componían el material de las piezas prototipos para realizar la comparación de las propiedades mecánicas de los materiales. Por otro lado, la microdureza permitió comparar la dureza de ambos materiales, y con ello constatar que el material prototipo, se asemejaba al original.

##### **3.5.1.1. Análisis de composición química del material prototipo**

El análisis de composición química para el material de las piezas prototipo, se llevó a cabo a través del laboratorio de Microscopía. El ensayo se realizó de la misma manera y con el mismo equipo en que se analizaron las piezas originales. El análisis arrojó que la probeta del material prototipo era una aleación de Aluminio, con algunos otros elementos tales como silicio, cobre, cromo, magnesio, zinc y níquel. En la figura 69 se observan los resultados de composición química del material empleado en la fabricación de los prototipos.

**FIGURA 67.** Resultados de composición química del material prototipo



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	00.70	01.62
<i>OK</i>	01.13	01.97
<i>MgK</i>	01.26	01.44
<i>AlK</i>	85.11	87.95
<i>SiK</i>	03.02	03.00
<i>CrK</i>	00.37	00.20
<i>MnK</i>	00.50	00.26
<i>FeK</i>	01.80	00.90
<i>NiK</i>	00.56	00.27
<i>CuK</i>	02.86	01.25
<i>ZnK</i>	02.69	01.15
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

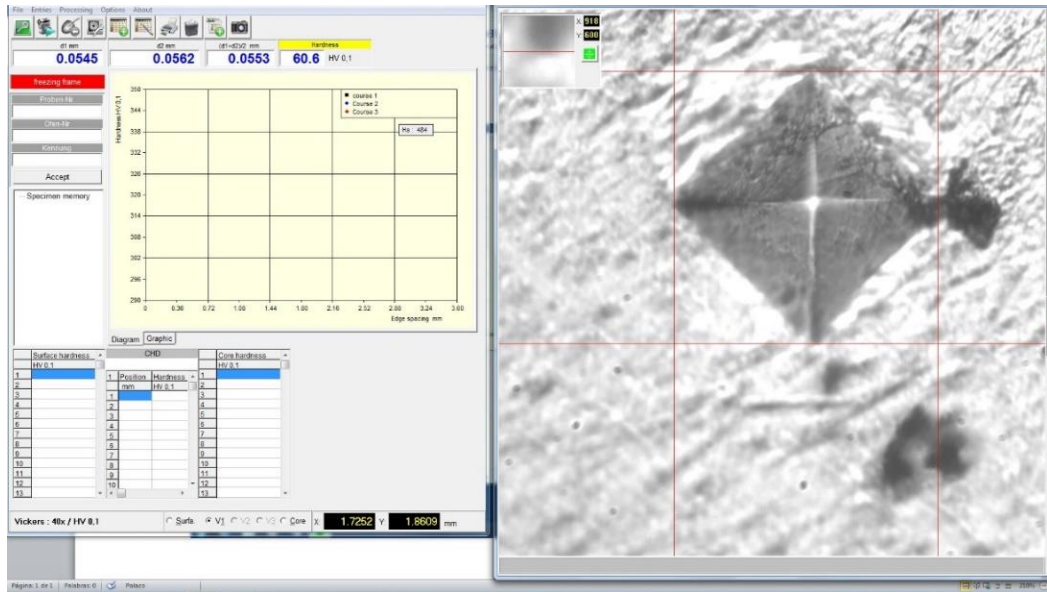
De acuerdo a los porcentajes de la gráfica se pudo determinar el nombre técnico del material con base en el Metals Handbook, edición de 1961 de la American Society for Metals. Ver Anexo E. Se eligió la aleación de aluminio B195 T4 dado a su acercamiento respecto a los porcentajes de silicio y cobre y la similitud en cuanto a la tracción y la fluencia con el material original.

### 3.5.1.2. Ensayo de microdureza para el material prototipo

El análisis de Microdureza para el material de las piezas prototipo, se llevó a cabo a través del laboratorio de microscopía. El ensayo se realizó de la misma manera y con el mismo equipo en que se analizaron las piezas originales (ver sección 4.2). El análisis arrojó un promedio de dureza de 61.73 Hv. Dicho valor, constata la elección del material B195 T4, pues tanto la composición química y la dureza del material prototipo son aproximados al original.

En la figura 70 se muestra el perfil de microdureza del material de las piezas prototipo.

**FIGURA 68.** Perfil de microdureza del material prototipo



Fuente: Microdurómetro INNOVATEST 400 TM Series

Para el material prototipo se realizaron tres tomas de microdureza, en tres partes diferentes de la superficie. La siguiente tabla muestra los valores de dureza registrados en cada uno de los sectores superficiales y la dureza promedio.

**Tabla 17.** Dureza promedio del material prototipo

<b>Toma 1</b>	60.6 HR
<b>Toma 2</b>	58 HR
<b>Toma 3</b>	66.6 HR
<b>Promedio</b>	61.73 HR

Teniendo los valores de composición química y de dureza del material prototipo, se puede hacer una breve comparación entre el material original y el material prototipo. La tabla 21 es una tabla comparativa de las características del material de las piezas originales y el material de las piezas prototipo.

**Tabla 18.** Cuadro comparativo entre el material original y el material prototipo

CARACTERÍSTICA	Material Original	Material Prototipo
Esfuerzo de Tracción	40000 <i>psi.in<sup>2</sup></i>	37000 <i>psi.in<sup>2</sup></i>
Esfuerzo de Fluencia	20000 <i>psi.in<sup>2</sup></i>	18000 <i>psi.in<sup>2</sup></i>
Dureza	60 HR	61.73 HR
Peso Cáster pequeño	135 gr	225 gr
Peso Cáster grande	175 gr	295 gr
Peso Carcasa	215 gr	515 gr

### 3.5.2. Estudio económico del desarrollo del proyecto

Dentro del análisis económico se encuentran todos los costos relativos a la elaboración del proyecto, los cuales se dividen en costos directos e indirectos. Los costos directos fueron los gastos que tuvieron que ver con la fabricación, diseño y caracterización de las piezas. Los costos indirectos fueron los costos relacionados con los honorarios de los docentes a cargo del proyecto y las remuneraciones a los estudiantes encargados del desarrollo de éste. Así mismo, se tuvieron en cuenta costos de alquiler de servicios, servicios públicos y movilidad.

#### 3.5.2.1. Costos directos

**Tabla 19.** Costos directos relacionados con procesos industriales

Cantidad	Empresa	Horas/Cantidad	Valor/h	Valor Total
3	Metálicas FUNDAP (Fundición)	2 horas	\$ 45.000	\$ 270.000
2	Fresados Santander (Mecanizado)	14 horas	\$ 15.000	\$ 420.000
1	PLA Diseño Industrial (Modelado)	27 horas	\$ 10.000	\$ 270.000
1	PLA Diseño Industrial (Impresión del modelo de fundición)	55 horas	\$ 10.000	\$ 550.000
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 1'510.000</b>

**Tabla 20.** Costos de ensayos para caracterizar los materiales

Cantidad	Ensayo	Valor/Unidad	Valor/Total
4	Microdureza	\$ 50.000	\$ 200.000
3	Composición química (Microscopia)	\$ 50.000	\$ 150.000
1	Fluorescencia (Rayos x)	\$ 50.000	\$ 150.000
1	Rugosidad	\$ 0	\$ 0
3	Metalografía	\$ 250.000	\$ 750.000
1	Metrología	\$ 0	\$ 0
<b>Total</b>			<b>\$ 1'250.000</b>

Algunas cotizaciones de ensayos se referencian en el Anexo F.

### 3.5.2.2. Costos indirectos

Referente a los costos profesionales se tuvo en cuenta el acuerdo 1279 de junio 19 de 2002, por el cual se establece el régimen salarial y prestacional de los docentes de las universidades estatales aplicado en la UIS. Por otra parte, los costos de trabajo investigativo para los estudiantes desarrolladores del proyecto, se tuvo en cuenta el acuerdo 020 de junio 13 de 2014, por el cual se establece el pago a estudiantes investigadores UIS, contemplado en el artículo 2.

**Tabla 21.** Costos de honorarios profesionales

Cantidad	Profesional	Horas/M	Meses	Valor/h	Valor/T
1	Director Dr. Ing. Jorge Luis Chacón	6	8	\$ 150.000	\$ 7'200.000
1	Codirector Msc. Ing. Ricardo Jaimes Rolón	3	8	\$ 150.000	\$ 3'600.000
<b>TOTAL</b>	\$ 10.800.000,00				

**Tabla 22.** Costo de pago a estudiantes

Cantidad	Estudiante	Horas/M	Meses	Valor/h	Valor/T
1	Jorge Eduardo Cáceres Salazar	80	8	\$15.400,00	\$ 9.856.000,00
1	Johan Javier Ortiz Carreño	80	8	\$15.400,00	\$ 9.856.000,00
<b>TOTAL</b>	\$ 19.712.000,00				

**Tabla 23.** Costos de adquisición de software y bibliografía

Adquisición Software CAD/CAE	\$ 77.000 (Proporcionados por la Universidad)
Adquisición Software (SolidWorks 2014)	\$ 600.000 (Proporcionados por la Universidad)
Libros (Norton, Blair, Jovaj, Shigley, Ferguson)	\$ 300.000 (Proporcionados por la Universidad) (Estimado)
Otros directamente Imputables al proyecto	\$ 200.000
Total	\$ 1'177.000

**Tabla 24.** Costos de miscelánea

Viáticos y subsistencias	\$ 100.000
Útiles de Oficina	\$ 50.000
Servicios básicos ( electricidad, Internet, teléfono, otros)	\$ 250.000
Combustibles y Repuestos	\$ 300.000
Construcción y ensamble	\$ 150.000
TOTAL	\$ 850.000

### 3.5.2.3. Costo total del proyecto

El costo total del proyecto resulta de la sumatoria de los costos directos y los costos indirectos.

