

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Rediseño y prototipado de un pistón de moto mediante el proceso de  
fundición”

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Materia Integradora

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Jimmy Hernán Anchundia Zamora

Héctor Gregorio Lindao Castillo

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año 2017

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres, Manuel Anchundia Quijije y Rosa Zamora Macias, por su constante e incondicional apoyo para poder culminar cada etapa de mis estudios, a mis hermanos Johnny, Manuel y Javier, por sus buenos consejos y motivarme a no rendirme para poder seguir adelante en mis estudios, a mi tutora PhD. Ana Rivas por impartir sus conocimientos para la culminación de este proyecto, al Ing. Ignacio Wiesner quien facilitó los equipos para realizar el prototipado.

A mis amigos, compañeros y demás familiares, quienes siempre fueron un apoyo hasta la culminación de mis estudios.

Y finalmente a Dios, por brindarme la oportunidad de culminar una nueva etapa de mi vida y poderla compartir junto a mis familiares más cercanos.

Jimmy Anchundia Zamora

Agradezco a mis difuntos padres Héctor Lindao Yagual, y Pilar Castillo en su memoria, por su apoyo e inspiración para culminar con la carrera, a mi tutora PhD. Ana Rivas por el apoyo en sus conocimientos para la elaboración de este proyecto, al Ingeniero Ignacio Wiesner por el apoyo con sus equipos para la elaboración del prototipado.

A mis amigos y compañeros por su apoyo incondicional para la culminación de esta etapa de mi vida.

Y finalmente a Dios, por todas estas buenas experiencias en esta etapa de mi vida y por el futuro que me tenga preparado.

Héctor Lindao Castillo

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Jimmy Hernán Anchundia Zamora

Héctor Gregorio Lindao Castillo

PhD. Ana Luisa Rivas Ferrin

MSc. César Rodrigo Perugachi Benalcazar

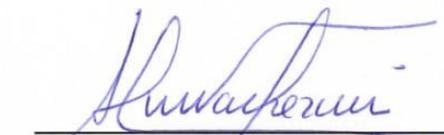
Y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Jimmy H. Anchundia Zamora



Héctor G. Lindao Castillo



PhD. Ana L. Rivas Ferrin



MSc. César R. Perugachi Benalcazar

## RESUMEN

Este proyecto fue desarrollado con el propósito de fabricar un prototipo de un pistón de moto con miras a la sustitución de partes y piezas en el sector automotriz, lo cual se encuentra alineado con los planes de la nación. Para llevar a cabo el estudio, se seleccionó el pistón de moto a 4 tiempos y 200 cc, que demanda un mayor desempeño en kilómetros con una elevada potencia por cada litro de combustible, siendo su función iniciar la transformación de energía química en energía cinética. El pistón diseñado debe disipar el calor generado en la cámara y disminuir la fricción y el desgaste de las partes que están en contacto con él. El estudio abarcó:

- 1) El dimensionamiento de la pieza en 3D, considerando los cambios en dimensiones generados en el material por efecto de la transformación líquido/sólido y en estado sólido.
- 2) La simulación del proceso de fundición a través de un software, que permite predecir las zonas críticas producto de regiones frías o calientes donde se pueden concentrar los defectos, para tomarlo en consideración en el proceso de diseño del sistema de colada.
- 3) Fabricación de un molde metálico con la forma del pistón.
- 4) Fusión y colada del material para obtener el prototipo del pistón.
- 5) El mecanizado del prototipo obtenido y sus correspondientes análisis por diferentes técnicas de caracterización.

Previo al proceso de diseño, se propusieron matrices de decisión con lo cual se facilitó la selección del método de fabricación, basado en los diferentes criterios establecidos. Además, con el uso de las normas ASM, se eligió la mejor aleación para fabricar el pistón colado, resultando ser la aleación de aluminio-silicio ASM 336.0. Con dicho material, se realizó la simulación del proceso de fundición en el software MagmaSoft para luego proceder a realizar la fundición, aplicar el tratamiento térmico respectivo, y los análisis para su caracterización.

Los resultados obtenidos muestran la estructura típica de una aleación de aluminio silicio de tipo eutéctica, cuyo contenido de silicio es de 12,1%C. La estructura es más gruesa que la del pistón original fabricado por un proceso de forja, sin embargo, los valores de dureza son similares.