**Tabla 25.** Costo total del proyecto

TOTAL GENERAL	\$ 35'299.000
---------------	---------------

### 3.5.2.4. Costo unitario del cárter y carcasa y costo de producción masiva

El costo unitario es el costo total de fabricación, es decir, solo se tienen en cuenta los costos de procesos industriales, los cuales están calculados en la Tabla 20, por tanto no se tienen en cuenta los costos indirectos ni los costos por ensayos. El costo unitario de un juego de piezas tuvo un valor total de 1'135.000 pesos. A continuación se mostrará la comparación entre el costo unitario y el costo unitario por producción masiva.

**Tabla 26.** Costos de prototipo y producción masiva

Ítem	Juego de piezas	Proyección futura de producción
Materia prima Aleación Al-Si	\$ 15.000	\$ 15.000
Fundición	\$ 90.000	\$ 2.250
Mecanizado (Ver Anexo B)	\$ 210.000	\$ 150.000
Modelado	\$ 270.000	\$ 0
Impresión 3D modelos de fundición	\$ 550.000	\$ 0
TOTAL	\$ 1'135.000	\$ 167.250

La proyección futura de fabricación está basada en una producción máxima de 20 litros, capacidad máxima del horno de fundición por colada. Se debe tener en cuenta que por cada juego de piezas (cárter y carcasa) se consumen 0.5 litros, por tanto, el cálculo del costo unitario de producción masiva es basado en la fabricación de 40 juegos de piezas por colado.

### **3.5.3. Prueba de funcionamiento de los prototipos del cárter y carcasa**





Se realizó el montaje de las piezas prototipo, verificando que los ajustes y los mecanizados estén en las tolerancias definidas en los planos, de tal manera que el motor opere sin roces inducidos por errores en el proceso de maquinado y rectificado. En el montaje de los primeros prototipos se encontraron problemas en los procesos de maquinado y perforado, ya que se presentó un descentrado de aproximadamente medio milímetro entre los asientos de los rodamientos y los tornillos de ajuste del cárter, causando un desajuste en todo el conjunto del motor, debido a que todas las piezas tienen medidas asociadas.






De tal manera que las características de concentricidad, paralelismo, perpendicularidad y ajustes son de vital importancia para el montaje, funcionamiento y vida útil del mismo, ya que estos desajustes producen desgastes prematuros en las demás piezas del motor. Posteriormente se fijaron puntos de referencia más precisos y se aumentó el número de verificaciones en el proceso, de manera que el maquinado de los prototipos cumpla con todas las dimensiones especificadas en los planos, disminuyendo los errores del operario en la realización del maquinado. Con las nuevas consideraciones y mejoras en el proceso de manufactura se obtuvo el resultado esperado, las nuevas piezas ensamblaron sin ningún inconveniente lo cual permitió un montaje más rápido y un ajuste adecuado en cada una de las piezas.

El desempeño de las nuevas piezas fue evaluado con el encendido del motor, el cual se sometió a condiciones de trabajo normal, operando el motor a ralentí (2700 RPM), velocidad normal (7500 RPM) y máxima aceleración (11500 RPM) durante una hora y media aproximadamente, tiempo en el cual la máquina ha consumido su capacidad de combustible. En la tabla 30 se muestra el protocolo

de ensamble del Cárter y Carcasa en conjunto con las demás piezas del motor Shindaiwa B45.

**Tabla 27.** Protocolo de ensamble de los prototipos

Paso	Descripción	Pieza-ensamblado
1	A los prototipos del Cárter se ensamblan los rodamientos de referencia 6202, con ayuda de una prensa hidráulica.	
2	Al prototipo de la Carcasa, se ensamblan los rodamientos con referencia 6002, con ayuda de una prensa hidráulica. Posteriormente se coloca la chaveta que evita el movimiento axial de los rodamientos.	
3	Instalar los anillos retenedores de aceite en los prototipos del Cárter y la Carcasa.	
4	El montaje del conjunto cigüeñal, biela y émbolo se limpia y se aceita para facilitar el montaje.	

5	Realizar el ensamble del conjunto cigüeñal, biela y émbolo, en las piezas que conforman el cárter. De manera que el lado corto del cigüeñal se dirija al lado donde se ubica el arranque o yoyo y el lado más largo hacia la sección grande del Cárter.	
6	Ajustar los cuatro pernos que unen las secciones del cárter.	
7	Ensamblar la polea (enroscar) en el lado corto del cigüeñal que sobre sale de la sección corta del cárter y ajustar a tope la tuerca del cigüeñal.	
8	En el lado más largo del cigüeñal que sobresale por la sección grande del cárter, ubicar la chaveta en el cigüeñal e instalar el volante de manera que la guía del volante coincida con la chaveta en el cigüeñal. Posteriormente colocar la arandela de presión y la tuerca.	
9	Posteriormente ajustar las tuercas de los extremos del cigüeñal.	

<p><b>10</b></p>	<p>A continuación se armará el embrague del motor, para lo cual se colocaran las zapatas, y se ajustaran con los pernos. Posteriormente ubicar los resortes que unen las zapatas con las cabezas de los tornillos de ajustes.</p>	
<p><b>11</b></p>	<p>Se procede a poner los anillos en las ranuras del émbolo, allí hay unas guías para que los anillos ajusten de la manera correcta. Seguidamente se ensambla el conjunto de la camisa, bobina de encendido, exosto y carburador; ajustando los cuatro tornillos de la camisa. Instalar la bujía en la camisa.</p>	
<p><b>12</b></p>	<p>Ubicar el arranque o el yoyo, en la carcasa pequeña y ajustar los cuatro tornillos junto con el soporte del tanque.</p>	
<p><b>13</b></p>	<p>Instalar la campana en el interior de la carcasa. A continuación ensamblar la carcasa con la sección grande del cárter, sujetando con los tornillos los soportes del tanque.</p>	

<p><b>14</b></p>	<p>Ensamblar el motor con la caña, mediante la carcasa, ajustar los cuatro tonillos que unen la carcasa y la caña.</p>	
<p><b>15</b></p>	<p>Instalar la aguja del carburador y la manguera de suministro al carburador, junto con el tanque. Además asegurar la guaya del acelerador y del swiche de encendido. Verificar que el capuchón de la bujía esté bien puesto.</p>	

Se recomienda leer los procedimientos operacionales descritos en el manual del propietario para manipular su máquina, proteger la integridad del operario y otras personas. En la Tabla 31 se observa el procedimiento de arranque del motor Shindaiwa B45.

**Tabla 28.** Protocolo de encendido del motor Shindaiwa B45

Paso	Descripción
1	Verificar que la aguja del carburador y la manguera de suministro al carburador, junto con el tanque estén bien montados e instalados y revisar la ausencia de pérdida de combustible.
2	Emplear todo el equipamiento de seguridad del operario: Indumentaria adecuada, protector auditivo, casco o sombrero con visor, guantes y calzado apropiado. Además debe cerciorarse de que el protector del accesorio de corte esté instalado correctamente y en buenas condiciones.
3	Verificar la cantidad de combustible presente en el tanque, posteriormente bombear y abrir el inyector del carburador hasta que salga un flujo continuo de combustible sin aire (purgar el sistema).
4	Cebear el motor (obstruir el flujo de aire).
5	Poner en posición ON el swiche de encendido
6	Sujetar con firmeza el motor y tirar del arrancador o yoyo.
7	Si el motor encendió, dejar un par de minutos que se caliente un poco hasta alcanzar una aceleración más estable.
8	Quitar el cebado del motor.

### **3.6. DOCUMENTACIÓN**

La documentación abarca las guías y el paso a paso de fabricación y construcción de cada una de las piezas correspondientes al Cárter y la Carcasa. La finalidad de la documentación fue implementar el control de calidad mediante la estandarización en la realización de las piezas para su correcta fabricación. Para lo anterior, se realizaron planos normalizados de cada uno de las piezas y respectivamente la elaboración de hojas de ruta.

#### **3.6.1. Hoja de ruta de las piezas prototipo**

La hoja de ruta de las piezas que conforman el cárter y la Carcasa describen de manera detallada el proceso de fundición y el proceso de mecanizado. Se describieron las distintas operaciones efectuadas a cada una de las piezas con sus respectivos detalles, operaciones, tiempos y consideraciones.

Todas las hojas de ruta se mostrarán en el Anexo G.