Palabras claves: pistón, MAGMASOFT, eutéctico, fundición.

## **ABSTRACT**

The purpose of this project was to manufacture the prototype for a motorcycle piston, aiming towards the substitution of importing automotive parts, which is in turn consistent with the established national plans. To this aim, a 4-cycle 400 cc motorcycle piston was selected, which requires better performance in terms of higher power as well as higher distance per liter of fuel. The piston is the place in the engine where the chemical energy stored in the fuel is converted into kinetic energy. Design conditions for the piston are to better dissipate heat from the chamber, as well as to reduce friction and wear of the parts in contact with the piston.

The study covered the following points:

- 1) A process of 3D dimensioning of the parts, taking into consideration changes in dimension brought about in the material by liquid/ solid transformations
- 2) Smelting process simulation by means of a software able to predict the location of critical zones resulting from hot and cold regions, where defects could be concentrated. This will be useful in the design of the casting process
- 3) Manufacturing of a piston- shaped metallic molding for casting
- 4) Smelting and casting the material to generate piston prototype
- 5) Mechanical processing of the prototype, followed by application of characterization techniques

Several decision matrices were proposed prior to the design stage, thus facilitating the selection of the manufacturing procedure based on the various established criteria. Furthermore, the best alloy was selected by means of ASM Standards, in the present case, the aluminum- silica ASM 336.0 alloy. Simulation of the smelting process was done by using this material by means of the MagmaSoft software. With this, the smelting and casting process were accomplished, followed by the corresponding thermal treatment and characterization

Results show the typical eutectic- type aluminum-silica alloy, with silica content of 12.1%. Its microscopic structure is coarser than the original forged piston, but its values for hardness testing are similar

Keywords: piston, MAGMASOFT, eutectic, smelting.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	III
ÍNDICE GENERAL .....	V
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIII
CAPÍTULO 1.....	1
Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Objetivos .....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.1 Objetivos específicos .....	2
1.3 Marco teórico.....	3
1.3.1 Motores de combustión interna.....	3
1.3.2 Funcionamiento del motor de 4 tiempos a gasolina.....	4
1.3.3 Eficiencia de los motores de combustión interna.....	5
1.3.4 Pistón.....	6
CAPÍTULO 2.....	9
Metodología.....	9
2.1 Alternativas de solución del problema.....	9
2.2 Selección de la mejor alternativa.....	11
2.3 Elaboración del prototipado.....	13
2.4 Diseño conceptual.....	13
2.5 Selección de materiales y normativas .....	18
2.6 Dimensionamiento del pistón. ....	21
2.7 Proceso de fabricación.....	27
2.8 Herramienta Computacional.....	31
CAPÍTULO 3.....	33

Resultados.....	33
3.1 Resultados realizados al pistón primario .....	33
3.1.1 Medición de peso del pistón primario.....	33
3.1.2 Resultados del análisis químico.....	33
3.1.3 Resultados del ensayo metalográfico al pistón primario. ....	34
3.1.4 Resultado del ensayo de dureza al pistón primario. ....	36
3.2 Diseño del sistema de colado de la fundición.....	37
3.3 Simulación en MagmaSoft.....	42
3.4 Dimensionamiento y ubicación de la mazarota dentro del sistema de colado..	45
3.5 Determinación y resultados de la aleación de aluminio-silicio eutéctico.....	50
3.6 Resultados del análisis químico de la aleación desarrollada.....	50
3.7 Resultado del análisis metalográfico de la aleación desarrollada. ....	51
3.8 Resultado del ensayo de dureza de la aleación desarrollada. ....	52
3.9 Medición de peso del pistón de aleación.....	54
3.10 Análisis de costos.....	54
3.10.1 Costos directos .....	54
3.10.1 Costos indirectos .....	54
3.11 Cronograma de trabajo.....	56
CAPÍTULO 4.....	57
Discusión y conclusiones .....	57
4.1 Conclusiones.....	58
4.2 Recomendaciones.....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	60
APÉNDICES.....	62
APÉNDICE A.....	63
PROCESO DE FUNDICIÓN DEL PISTÓN EN MAGMASOFT.....	63
Proceso de simulación .....	64
APÉNDICE B.....	73
CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPADO .....	73
APÉNDICE C.....	82
Pruebas realizadas al pistón comercial y al pistón fundido .....	82
APÉNDICE D.....	90
PLANOS DEL SISTEMA DE COLADO .....	90