#### **3.6.2. Planos de las piezas prototipo**

Por medio de la herramienta informática SolidWorks, fue posible realizar los planos de cada una de las piezas que conforman el Cárter y la Carcasa a manera de documento. Aunque no es obligatorio pero sí recomendable, los planos están sujetos a la norma ANSI-ISO para el dibujo de máquinas en la ingeniería. El propósito de la elaboración de los planos es mostrar de manera representativa y detallada las dimensiones y la geometría de los prototipos diseñados, para su posterior fabricación. Es de vital importancia mantener las medidas precisas en el proceso de manufactura, pues el Cárter es la pieza que ensambla todas las partes móviles e importantes del motor, debido a que este, aloja el mecanismo cigüeñal-biela-émbolo y conecta directamente con la camisa. Cualquier medida en desfase o equívoca, podría contribuir en desajustes y fugas en la cámara de precompresión.

Los planos del Cárter y la Carcasa se muestran el anexo G.

#### 4. CONCLUSIONES

- A través de los laboratorios adscritos a la Universidad Industrial de Santander en el parque tecnológico Guatiguará, fue posible caracterizar a cabalidad las piezas de trabajo por medio de metrología y los ensayos de microdureza, composición química, rugosidad y metalografía. Identificando así, el tipo de material y las propiedades mecánicas del Cárter y la Carcasa del motor Shindaiwa B45.
- Por medio del estudio termodinámico, se logró determinar los parámetros de trabajo del ciclo del motor de 2 tiempos Shindaiwa B45. De tal forma, la temperatura de combustión  $T_z$ , la presión de combustión  $P_z$  y la fuerza de combustión  $F_z$  fueron 2615 K, 6.11 MPa y 7680.27 N respectivamente. De acuerdo a los valores anteriores se realizaron los procesos de diseño y fabricación del Cárter y la Carcasa.
- El cárter y la carcasa del motor Shindaiwa B45 están fabricadas con aleación de magnesio correspondiente a los resultados de composición química por fluorescencia, y clasificada según la información suministrada por el Metals Handbook, edición de 1961 de la American Society for Metals, la cual corresponde a AZ63A en la que se presentan excelentes características de ductilidad, densidad, absorción de vibraciones y resistencia. Presentando una dureza de aproximadamente 73 Hv, fabricada mediante fundición por inyección al vacío debido a la alta oxidación que presenta el magnesio y la irregularidad de su geometría.
- La implementación de software para el diseño de piezas mecánicas y autopartes, debe brindársele más apoyo a los estudiantes por parte de la Universidad Industrial de Santander, debido a que las licencias de

software adquiridas por la universidad, son mínimas y repercuten en la exactitud y ejecución de los estudios de modelado. Independientemente de las limitaciones de licencia y rendimiento de las computadoras, se lograron calcular los valores de tensiones y factores de seguridad para las piezas del Cárter. Arrojando un valor de tensión máxima y FDS de  $8.59 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  y 3.3 respectivamente.

- La tecnología, métodos de fabricación y disponibilidad de materiales en el área local, se encuentran en crecimiento y a su vez es muy limitado. A pesar de que en la mayoría de sectores industriales del área metropolitana no cuentan con estándares altos de calidad, se logró fabricar los juegos de piezas con calidad aceptable, independientemente de la complejidad geométrica del Cárter y la Carcasa.
- El molde se realizó con una impresora 3D, ya que permite una mayor precisión al modelo debido a su geometría irregular y bien definida. Debido a su gran precisión nos permite reducir tiempo de maquinado y de rectificación. Los modelos fabricados por fundición con los moldes impresos en 3D, fueron sometidos a ensayos de dureza y metalografía para verificar sus propiedades físicas, obteniendo 61.73Hv y los componentes como eran de esperarse de una aleación aluminio-silicio B195 T4.
- Las piezas prototipo en comparación a las piezas originales presentan propiedades mecánicas similares (dureza, tracción y fluencia) y un sobrepeso correspondiente a: 66.6% en la sección pequeña del Cárter, 68.57% en la sección grande del Cárter y 139.5% en la Carcasa.

- Debido a los altos costos de producción de los prototipos y al empleo de procesos de fabricación alternativos y artesanales, es evidente que no se puede competir directamente en el mercado industrial de autopartes o piezas mecánicas. Para la creación de una empresa y formar parte de la competencia, se necesita alto capital inicial, estudios de mercadeo para predecir viabilidad y pactos con empresas fuertes en el mercado.

## 5. RECOMENDACIONES

- Para un análisis exhaustivo del comportamiento de las piezas diseñadas, se recomienda realizar ciclos de trabajo variables y durante tiempo prolongado en un banco de pruebas para motores 2T.
- Para un estudio de tensiones más exacto por medio de herramientas informáticas, se recomienda usar una licencia completa y una computadora de alto rendimiento para poder realizar estudios más avanzados.
- Realizar un análisis económico más profundo para buscar qué tan factible puede ser la producción por lotes y la creación de una empresa.
- Para el diseño y fabricación de autopartes, buscar el respaldo de empresas certificadas para realizar un trabajo preciso, estandarizado y con los menores desperdicios económicos y materiales posibles.
- De carácter urgente e importante, se necesita que la Universidad firme alianzas o vínculos con grandes empresas industriales con altos estándares de calidad para beneficio de los estudiantes investigadores. Debido a la falta de alianzas, se intentó realizar el trabajo con apoyo de algunas empresas más grandes e importantes de Bucaramanga, de las cuales no se recibió respaldo alguno.
- Para mejorar la calidad del proceso de fabricación, se deben realizar ajustes moderados a los modelos de fundición, que faciliten el desmoldeo, fundición y mecanizado de las piezas.

## BIBLIOGRAFÍA

AFRANIO, A. Cardona. Materiales resistentes a la corrosión. Universidad Industrial de Santander, Departamento de metalúrgica, 1987.

AVNER, Sydney. Introducción a la metalúrgica física, McGraw-Hill, 1988

BLAIR, GORDON P. Design and Simulation of Two-Stroke Engines. U.S.A: The Queen's University of Belfast, 1996.

BUDYNAS, R y NISBETT, J. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. México: McGraw-Hill, 2008. 1051 p.

CENGEL, Yunus A. Transferencia de calor. México: McGraw-Hill, 2004

CLIMENT, Héctor. Modelado unidimensional de los motores de dos tiempos de pequeña cilindrada. Barcelona: Reverté, 2004.

FERGUSON, Colin. Internal Combustion Engine. New York: John Willy & Sons, 2001. 551 p.

GARCÍA, Guillermo P. Ingeniero Mecánico. Estudio de Postgrado en diseño de productos. Universidad de Illinois.

GROOVER, Mikell P. Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales procesos y sistemas. México: Pearson, 1997.

JOVAJ, M. Motores de automóvil. Moscú: Editorial MIR, 1982.

KALPAKJIAN, Serope and SCHMID, Steven R. Manufactura ingeniería y tecnología, Cuarta edición. México: Pearson, 2002.

NORTON, Robert L. Diseño de maquinaria, síntesis y análisis de máquinas y mecanismos. Cuarta edición. McGraw-Hill. 2008.

PAYRI, Francisco y DESANTES, José. Motores de combustión interna alternativos. Universidad politécnica de valencia. Valencia: Reverté, 2012.

ROJAS, OSWALDO. ROJAS, LUIS. Diseño Asistido por Computador. Departamento de Diseño y Tecnología Industrial, UNMSM. Junio de 2006.

SHINDAIWA. B45. Illustrated part list: User Manual. Japón: Shindaiwa Inc., 2012

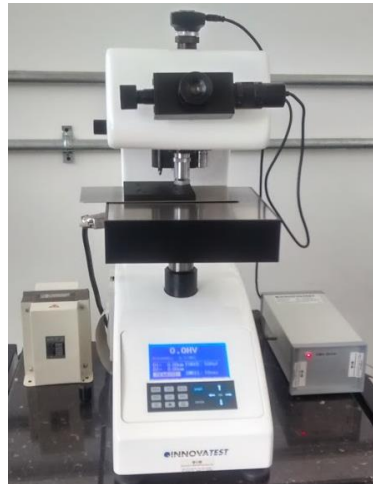
SHINDAIWA. Manual de servicio técnico: Podadoras, desmalezadoras y orilladoras. U.S.A.: Shindaiwa Inc., 1997.

SHINDAIWA GRASS TRIMMERS BRUSHCUTTERS AND LAWN EDGERS, Service manual. 2007.

YUNUS, Cengel. Transferencia de calor y masa. Un enfoque práctico. Traducida: Jose Hernán Pérez Castellano y Javier Enríquez Brito. 3 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2007. ISBN-13: 978-970-10-6173-2.

## ANEXOS

### ANEXO A. Máquinas de laboratorio empleadas para la caracterización de las muestras del cárter y carcasa Microdurómetro INNOVATEST



### QUANTA FEG 650 para identificar composición química



Microscopio Hirox para medir rugosidad



Estereoscopio Olimpus



**ANEXO B.** Composición nominal y propiedades mecánicas típicas de algunas aleaciones al magnesio a temperatura ambiente.