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
ASM	American Society for Metals
CAE	Computer Aided Engineering
COMEX	Comité de Comercio Exterior
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
INEN	Instituto Nacional de Estadísticas y Censo
PMS	Punto Muerto Superior
PMI	Punto Muerto Inferior

## SIMBOLOGÍA

m	Metro
min	Minuto
in	Pulgada
rev	Revolución
ft	Pies
s	Segundo
$\rho$	Densidad del aluminio ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )
V	Volumen del pistón ( $\text{m}^3$ )
A	Área superficial ( $\text{m}^2$ )
g	Aceleración de la gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ ), gramos
cc, $\text{cm}^3$	Centímetros cúbicos
S	Carrera del pistón (cm)
$D_{\text{pistón}}$	Diámetro del pistón (cm)
D	Diámetro del cilindro (cm)
$V_1$	Volumen de la cámara de combustión ( $\text{cm}^3$ )
$V_2$	Volumen de la carrera del pistón ( $\text{cm}^3$ )
r	Relación de compresión
n	Exponente de valor 2
$H_1$	Punto superior de la mazarota (cm)
$H_2$	Punto inferior de la mazarota (cm)
$v_1$	Velocidad inicial de la mazarota (cm/s)
$v_2$	Velocidad final de la mazarota (cm/s)
$D_0$	Diámetro inicial (mm)
$D_f$	Diámetro final (mm)
L	Longitud del cilindro
$F_b$	Fuerza de flotación (N)
$W_n$	Peso del metal fundido (N)
$W_c$	Peso del núcleo (N)
$T_{TS}$	Tiempo total de solidificación (min)
V	Volumen del fundido ( $\text{cm}^3$ )
A	Área de la superficie del fundido ( $\text{cm}^2$ )

$C_m$	Constante del molde (min/cm <sup>2</sup> )
$T_{MF}$	Tiempo de llenado del molde (s)
$v$	Velocidad de corte (mm/min)
$Q$	Gasto volumétrico (cm <sup>3</sup> /s)
$H$	Calor total que se requiere para subir la temperatura del metal (J)
$P$	Densidad del aluminio (g/ cm <sup>3</sup> )
$C_s$	Calor específico por peso para el metal sólido (J/s-°C)
$T_m$	Temperatura de fusión del metal (°C)
$T_o$	Temperatura ambiental (°C)
$H_f$	Calor de fusión (J/g)
$C_l$	Calor específico por peso del metal líquido (J/g-°C)
$T_p$	Temperatura del vertido (°C)
$M_{mazarota}$	Módulo de enfriamiento de la mazarota (mm)
$V_{mazarota}$	Volumen de la mazarota (mm <sup>3</sup> )
$S_{mazarota}$	Área de la mazarota (mm <sup>2</sup> )
$M_{pieza}$	Módulo de enfriamiento de la pieza (mm)
$V_{pieza}$	Volumen de la pieza (mm <sup>3</sup> )
$S_{pieza}$	Área de la pieza (mm <sup>2</sup> )
$D_{mazarota}$	Diámetro de la mazarota (mm)

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ciclo de motor de 4 tiempos.....	5
Figura 1.2. Partes principales de un pistón de 4 tiempos. ....	7
Figura 2.1. Diagrama de flujo para la elaboración del prototipo .....	13
Figura 2.2. Vista isométrica del pistón de moto de 200cc .....	14
Figura 2.3. Vista de la parte inferior del pistón de moto de 200cc .....	14
Figura 2.4. Vista del pistón con los planos A y B .....	15
Figura 2.5. Vista seccionada del pistón plano A.....	15
Figura 2.6. Vista seccionada del pistón plano B .....	16
Figura 2.7. Vista del núcleo para la fundición .....	16
Figura 2.8. Vista superior del núcleo para la fundición .....	17
Figura 2.9. Vista del molde .....	18
Figura 2.10. Diagrama de fase Aluminio-Silicio .....	19
Figura 2.11. Parámetros del funcionamiento de un pistón .....	22
Figura 2.12. Parámetros del funcionamiento de un pistón .....	26
Figura 3.1. Microestructura del pistón original, X100. Ataque con Keller .....	35
Figura 3.2. Microestructura del pistón original, X500. Ataque con Keller .....	35
Figura 3.3. Equipo utilizado en el ensayo de dureza .....	36
Figura 3.4. Dimensiones del pistón original.....	38
Figura 3.5. Vista en frontal del sistema de fundición del aluminio. ....	39
Figura 3.6. Vista frontal del sistema de fundición interna del pistón. ....	41
Figura 3.7. Sistema de colado para el proceso de fundición .....	42
Figura 3.8. Velocidad de llenado .....	43
Figura 3.9. Punto caliente en el interior del pistón.....	44
Figura 3.10. Porosidad en el interior del pistón .....	45
Figura 3.11. Sistema de colado para el proceso de fundición con mazarota. ....	47
Figura 3.12. Velocidad de llenado del sistema de colado (velocidad absoluta).....	48
Figura 3.13. Puntos calientes en el sistema de colado.....	49
Figura 3.14. Porosidad en el sistema de colado.....	49
Figura 3.15. Microestructura del pistón fundido, x100, ataque con keller.....	51
Figura 3.16. Microestructura del pistón fundido, x500, ataque con keller.....	52
Figura 3.17. Cronograma de trabajo.....	56
Figura a-1 Selección del tipo de molde y del material a fundir. ....	64
Figura a-2 Geometría del bloque importado en MAGMASOFT.....	65
Figura a-3. Ensamblaje de los componentes del sistema de colado de la fundición ....	65
Figura a-4 Creación del molde permanente en MAGMASOFT .....	66
Figura a-5 Creación del ingreso de la colada de la aleación de aluminio.....	66
Figura a-6 Árbol de Geometría de MAGMASOFT .....	67
Figura a-7 Lista de materiales para el molde metálico .....	67
Figura a-8 Parámetros del mallado para el molde.....	68
Figura a-9 Parámetros del mallado para la mazarota y corredero.....	69