ALEACIÓN Y TRATAMIENTO	COMPOSICIÓN NOMINAL, PORCENTAJE						RESISTENCIA TENSIL, 1 000 LB./PULG. <sup>2</sup>	RESISTENCIA TENSIL A LA CEDENCIA, 1 000 LB./PULG. <sup>2</sup>	ELONGACIÓN, PORCENTAJE	BHN, 500 KG., 10 MM.	RESISTENCIA COMPRESIVA A LA CEDENCIA, 1 000 LB./PULG. <sup>2</sup>
	Al	Mn	Zn	Th	Zr	TERRAS RARAS					
LAMINA, ERROCIDO	99.95 Mg MÍNIMO						23-28	13-15	3-15	40-41	10-12
LAMINA, TRATAMIENTO DURO	...						26-32	17-20	2-10	45-47	15-17
ALEACIONES FUNDIBLES EN MOLDE DE ARENA Y EN MOLDE PERMANENTE											
AM100-T6	10.0	0.1	...	...	...	...	40	22	1	69	19
AZ63A-T6	6.0	0.2	3.0	...	...	...	40	19	5	73	19
AZ61A-T4	7.5	0.15	0.7	...	...	...	40	12	15	55	12
AZ91C-T6	9.0	0.2	0.7	...	...	...	40	19	5	70	19
AZ92A-T6	9.0	0.1	2.0	...	...	...	40	22	3	81	22
ZK51A-T5	...	...	4.5	...	0.7	...	40	24	8	65	24
ZK61A-T5	...	...	6.0	...	0.7	...	...	27	...	68	27
ZK61A-T6	...	...	6.0	...	0.7	...	...	28	...	70	28
ZH62A-T5	...	...	5.7	1.8	0.7	...	39	26	4	70	26
ZE41A-T5	...	...	4.25	...	0.5	1.25	30	20	3.5	62	20
EK30A-T6	...	...	...	...	0.6	4.0	23	16	3	45	16
EK41A-T6	...	...	...	...	0.2	3.0	25	18	3	50	18
EZ33A-T5	...	...	2.7	...	0.5	3.0	23	16	3	50	16
HK31A-T6	...	...	...	3.25	0.7	...	32	15	8	66	15
HZ32A-T5	...	...	2.0	3.25	0.75	...	27	13	4	55	16

Fuente: FUENTE: AVNER, Sydney, Introducción a la metalúrgica física, 2 ed, 1988

**ANEXO C.** Programación con el software EES de cálculos de posición,  
velocidad y aceleración del émbolo

L=6.195 "longitud de la biela cm"	$v_{4434}=(-w_2 * R * \sin(\theta) - (R^2 * \sin(2 * \theta) * 2 * w_2) / (4 * L))$
R=1.65 "radio de la manivela cm"	$v_{6201}=(-w_3 * R * \sin(\theta) - (R^2 * \sin(2 * \theta) * 2 * w_3) / (4 * L))$
B=4.0 "Diámetro del pistón cm"	$v_{7968}=(-w_4 * R * \sin(\theta) - (R^2 * \sin(2 * \theta) * 2 * w_4) / (4 * L))$
"Posición del embolo"	$v_{9735}=(-w_5 * R * \sin(\theta) - (R^2 * \sin(2 * \theta) * 2 * w_5) / (4 * L))$
$x=R * \cos(\theta) + L - (R^2) / (4 * L) + (R^2 * \cos(2 * \theta)) / (4 * L) - 4.545$	$v_{11500}=(-w_6 * R * \sin(\theta) - (R^2 * \sin(2 * \theta) * 2 * w_6) / (4 * L))$
"Diferentes RPM de operación para estimar la velocidad y la aceleración"	"Aceleración del émbolo para diferentes rpm de operación"
$w=900 * (2 * \pi / 60)$ "RPM"	$a_{900}=(-w^2 * R * \cos(\theta) - (R^2 * \cos(2 * \theta) * w^2) / L)$
$w_1=2667 * (2 * \pi / 60)$ "RPM"	$a_{2667}=(-w_1^2 * R * \cos(\theta) - (R^2 * \cos(2 * \theta) * w_1^2) / L)$
$w_2=4434 * (2 * \pi / 60)$ "RPM"	$a_{4434}=(-w_2^2 * R * \cos(\theta) - (R^2 * \cos(2 * \theta) * w_2^2) / L)$
$w_3=6201 * (2 * \pi / 60)$ "RPM"	$a_{6201}=(-w_3^2 * R * \cos(\theta) - (R^2 * \cos(2 * \theta) * w_3^2) / L)$
$w_4=7968 * (2 * \pi / 60)$ "RPM"	$a_{7968}=(-w_4^2 * R * \cos(\theta) - (R^2 * \cos(2 * \theta) * w_4^2) / L)$
$w_5=9735 * (2 * \pi / 60)$ "RPM"	$a_{9735}=(-w_5^2 * R * \cos(\theta) - (R^2 * \cos(2 * \theta) * w_5^2) / L)$
$w_6=11500 * (2 * \pi / 60)$ "RPM"	$a_{11500}=(-w_6^2 * R * \cos(\theta) - (R^2 * \cos(2 * \theta) * w_6^2) / L)$
"velocidad del embolo para diferentes rpm de operación"	
$v_{900}=(-w * R * \sin(\theta) - (R^2 * \sin(2 * \theta) * 2 * w) / (4 * L))$	
$v_{2667}=(-w_1 * R * \sin(\theta) - (R^2 * \sin(2 * \theta) * 2 * w_1) / (4 * L))$	

## ANEXO D. Cálculo de fuerzas en el émbolo

Grados	Pc [KPa]	Presión [Mpa]	Fuerza émbolo [N]	F émbolo [N]	RC [Kn]	Rb [Kn]
0	94.83	0.09483	119.1668867	1.9038051	-2.86671987	7.88376367
5	96.09	0.09609	120.7502493	3.4871677	-2.86592819	7.88455536
10	99.91	0.09991	125.5506027	8.2875210	-2.86352801	7.88695553
15	106.4	0.1064	133.7061768	16.4430951	-2.85945022	7.89103332
20	115.6	0.1156	145.2672372	28.0041555	-2.85366969	7.89681385
25	127.7	0.1277	160.4725449	43.2094632	-2.84606704	7.9044165
30	142.9	0.1429	179.5734273	62.3103456	-2.8365166	7.91396694
35	161.5	0.1615	202.9468755	85.6837938	-2.82482987	7.92565367
40	183.6	0.1836	230.7185532	113.4554715	-2.81094404	7.93953951
45	209.6	0.2096	263.3911152	146.1280335	-2.79460775	7.95587579
50	239.4	0.2394	300.8388978	183.5758161	-2.77588386	7.97459968
55	273.5	0.2735	343.6902195	226.4271378	-2.7544582	7.99602534
60	311.8	0.3118	391.8194166	274.5563349	-2.7303936	8.02008994
65	354.5	0.3545	445.4778165	328.2147348	-2.7035644	8.04691914
70	401.5	0.4015	504.5397555	387.2766738	-2.67403343	8.07645011
75	453	0.453	569.256561	451.9934793	-2.64167503	8.10880851
80	508.6	0.5086	639.1255782	521.8624965	-2.60674052	8.14374302
85	568.2	0.5682	714.0211434	596.7580617	-2.56929274	8.1811908
90	631.5	0.6315	793.5662655	676.3031838	-2.52952018	8.22096336
95	698.1	0.6981	877.2582897	759.9952080	-2.48767417	8.26280938
100	767.4	0.7674	964.3432338	847.0801521	-2.4441317	8.30635185
105	838.9	0.8389	1054.192779	936.9296976	-2.39920692	8.35127662
110	911.9	0.9119	1145.92728	1,028.6641986	-2.35333967	8.39714387
115	985.6	0.9856	1238.541427	1,121.2783455	-2.3070326	8.44345094
120	1059	1.059	1330.778583	1,213.5155013	-2.26091402	8.48956952
125	1132	1.132	1422.513084	1,305.2500023	-2.21504677	8.53543677
130	1202	1.202	1510.477674	1,393.2145923	-2.17106448	8.57941907
135	1270	1.27	1595.92899	1,478.6659083	-2.12833882	8.62214473
140	1333	1.333	1675.097121	1,557.8340393	-2.08875475	8.66172879
145	1392	1.392	1749.238704	1,631.9756223	-2.05168396	8.69879958
150	1445	1.445	1815.840465	1,698.5773833	-2.01838308	8.73210046
155	1491	1.491	1873.645767	1,756.3826853	-1.98948043	8.76100311
160	1530	1.53	1922.65461	1,805.3915283	-1.96497601	8.78550754
165	1561	1.561	1961.610357	1,844.3472753	-1.94549813	8.80498541
170	1584	1.584	1990.513008	1,873.2499263	-1.93104681	8.81943673
175	1598	1.598	2008.105926	1,890.8428443	-1.92225035	8.82823319
180	1602	1.602	2013.132474	1,895.8693923	-1.91973708	8.83074647
180	6118	6.118	7688.105166	7,570.8420843	0.91774927	11.6682328
185	6101	6.101	7666.742337	7,549.4792553	0.90706786	11.6575514