Figura a-10	Parámetros del mallado para la fundición. ....	69
Figura a-11	Malla general del sistema.....	70
Figura a-12	Mallado en la zona fina del pistón cerca del vástago. ....	70
Figura a-13	Mallado en la zona curva del pistón .....	71
Figura a-14	Temperaturas iniciales del sistema de colado de la fundición.....	71
Figura a-15	Proceso de fundición del sistema de colado .....	72
Figura a-16	Proceso de simulación .....	72
Figura b-1	Modelo de madera .....	74
Figura b-2	Grafito .....	75
Figura b-3	Calentamiento del molde.....	75
Figura b-4	Molde con grafito calentado .....	76
Figura b-5	Medición de la temperatura inicial del molde .....	76
Figura b-6	Vertido de la colada en el molde .....	77
Figura b-7	Tratamiento térmico del pistón .....	77
Figura b-8	Horno en la temperatura requerida .....	78
Figura b-9	Medición de la temperatura requerida.....	78
Figura b-10	Pistón después del tratamiento térmico .....	79
Figura b-11	Pistón fundido en el proceso de mecanizado .....	79
Figura b-12	Pistón durante el mecanizado de la cavidad .....	80
Figura b-13	Pistón final con el pistón original .....	80
Figura b-14	Pistón final con el pistón original con los orificios de lubricación.....	81
Figura c-1	Corte al pistón para obtener las probetas.....	83
Figura c-2	Probetas planas para realizar las pruebas. ....	83
Figura c-3	Foto del equipo con probetas. ....	84
Figura c-4	Análisis químico al pistón original.....	84
Figura c-5	Análisis químico al pistón fundido.....	85
Figura c-6	Análisis químico al pistón fundido.....	85
Figura c-7	desbaste de la probeta .....	86
Figura c-8	Pulido final.....	86
Figura c-9	Pasta de diamante utilizado para el desbaste final.....	87
Figura c-10	Reactivo Keller utilizado para el ataque químico.....	87
Figura c-11	Probetas después del ataque químico. ....	88
Figura c-12	Microscopio para la metalografía.....	88
Figura c-13	Probetas después del ensayo de dureza. ....	89
Figura c-14	Lector de la dureza para las probetas .....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Aranceles del COMEX.....	2
Tabla 1.2. Tipos de motores de combustión interna para motos .....	3
Tabla 1.3. Porcentaje de pérdida en un motor de gasolina .....	6
Tabla 2.1. Forma de la superficie del pistón. ....	9
Tabla 2.2. Tipo de fabricación del pistón. ....	9
Tabla 2.3. Matriz de Selección por el método de fabricación .....	12
Tabla 2.4. Matriz de selección para el tipo de molde.....	12
Tabla 2.5. Tabla de designación de aleaciones de aluminio .....	20
Tabla 2.6. Contracción volumétrica para distintos metales de fundición. ....	30
Tabla 2.7. Densidades de aleaciones de fundición. ....	31
Tabla 3.1. Composición química porcentual (%) del pistón original .....	34
Tabla 3.2. Composición química del reactivo de Keller .....	34
Tabla 3.3. Características del equipo. ....	36
Tabla 3.4. Ensayo de dureza en pistón original.....	37
Tabla 3.5. Propiedades del Aluminio .....	37
Tabla 3.6. Datos del pistón de moto, 200 cc.....	38
Tabla 3.7. Composición química de la aleación 336 .....	50
Tabla 3.8. Composición de la aleación fundida. ....	50
Tabla 3.9. Composición química de la aleación desarrollada.....	51
Tabla 3.10. Ensayo de dureza en pistón fundido.....	53
Tabla 3.11. Ensayo de dureza en pistón fundido con tratamiento térmico. ....	53
Tabla 3.12. Costos directos de la fundición .....	54
Tabla 3.13. Costos indirectos de la fundición .....	54
Tabla 3.14. Costo del proyecto.....	55

## ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Ensamble de molde metálico

PLANO 2 Molde externo

PLANO 3 Molde interno

PLANO 4 Conjunto de fundición

PLANO 5 Fundición primaria del pistón

PLANO 6 Corredero

PLANO 7 Mazarota

PLANO 8 Pistón

PLANO 9 Pistón (vista de corte)

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descripción del problema

En el país existe una demanda creciente de partes y piezas en el área de la industria automotriz, abastecida en gran medida por medio de la importación, ya que el mercado nacional no tiene una capacidad instalada lo suficientemente robusta para satisfacer la demanda.

Mediante disposición del gobierno, refrendada por acuerdos ministeriales, tales como el convenio N° 14264, se busca minimizar el porcentaje de integración de partes y piezas de motocicletas ensambladas en el país. Por eso se plantea el proyecto de sustitución de partes y piezas mediante el proceso de fundición, en este caso en particular se desarrollará el rediseño y prototipado de un pistón de motor de motocicleta.

En los últimos años se ha hablado de incentivos arancelarios con el fin de ampliar la matriz productiva del país, no solo para abastecer al mercado nacional, sino poder exportar a mercados vecinos. Además con la reciente instalación de nuevas ensambladoras de motos en el país, el Comité de Comercio Exterior (COMEX) decidió implementar una tabla de aranceles a pagar (Tabla 1.1), según el porcentaje de piezas nacionales utilizadas en cada unidad ensamblada en el país, como incentivo para promover la producción nacional y como alternativa de solución a la creciente demanda (Comité de Comercio Exterior, 2012).

**Tabla 1.1 Aranceles del COMEX**

% de Producto Ecuatoriano Incorporado	Arancel a pagar Ad valorem	Observaciones
<5	30.00%	
5	15.00%	
6	14.25%	
7	13.50%	
8	12.75%	
9	12.00%	
10	11.25%	
11	10.50%	
12	9.75%	
13	9.00%	
14	8.25%	
15	7.50%	
16	6.75%	
17	6.00%	
18 o superior	5.25%	Arancel mínimo

Fuente: (Comité de Comercio Exterior, 2012)

Atendiendo al problema planteado, este proyecto tiene por finalidad hacer reingeniería inversa mediante la fabricación de pistones de moto para establecer su proceso de fabricación y así promover su producción nacional. Se espera obtener como producto final un pistón para motor mono cilíndrico de 200 cc que cumpla con los estándares y normativas.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Rediseñar el pistón de un motor de moto de un cilindro de 4 tiempos de 200 cc utilizando herramientas de diseño y programas de simulación, para promover su manufactura en la producción nacional.

### **1.2.1 Objetivos específicos**

- Dimensionar un pistón de moto de 200 c.c. y elaborar un modelo en CAD, para a través de este realizar simulaciones en el programa Magma.

- Simular la fundición por medio del programa Magma y elaborar sistema de molde y colada para la pieza de fundición de los pistones.
- Obtener un prototipo mediante un proceso de fundición en un molde metálico.
- Caracterizar el prototipo de pistón colado a través de análisis químico, metalográfico y ensayo de dureza para establecer comparaciones con el pistón distribuido en el mercado, manufacturado mediante un proceso de forjado.

### 1.3 Marco teórico

#### 1.3.1 Motores de combustión interna

La mayoría de las motocicletas que se fabrican a nivel mundial son de combustión interna, refrigeradas por un sistema de intercambiador de calor o por aire. Existe una variedad de motores de combustión interna para esta aplicación, los cuales se describen en la tabla 1.2.

**Tabla 1.2. Tipos de motores de combustión interna para motos**

Motores	Descripción
De un solo cilindro horizontal	Este motor fue empleado desde el año de 1980 y es utilizado aún en la actualidad. Éste es un motor de 2 tiempos, refrigerado por aire. Su cilindrada es de 50 cc hasta 200 cc
De un solo cilindro vertical	Contiene variaciones en el ciclo de funcionamiento y en el tipo de refrigeración. Su cilindrada es de 80 cc hasta 650 cc
De dos cilindros en línea	Presenta características similares a los motores de dos cilindros en V.
De cuatro cilindros en línea	Utilizado en motocicletas deportivas
De seis cilindros en línea	Utilizado en motocicletas de lujo.
De dos cilindros en V	Utilizado en motocicletas Harley Davidson con un sistema de refrigeración por aire.
De cuatro cilindros en V	No existen muchas motos con este tipo de motor debido a la desventaja en el espacio que ocupa.
De 4 tiempos Gasolina y Diesel	Es un motor de gasolina de 4 tiempos que reemplaza a los de 2 tiempos, debido a que estos son menos contaminantes.

Fuente: (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2016)

### 1.3.2 Funcionamiento del motor de 4 tiempos a gasolina

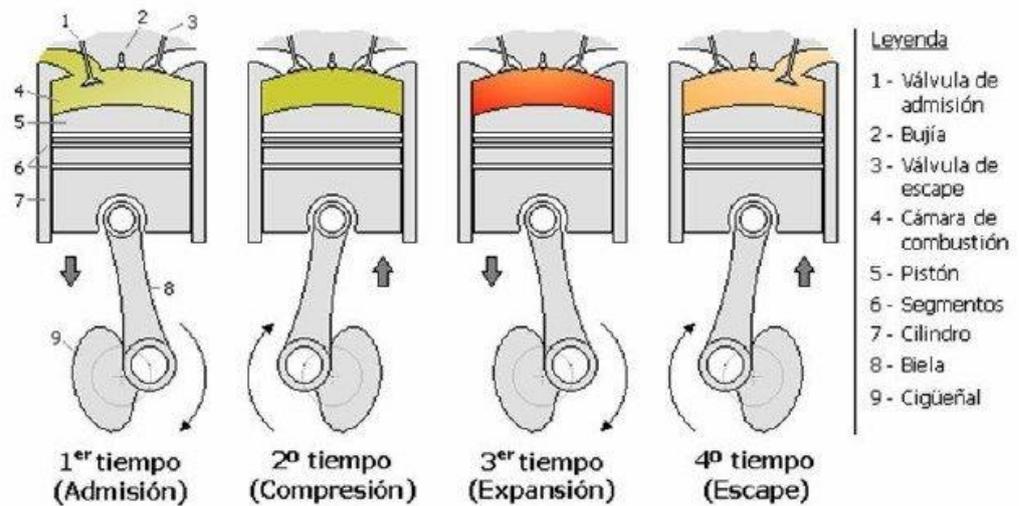
Los motores a gasolina son de encendido con chispa en el cual explota la mezcla de aire y combustible. Por medio de la combustión se transforma la energía química en energía térmica y las componentes del motor consiguen que la energía térmica se convierta en energía mecánica que permite el movimiento autónomo de la motocicleta.