190	6048	6.048	7600.140576	7,482.8774943	0.87376698	11.6242505
195	5962	5.962	7492.069794	7,374.8067123	0.81973158	11.5702151
200	5844	5.844	7343.786628	7,226.5235463	0.74559	11.4960735
205	5695	5.695	7156.547715	7,039.2846333	0.65197055	11.4024541
210	5517	5.517	6932.866329	6,815.6032473	0.54012985	11.2906134
215	5315	5.315	6679.025655	6,561.7625733	0.41320952	11.1636931
220	5091	5.091	6397.538967	6,280.2758853	0.27246617	11.0229497
225	4848	4.848	6092.176176	5,974.9130943	0.11978478	10.8702683
230	4590	4.59	5767.96383	5,650.7007483	-0.0423214	10.7081621
235	4321	4.321	5429.928477	5,312.6653953	-0.21133907	10.5391445
240	4044	4.044	5081.840028	4,964.5769463	-0.3853833	10.3651002
245	3763	3.763	4728.725031	4,611.4619493	-0.5619408	10.1885427
250	3482	3.482	4375.610034	4,258.3469523	-0.7384983	10.0119852
255	3203	3.203	4025.008311	3,907.7452293	-0.91379916	9.83668439
260	2930	2.93	3681.94641	3,564.6833283	-1.08533011	9.66515344
265	2666	2.666	3350.194242	3,232.9311603	-1.25120619	9.49927735
270	2411	2.411	3029.751807	2,912.4887253	-1.41142741	9.33905613
275	2170	2.17	2726.90229	2,609.6392083	-1.56285217	9.18763138
280	1942	1.942	2440.389054	2,323.1259723	-1.70610879	9.04437476
285	1730	1.73	2173.98201	2,056.7189283	-1.83931231	8.91117124
290	1533	1.533	1926.424521	1,809.1614393	-1.96309105	8.78739249
295	1354	1.354	1701.486498	1,584.2234163	-2.07556006	8.67492348
300	1191	1.191	1496.654667	1,379.3915853	-2.17797598	8.57250756
305	1044	1.044	1311.929028	1,194.6659463	-2.2703388	8.48014474
310	914.3	0.9143	1148.943209	1,031.6801274	-2.35183171	8.39865184
315	800.2	0.8002	1005.560927	888.2978457	-2.42352285	8.32696069
320	701.2	0.7012	881.1538644	763.8907827	-2.48572638	8.26475716
325	616.7	0.6167	774.9680379	657.7049562	-2.53881929	8.21166425
330	545.8	0.5458	685.8724746	568.6093929	-2.58336708	8.16711647
335	487.6	0.4876	612.7362012	495.4731195	-2.61993521	8.13054833
340	441.2	0.4412	554.4282444	437.1651627	-2.64908919	8.10139435
345	406.1	0.4061	510.3202857	393.0572040	-2.67114317	8.07934037
350	381.5	0.3815	479.4070155	362.1439338	-2.6865998	8.06388374
355	366.9	0.3669	461.0601153	343.7970336	-2.69577325	8.05471029
360	362.1	0.3621	455.0282577	337.7651760	-2.69878918	8.05169436

**ANEXO E.** Composición nominal y propiedades mecánicas típicas de algunas aleaciones al aluminio a temperatura ambiente.

**TABLA 12.7** Composición nominal y propiedades mecánicas típicas de algunas aleaciones fundidas al aluminio\*

ALEACION Y TEMPLE†	MÉTODO DE FUNDICIÓN‡	COMPOSICIÓN NOMINAL, PORCENTAJE					PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS			
		Si	Cu	Mg	Zn	Ni	RESISTENCIA TENSIL, 1 000 LB/PULG²	RESISTENCIA A LA CEDENCIA, 1 000 LB/PULG²	ELONGACIÓN, PORCENTAJE EN 2 PULG	BHN 500 KG, 10 MM
13	DC	12.0	...	...	...	...	21	...	2.0	40
43	SC	...	...	...	...	...	8	...	8.0	45
	PM	5.0	...	...	...	...	9	...	10.0	
	DC	...	...	...	...	...	16	...	9.0	
85	DC	5.0	4.0	...	...	...	24	...	5.0	55
108	SC	3.0	4.0	...	...	...	14	...	2.5	70
A108	PM	5.5	4.5	...	...	...	16	...	2.0	70
112	SC	...	7.0	...	1.7	...	15	...	1.5	70
113	SC	2.0	7.0	...	1.7	...	15	...	1.5	70
122-T6†	SC	...	10.0	0.2	...	...	41	...	...	115
-T65	PM	...	...	...	...	...	48	...	...	140
A132-T65	PM	12.0	0.8	1.2	...	2.5	43	...	0.5	125
D132-T5	PM	9.0	3.5	0.8	...	0.8	28	...	1.0	105
195-T4	SC	0.8	4.5	...	...	...	16	...	8.5	60
-T6	SC	...	...	...	...	...	36	...	5.0	75
B195-T4	PM	2.5	4.5	...	...	...	37	...	9.0	75
B195-T6	PM	...	...	...	...	...	40	...	5.0	90
212	SC	1.2	8.0	...	...	...	23	...	2.0	65
214	SC	...	...	3.8	...	...	25	...	9.0	50
A214	PM	...	...	3.8	1.8	...	27	...	7.0	60
218	DC	...	...	8.0	...	...	45	...	8.0	75
220-T4	SC	...	...	10.0	...	...	27	...	14.0	70
319-F	SC	...	...	...	...	...	18	...	2.0	80
-T6	SC	6.3	3.5	...	...	...	24	...	2.0	80
355-T6	SC	5.0	1.3	0.5	...	...	25	...	3.0	80
-T6	PM	...	...	...	...	...	43	...	4.0	90
356-T6	SC	7.0	...	0.3	...	...	33	...	3.5	70
-T6	PM	...	...	...	...	...	24	...	5.0	90
360	DC	9.5	...	...	...	...	27	...	3.0	
380	DC	9.0	3.5	...	...	...	26	...	2.0	

FUENTE: AVNER, Sydney, Introducción a la metalúrgica física, 2 ed, 1988

**ANEXO F. Costos de ensayos de laboratorio de microdureza, mecanizado, escaneo e impresión 3D**

Costo de ensayo de microdureza. Cabe resaltar que los demás ensayos realizados en el laboratorio de espectroscopia tienen el mismo costo.



**LABORATORIO DE ESPECTROSCOPIA**  
Edificio de Investigaciones, laboratorio 203  
Km 2, Vía al Refugio – Sede Guatiguará  
PBX: (057 7) 6344000, ext 3508



**COTIZACIÓN DE SERVICIOS**

Piedecuesta, 19 de mayo de 2015

**COTIZACIÓN N°: 0051**

Señor:

Jorge Cáceres Salazar

Con base en la solicitud realizada, nos permitimos poner a su consideración nuestra oferta de servicio.

DETALLES DE LA COTIZACIÓN			
Tipo de servicio; Análisis de microdureza			
CANTIDAD	DETALLE	Valor unitario	Valor Total
3	microdureza	50.000	150.000
		<b>Total</b>	<b>150.000</b>
CONDICIONES DEL SERVICIO			
<ul style="list-style-type: none"><li>• Los resultados se entregarán hasta en 10 días hábiles después de hacer la recepción de las muestras.</li><li>• Los resultados se entregarán de forma impresa o digital según lo especifique el cliente en el formato de solicitud de servicios.</li><li>• Cualquier inquietud, queja o reclamo respecto al servicio será atendida al PBX (057 7) 6344000 ext 3508 o al correo electrónico <a href="mailto:le203ptg@gmail.com">le203ptg@gmail.com</a> en un plazo máximo de 90 días calendario.</li><li>• La aceptación de la presente cotización incluye la aprobación de las condiciones de la prestación de servicios descrita en este documento.</li></ul>			

**FUENTE:** Laboratorio Espectroscopia, Parque tecnológico Guatiguará

### Costo de Mecanizado

**FRESADOS SANTANDER**

**ORDEN DE TRABAJO**  
Nº **4000**

DANIEL DÍAZ MALDONADO  
NIT. 91 152 302-2  
Carrera 13 Nº 23-34 Telefax: 6425657

Cliente: Jorge Pulido Merano Nit: \_\_\_\_\_  
Dirección: \_\_\_\_\_ Teléfono: 300 293 89 99

CANTIDAD	O.C. No.	DESCRIPCIÓN
<u>1</u>		<u>Reparación y hacer ajustes de ajuste de motor de máquina</u>

VALOR: \$ 270.000 IVA ABONO: \_\_\_\_\_ SALDO: \_\_\_\_\_  
OPERARIO: \_\_\_\_\_ MAQUINA: \_\_\_\_\_  
FECHA PROGRAMADA DE ENTREGA: 10 2015  
APROBACIÓN DEL CLIENTE: Jorge Pulido Merano FECHA: 09 10

**RECIBIDO**

FUENTE: Fresados Santander

### Costo de escáner 3D y modelado

**RECIBO DE CAJA MENOR**

FECHA: 14 02 2015 POR \$ 270.000=

PAGADO A Jorge Luis Pulido Merano

POR CONCEPTO DE Servicio de escaner 3d y modelado 3d

SON doscientos setenta mil pesos mcte

IMPUTACION: \_\_\_\_\_ FIRMA RECIBIDO: Jorge Luis Pulido

APROBADO: \_\_\_\_\_ C.C. o NIT: 1098657697 Blmanan



FORMAS DYMAR

Costo de servicio de impresión 3D

		RECIBO DE CAJA MENOR		
FECHA	DIA	MES	AÑO	POR \$
	26	09	2018	550.000=
PAGADO A	Diego Mauricio Tellez			
POR CONCEPTO DE	Servicio de impresión 3d			
SON	Quinientos cincuenta mil pesos mcte			
IMPUTACION	FIRMA RECIBIDO			
APROBADO	<i>Diego Tellez</i>			
	C.C. o NIT 1.098.635.738 de B/mangol			

FORMAS DYMAR

## ANEXO G. Hojas de ruta del cárter y carcasa

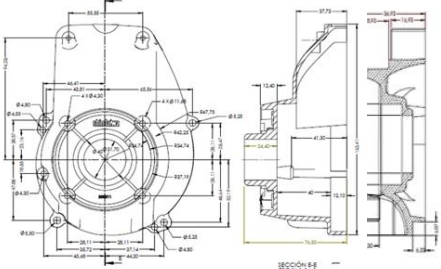
HOJA DE OPERACIÓN: FUNDICIÓN DE ALUMINIO					
  ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA	<b>PROCESO N°</b>		0.1	<b>FECHA</b>	
	<b>NOMRE DEL PROCESO</b>		Fundición	<b>REVISIÓN</b>	01
	<b>ENTIDAD RESPONSABLE</b>		Metálicas FUNDAP	<b>ELABORÓ</b>	Jorge Cáceres Johan Ortiz
	<b>MATERIA PRIMA</b>		Aleación de aluminio	<b>APROBO</b>	Dr. Ing. L. Chacón
<b>Parte N°</b>	<b>Nombre de la pieza</b>	<b>Número de piezas</b>	<b>Página</b>	<b>Descripción general</b>	
70012-21121	Sección grande del Cárter	1	1 de 1	Obtención del modelo de fundición, a través de una impresora 3D, para posteriormente realizar el moldeo y fundición.	



N°	OPERACIÓN	DETALLE	HERRAMIENTA	TIEMPO DE CICLO
1	Elaboración de los modelos en CAD/CAE	Considerando los porcentajes de contracción volumétrica del material y las tolerancias de ajuste planos, se sobredimensionan los modelos.	SolidWorks	15 horas
2	Elaboración del modelo de fundición	Según las dimensiones ya establecidas en el modelado, se imprime el molde de sección grande de la carcasa	Ultimaker 2	27 horas
3	Proceso de moldeo	Con los modelos de fundición se elabora el molde en la arena, ubicando los bebederos y las mazarotas.	Barra niveladora, criba de mano, paletas y arena sílice.	1 hora
4	Fundición del material	Se eleva la temperatura de la aleación aluminio-silicio a 850 °C.	Horno de crisol móvil.	1 hora, 15 min.
5	Vertido del material	Manteniendo un flujo constante, se vierte el material fundido en el molde.	Tenazas de crisol	5 min
6	Desmoldeo	Luego de 15 minutos de solidificación, se procede al desmoldeo de la pieza.	Manualmente	15 min.





HOJA DE OPERACIÓN: FUNDICIÓN DE ALUMINIO				
<b>PROCESO N°</b>		0.2	<b>FECHA</b>	
<b>NOMRE DEL PROCESO</b>		Fundición	<b>REVISIÓN</b>	02
<b>ENTIDAD RESPONSABLE</b>		Metálicas FUNDAP	<b>ELABORÓ</b>	Jorge Cáceres Johan Ortiz










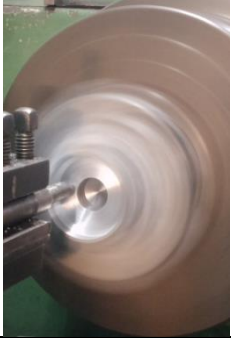



2	Elaboración del modelo de fundición	Según las dimensiones ya establecidas en el modelado, se imprime el molde de sección grande de la carcasa	Ultimaker 2	28 horas
3	Proceso de moldeo	Con los modelos de fundición se elabora el molde en la arena, ubicando los bebederos y las mazarotas.	Barra niveladora, criba de mano, paletas y arena sílice.	1 hora
4	Fundición del material	Se eleva la temperatura de la aleación aluminio-silicio a 850 °C.	Horno de crisol móvil.	1 hora, 15 min.
5	Vertido del material	Manteniendo un flujo constante, se vierte el material fundido en el molde.	Tenazas de crisol	5 min
6	Desmoldeo	Luego de 15 minutos de solidificación, se procede al desmoldeo de la pieza.	Manualmente	26 min.






<p>Control de calidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Inspección visual</li> <li><input type="checkbox"/> Sin rechupes</li> <li><input type="checkbox"/> Ausencia de grietas</li> <li><input type="checkbox"/> Llenado completo</li> </ul>	
---	---

HOJA DE OPERACIÓN: REFRENTADO DE SUPERFICIES					
  ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA	<b>PROCESO N°</b>		0.4	<b>FECHA</b>	
	<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		Refrentado	<b>REVISION</b>	04
	<b>ENTIDAD RESPONSABLE</b>		Fresados Santander	<b>ELABORÓ</b>	Jorge Cáceres Johan Ortiz
	<b>MATERIA PRIMA</b>		Pieza fundida	<b>APROBO</b>	Dr. Ing. L. Chacón
<b>Parte N°</b>	<b>Nombre de la pieza</b>	<b>Número de piezas</b>	<b>Página</b>	<b>Descripción general</b>	
70012-21121	Sección grande del Cárter	1	1 de 1	Se mecanizan y se ajustan las dimensiones de la pieza con una juste de $\pm 0.01$ mm según cotas de los planos.	



N°	OPERACIÓN	DETALLE	HERRAMIENTA	TIEMPO CICLO	PERSPECTIVA
1	Preparar la fresadora universal Tos Olomouc.	Limpiar y lubricar el banco de trabajo de la fresadora. Verificar su buen funcionamiento y realizar el protocolo de encendido según manual del fabricante.	Limpiones, brocha, aceitera.	10 min	
2	Montaje de la pieza	Sujetar la pieza en la mesa de trabajo de la fresadora con la prensa, garantizando un buen contacto entre la base de la pieza y la base de la prensa.	Fresadora Tos Olomouc	3 min	
3	Refrentado cara interna del cárter	Se ajusta el escariador en la fresa y se posiciona para hacer el refrentado de la cara superior.	Escariador de 1 in a 710rpm con un avance de 112 mm/min	10 min.	
4	Refrentado cara externa del cárter	Se realizan los pasos 1, 2, 3, para refrentar la cara posterior donde se aloja el volante del motor y devastar los restos de la mazarota.	Escariador de 1 in a 710rpm con un avance de 112 mm/min	20 min	



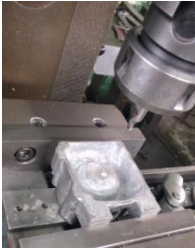

5	Ubicar centro del alojamiento del rodamiento	Montar la broca centro y medir en cuatro direcciones perpendiculares entre sí, para ubicar el centro del alojamiento del rodamiento de la pieza.	Broca centro a 710 rpm	10 min	
6	Taladrado	Ubicado el centro del rodamiento se procede a taladrar hasta la otra cara para poder ajustar los mismos centros.	Broca de acero de 5/8 in	5 min	
7	Montaje de la pieza	Se sujeta la pieza con un tornillo a la mesa de trabajo para poder rectificar los asientos de las cabezas de los tornillos.	Broca de acero 6 mm	5 min	
8	Taladrado superficial	Ubicado el centro de los alojamientos de los agujeros donde van los tornillos, se taladra superficialmente para permitir el asiento de las cabezas de los tornillos.	Broca de acero de 5/8 in	5 min	
9	Preparar el torno	Limpiar y lubricar el banco de trabajo del torno. Verificar su buen funcionamiento y realizar el protocolo de encendido según manual del fabricante.	Limpiones, brocha, aceitera.	10 min	
10	Cilindrado del inserto externo.	Se cilindra una barra de acero, de manera que sirva de inserto en el alojamiento del retenedor con un ajuste forzado y se pueda sujetar la pieza, ya que no es posible debido a su forma irregular.	Buril de acero a 565 rpm y un avance de 2 mm/rev	5 min	