En estos motores, la parte más alta se denomina punto muerto superior (PMS), y la parte más baja se denomina punto muerto inferior (PMI). El giro que hace el cigüeñal entre el PMS y el PMI es de 180 grados, por lo que los 4 tiempos ocurren en dos vueltas del cigüeñal.

En un motor a gasolina los 4 tiempos son los siguientes:

- Primer tiempo.- denominado tiempo de admisión, en el que ingresa la mezcla de aire y combustible.
- Segundo tiempo.- denominado el tiempo de compresión, donde se comprime la mezcla.
- Tercer tiempo.- es el tiempo de explosión, donde ocurre la quema de la mezcla.
- Cuarto tiempo.- es el tiempo de escape de la mezcla quemada.

El principio de funcionamiento de los motores de 4 tiempos está basado en el ciclo Otto, los 4 tiempos ocurren dentro de una cámara de combustión, donde se modifica el volumen de la mezcla de aire combustible y se genera la fuerza de empuje que es aprovechada por el pistón y este a su vez la transmite a la caja de cambios. El pistón, la biela, la culata y el cigüeñal, son elementos de suma importancia en la eficiencia del motor. Debido a esto, las empresas han desarrollado mejoras tecnológicas en estos elementos, principalmente en los pistones.



**Figura 1.1. Ciclo de motor de 4 tiempos.**

Fuente: (Baer, 2016)

### 1.3.3 Eficiencia de los motores de combustión interna

La eficiencia de estos motores es de la relación entre la energía dada por el motor y la energía química del combustible

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Energía del motor}}{\text{Energía química del combustible}} \quad \text{ecuación 1.1}$$

La eficiencia de los motores de combustión interna de queroseno es del 20%, los motores a gasolina son entre el 25% y 30% y en los motores a diésel es entre el 30% y 35%.

La eficiencia del motor variará con el diseño de sus partes, ajustes y las consideraciones de operación del mismo (Departamento de Física Aplicada III, 2014). En la Tabla 1.3 se describen las pérdidas más importantes.

**Tabla 1.3. Porcentaje de pérdida en un motor de gasolina**

Porcentaje de pérdida	Causa
68 %	Se pierde en los gases de escape debido a que no es posible aprovechar la expansión de la mezcla en el cilindro.
1.5 %	Se produce por el aumento de la temperatura en el tiempo de escape de la mezcla, por la demora en el proceso de quemado.
1.6 %	Asociado a las pérdidas en las paredes del cilindro
1 %	Por pérdida en la mezcla y soplado, la que produce un aumento en la temperatura de los gases de escape.

Fuente: (Ecured, 2017)

#### **1.3.4 Pistón**

El pistón se fabrica generalmente de aluminio-cobre, aluminio-cobre-níquel-hierro o aluminio-silicio. La aleación de aluminio-silicio es la de mayor demanda en el mercado, debido a su alta resistencia mecánica, y menor dilatación térmica. No obstante, es difícil de maquinar lo que aumenta los costos de producción (Kitzmilller, 1997).

El diseño de un pistón debe constar de las siguientes partes: la cabeza, la zona de los rines, alojamiento del pasador y el vástago.

Las partes esenciales del pistón son las siguientes:

- Cabeza del pistón.- Es la parte superior del pistón, está en contacto con la combustión de la mezcla, debe poseer alta resistencia térmica y una buena conductividad térmica. El espesor del pistón varía de acuerdo a la cantidad de calor que se desea rechazar y a la presión máxima que éste va a soportar.
- Zona de los rines.- Es el lugar donde se alojan los rines o anillos que por lo general son dos, uno de compresión y uno de lubricación para el vástago del pistón. La ranura de los rines de lubricación tiene algunos orificios que están en contacto con el interior del pistón y estos deben pasar lubricantes para disminuir la fricción entre la camisa del cilindro y el pistón.