110	Montaje de la pieza	Ensamblar el inserto con la pieza grande del cárter y sujetarla firme con la copa tres, garantizando alineamiento y centricidad en la pieza.	Torno paralelo	3 min	
120	Refrentado cara interna de la carcasa	Se monta el buril de acero en el porta herramienta y se hace el refrentado en la cara plana interna de la carcasa.	Buril de acero a 565 rpm y un avance de 2 mm/rev	10 min	
130	Chaflanado	Se hace un chaflán de 1 mm a 45° en el borde de la cara plana interna de la carcasa para evitar los concentradores de esfuerzos.	Buril de acero a 565 rpm y un avance de 2 mm/rev	3 min	
140	Cilindrado del inserto interno	Se cilindra un tubo de acero, de manera que sirva de inserto en el alojamiento interno del cigüeñal y se pueda sujetar la pieza, ya que no es posible debido a su forma irregular.	Buril de acero a 565 rpm y un avance de 2 mm/rev	5 min	
150	Montaje de la pieza	Ensamblar el inserto interno con la pieza pequeño del cárter y sujetarla firme con la copa tres, garantizando alineamiento y centricidad en la pieza.	Torno paralelo	3 min	







160	Refrentado cara asiento de retenedor	Se monta el buril de acero en el porta herramienta y se hace el refrentado en la cara externa del asiento del retenedor.	Buril de acero a 565 rpm y un avance de 2 mm/rev	10 min	
170	Mandrinado del alojamiento del retenedor	Se rectifica la dimensión interna y se le da ajuste al alojamiento del retenedor.	Buril de acero a 565 rpm y un avance de 2 mm/rev	5 min	
180	Chaflando	Se hace un chaflan de 1 mm a 45° en el borde de la cara plana interna de la carcasa para evitar los concentradores de esfuerzos.	Buril de acero a 565 rpm y un avance de 2 mm/rev	3 min	
190	Montajes de la piezas	Se ensamblan las dos piezas del cárter con el inserto dentro de ellas de manera que se minimicen los errores de posicionamiento y el ensamble sea preciso.	Manual	3 min	
200	Ubicar centro de las perforaciones para el roscado	Ubicados los puntos se marcan con un centro punto para posteriormente perforar los agujeros de sujeción de las piezas del cárter.	Centro punto, martillo	3 min	






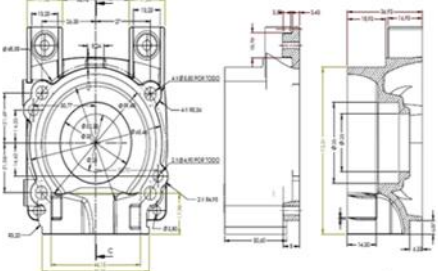




HOJA DE OPERACIÓN: REFRENTADO DE SUPERFICIES					
  ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA	<b>PROCESO N°</b>		0.4	<b>FECHA</b>	
	<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		Refrentado	<b>REVISIÓN</b>	04
	<b>ENTIDAD RESPONSABLE</b>		Fresados Santander	<b>ELABORÓ</b>	Jorge Cáceres Johan Ortiz
	<b>MATERIA PRIMA</b>		Pieza fundida	<b>APROBO</b>	Dr. Ing. L. Chacón
<b>Parte N°</b>	<b>Nombre de la pieza</b>	<b>Número de piezas</b>	<b>Página</b>	<b>Descripción general</b>	
70012-21121	Sección pequeña del Cárter	1	1 de 2	Se mecanizan y se ajustan las dimensiones de la pieza con un juste de $\pm 0.01$ mm según cotas de los planos.	





N°	OPERACIÓN	DETALLE	HERRAMIENTA	TIEMPO CICLO	PERSPECTIVA
10	Preparar la fresadora universal Tos Olomouc.	Limpiar y lubricar el banco de trabajo de la fresadora. Verificar su buen funcionamiento y realizar el protocolo de encendido según manual del fabricante.	Limpiones, brocha, aceitera.	10 min	
20	Montaje de la pieza	Sujetar la pieza en la mesa de trabajo de la fresadora con la prensa, garantizando un buen contacto entre la base de la pieza y la base de la prensa.	Fresadora Tos Olomouc	3 min	
30	Ubicar centro del alojamiento del rodamiento	Montar la broca centro y medir en cuatro direcciones perpendiculares entre sí, para ubicar el centro del alojamiento del rodamiento de la pieza.	Broca centro a 710 rpm	10 min	
40	Taladrado	Ubicado el centro del rodamiento se procede a taladrar hasta la otra cara para poder sujetar mejor la pieza y tener el mismo centro de referencia para todas las piezas.	Broca de acero de 5/8 in a 710 rpm y un avance de 224 mm/min.	5 min	





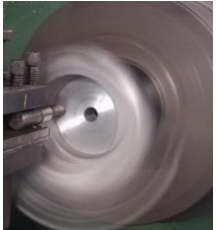
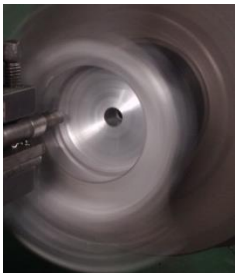
50	Refrentado de la cara externa del cárter.	Se monta la barra alesadora en la porta herramienta y se hace el refrentado en la cara externa de la cavidad del cárter.	Barra alesadora a 710 rpm y un avance de 80 mm/min	15 min	
60	Refrentado de la cara interna del cárter.	Se sujeta la pieza con la cara refrentada hacia abajo para garantizar el paralelismo en las dos caras.	Barra alesadora a 710 rpm y un avance de 80 mm/min	20 min	
70	Refrentado de la parte superior e inferior de la pieza.	Se refreta la base donde va ensamblada la camisa y su parte inferior para dar un acabado plano en estas superficies.	Escariador de 1 in a 710rpm con un avance de 160 mm/min	30 min	
80	Control de calidad	Se verifican las dimensiones de altura de cada una de las caras según el plano de diseño y la hoja de verificación e inspección.	Calibrador pie de rey.	5 min	

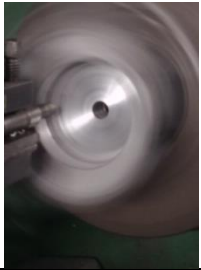





90	Preparar el torno	Limpiar y lubricar el banco de trabajo del torno. Verificar su buen funcionamiento y realizar el protocolo de encendido según manual del fabricante.	Limpiones, brocha, aceitera.	10 min	
100	Montaje de la pieza	Ensamblar el inserto con la pieza pequeña del cárter y sujetarla firme con la copa tres, garantizando alineamiento y centricidad en la pieza.	Torno paralelo	Montaje de la pieza	
110	Refrentado cara interna del cárter	Se monta el buril de acero en el porta herramienta y se hace el refrentado en la cara interna del alojamiento del cigüeñal	Buril de acero a 565 rpm y un avance de 2 mm/rev	10 min	
120	Cilindrado del inserto interno	Se cilindra un tubo de acero, de manera que sirva de inserto en el alojamiento interno del cigüeñal y se pueda sujetar la pieza, ya que no es posible debido a su forma irregular.	Buril de acero a 565 rpm y un avance de 2 mm/rev	5 min	
130	Montaje de la pieza	Ensamblar el inserto interno con la pieza pequeño del cárter y sujetarla firme con la copa tres, garantizando alineamiento y centricidad en la pieza.	Torno paralelo	3 min	
140	Refrentado cara externa retenedor	Se monta el buril de acero en el porta herramienta y se hace el refrentado en la cara externa del alojamiento del retenedor.	Buril de acero a 565 rpm y un avance de 2 mm/rev	7 min	



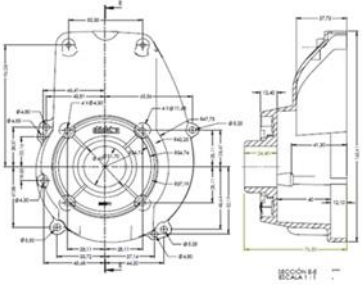
150	Ubicar centro de las perforaciones para el roscado	Ubicados los puntos se marcan con un centro punto para posteriormente perforar los agujeros de sujeción de las piezas del cárter.	Centro punto, martillo	3 min	
160	Taladrado de los agujeros de sujeción del cárter	Se taladran los agujeros del cárter mediano, donde ya se había referenciado anteriormente.	Taladro vertical, broca 5 mm	7 min	
170	Roscado	Con un macho 5 mm se hace la roca en los agujeros que se mecanizaron previamente.	Macho 5 mm	10 min	
180	Montaje del conjunto	Se ensamblan las piezas del carter y se montan en el centro punto de la fresadora, de manera que la cara donde se ubica la camisa este perpendicular al eje de la herramienta.	Centro punto de la fresadora	7 min	
190	Refrentado la cara superior de la camisa	Se monta la barra alesadora en la porta herramienta y se hace el refrentado en la cara superior del cárter donde se ensambla la camisa del motor	Barra alesadora a 710 rpm y un avance de 160 mm/min	15 min	
<p><b>Control de calidad:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Inspección visual</li> <li><input type="checkbox"/> Sin rechupes</li> <li><input type="checkbox"/> Ausencia de grietas</li> <li><input type="checkbox"/> Llenado completo</li> </ul>					

HOJA DE OPERACIÓN: REFRENTADO DE SUPERFICIES					
  ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA	<b>PROCESO N°</b>		0.4	<b>FECHA</b>	
	<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		Refrentado	<b>REVISION</b>	04
	<b>ENTIDAD RESPONSABLE</b>		Fresados Santander	<b>ELABORÓ</b>	Jorge Cáceres Johan Ortiz
	<b>MATERIA PRIMA</b>		Pieza fundida	<b>APROBO</b>	Dr. Ing. L. Chacón
<b>Parte N°</b>	<b>Nombre de la pieza</b>	<b>Número de piezas</b>	<b>Página</b>	<b>Descripción general</b>	
70012-31111	Carcasa	1	1 de 2	Se mecanizan y se ajustan las dimensiones de la pieza con una juste de $\pm 0.01$ mm según cotas de los planos.	

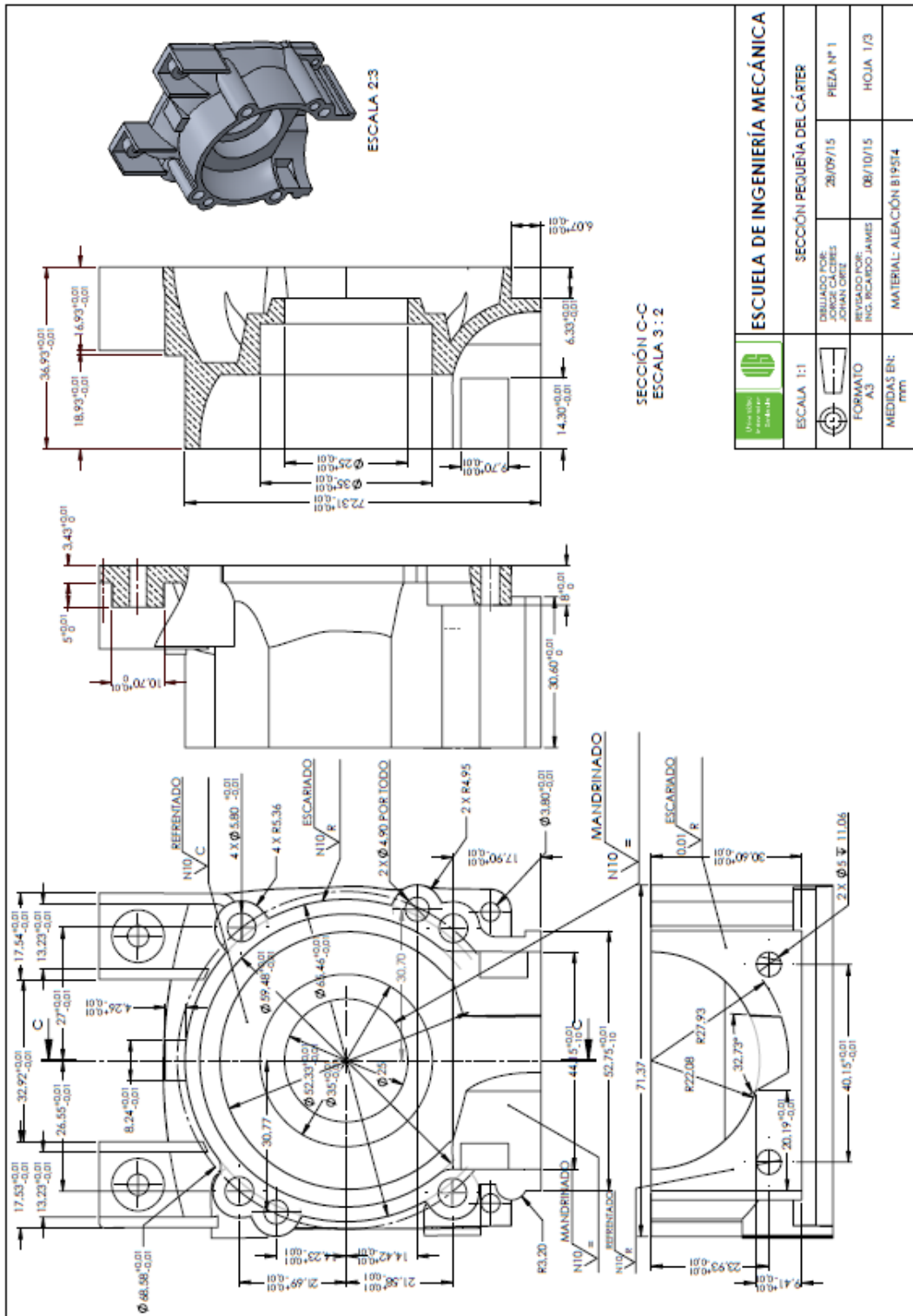
N°	OPERACIÓN	DETALLE	HERRAMIENTA	TIEMPO CICLO	PERSPECTIVA
10	Preparar la fresadora universal Tos Olomouc.	Limpiar y lubricar el banco de trabajo de la fresadora. Verificar su buen funcionamiento y realizar el protocolo de encendido según manual del fabricante.	Limpiones, brocha, aceitera.	10 min	
20	Montaje de la pieza	Sujetar la pieza en la mesa de trabajo de la fresadora con la prensa, garantizando un buen contacto entre la base de la pieza y la base de la prensa.	Fresadora Tos Olomouc	3 min	
30	Refrentado de la cara externa de la carcasa	Se monta la barra alesadora en la porta herramienta y se hace el refrentado en la cara plana superior para posteriormente hacer los alojamientos de los rodamientos.	Barra alesadora a 710 rpm y un avance de 224 mm/min	5 min	
40	Ubicar centro del alojamiento del rodamiento	Montar la broca centro y medir en cuatro direcciones perpendiculares entre sí, para ubicar el centro del alojamiento del rodamiento de la pieza.	Broca centro	10 min	

50	Taladrado	Ubicado el centro del rodamiento se procede a taladrar hasta la otra cara para poder sujetar mejor la pieza y tener el mismo centro de referencia para todas las piezas.	Broca de acero de 5/8 in a 710 rpm y un avance de 112 mm/min.	5 min	
60	Refrentado de la cara inferior de la carcasa	Se sujeta la pieza a la mesa de trabajo y se monta la barra alesadora en la porta herramienta para hacer el refrentado en la cara plana inferior de la carcasa.	Barra alesadora a 1400 rpm y un avance de 160 mm/min	7 min	
70	Preparar el torno	Limpiar y lubricar el banco de trabajo del torno. Verificar su buen funcionamiento y realizar el protocolo de encendido según manual del fabricante.	Limpiones, brocha, aceitera.	10 min	
80	Montaje de la pieza	Sujetar la pieza en la copa tres del torno, garantizando el centro y buen contacto entre la base de la pieza y la copa evitando bamboleos.	Torno	3 min	
90	Refrentado cara interna de la carcasa	Se monta el buril de acero en el porta herramienta y se hace el refrentado en la cara plana interna de la carcasa.	Buril de acero a 565 rpm y un avance de 2 mm/rev	10 min	
100	Chaflando	Se hace un chaflan de 1 mm a 45° en el borde de la cara plana interna de la carcasa para evitar los concentradores de esfuerzos.	Buril de acero a 565 rpm y un avance de 2 mm/rev	3 min	

110	Mandrinado de la cavidad interna de la carcasa.	Se rectifica la dimensión interna del alojamiento de la campana.	Buril de acero a 565 rpm y un avance de 2 mm/rev	5 min	
120	Montar la pieza por el envés.	Con la copa de 3 se sujeta la pieza por la cavidad interna, garantizando su alineación y concentricidad, empleando un comparador de caratula.	Copa de tres y comparador de caratula.	7 min	
130	Refrentado cara externa de la carcasa	Se monta el buril de acero en el porta herramienta y se hace el refrentado en la cara plana externa de la carcasa.	Buril de acero a 565 rpm y un avance de 2 mm/rev	10 min	
140	Mandrinado del alojamiento de los rodamientos de la carcasa.	Se rectifica la dimensión interna y se le da ajuste al alojamiento de los rodamientos de la campana.	Buril de acero a 565 rpm y un avance de 2 mm/rev	5 min	
150	Control de calidad	Se verifican las dimensiones de e cada una de las caras y cavidades de la pieza según el plano de diseño y la hoja de verificación e inspección.	Calibrador pie de rey.	5 min	
150	Control de calidad	Se verifican las dimensiones de e cada una de las caras y cavidades de la pieza según el plano de diseño y la hoja de verificación e inspección.	Calibrador pie de rey.	5 min	

160	Taladrado superficial	Ubicado el centros de los alojamientos de los agujeros donde van los tornillos, se taladra superficialmente para permitir el asiento de las cabezas de los tornillos.	Broca de acero de 9 mm	5 min	
170	Taladrado	Se taldran los agujeros donde van los tornillos.	Broca de acero de 5 mm	10 min	
<p>Control de calidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Inspección visual</li> <li><input type="checkbox"/> Sin rechupes</li> <li><input type="checkbox"/> Ausencia de grietas</li> <li><input type="checkbox"/> Llenado completo</li> </ul>					

Planos de fabricación del Cárter y la Carcasa



<b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
ESCALA 1:1	SECCIÓN PEQUEÑA DEL CÁRTER
	DISEÑADO POR: JORGE CÁCERES JHON CRUZ
	28/09/15 PIEZA N° 1
	REVISADO POR: ING. RICARDO JAMES
MEDIDAS EN: mm	08/10/15 HOJA 1/3
MATERIAL ALEACIÓN B1954	