- Zona del perno o pasador.- Esta zona debe ser la de mayor resistencia, ya que en este lugar se concentra la fuerza que se transmite a la biela.
- Vástago.- Es la parte inferior del pistón y por medio de este se evita el cabeceo del pistón.



**Figura 1.2. Partes principales de un pistón de 4 tiempos.**

Fuente: (Baer, 2016)

La temperatura de trabajo del pistón es diferente en todas sus partes, varía entre los 250 y 350 °C en la cabeza del pistón y en el vástago del pistón se alcanza una temperatura de 150°C. Esta temperatura se disipa entre los rines de compresión hacia las camisas del block, y por medio del vástago de pistón también se logra otra evacuación del calor. Además, cuando las temperaturas son mayores a los 350 °C estos pistones cuentan con un sistema de lubricación adicional que baña la parte inferior del cilindro con aceite (Dowdy, 2010) (Word Press, 2015)

# CAPÍTULO 2

## METODOLOGÍA

### 2.1 Alternativas de solución del problema.

La nueva generación de los pistones implica que en el diseño se considere un tratamiento superficial para mejorar las propiedades del pistón y el desplazamiento. Este tratamiento consiste en colocar al pistón de aleación de aluminio silicio una capa fina de estaño, mediante la inmersión para mejorar las cualidades deslizantes.

La superficie de la cabeza del pistón se la clasifica por su forma y se la describe en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1. Forma de la superficie del pistón.**

Superficie	Beneficio
Plana	Da fuerza y velocidad a la moto
Cóncava	Da mayor velocidad que fuerza a la moto
Convexa	Da mayor fuerza que velocidad a la moto.

Fuente: (Fundamentos de Mecanica , 2014)

La falda del pistón se la clasifica por su forma estas son: Cónica, oval y barril

El pistón de acuerdo al tipo de fabricación se lo describe en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2. Tipo de fabricación del pistón.**

Pistón	Descripción
De aluminio fundido	Su fabricación es de la fundición de aluminio, se lo vacía en moldes de cera, posteriormente se le máquina para el acabado final y se le aplica un tratamiento térmico para mejorar las propiedades finales.
Pistones forjados a presión	Estos pistones se forman por medio del troquelado del material a altas temperaturas, posteriormente se somete a un proceso de maquinado para la formación de las ranuras donde se colocan los rines, y se lo lleva a un tratamiento térmico, dándole resistencia al desgaste, baja dilatación térmica, alta conducción térmica.

Fuente: (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2016)

Por medio de la tabla 2-1 y 2-2 se plantean las siguientes alternativas

Para el método de fabricación.

Alternativa 1.

Fabricar un pistón mediante el método de fundición de aluminio que luego se vacían en moldes enfriados con agua. Para luego empezar con el mecanizado del pistón. Al final se le aplica un tratamiento térmico para mejorar las propiedades finales.

Alternativa 2

Fabricar un pistón de cabeza plana mediante el método de forja, en el cual se utiliza trozos de barra de aleaciones de aluminio-silicio cortados a la medida y se debe someter a presiones de hasta 3000 toneladas. En estos troqueles se le da forma con exactitud para lograr las dimensiones finales del pistón.

Para seleccionar el tipo de molde

Alternativa 1

Fabricar un pistón con un molde desechable, esto es destruir el molde donde se solidifica el metal, estos moldes son hechos de arena, yeso o materiales similares que tenga la forma de la pieza a fundir usando aglomerantes. En el molde de arena se vacía el metal líquido en el molde, después de que se endurece el metal, el molde se sacrifica.

Alternativa 2

Fabricar un pistón con molde permanente, usa un molde metálico construido en dos secciones para cerrar y abrir con precisión. Generalmente son hechos de acero o hierro fundido. Estos moldes pueden usarse muchas veces para la producción en masa. Por lo cual da ciertas ventajas económicas.

Alternativa 3

Fabricar un pistón con molde semi-permanente, es cuando tiene geometría compleja dentro de la pieza a fundir, para esto se puede utilizar un molde

permanente pero se coloca un macho de arena cuando es difícil colocar dentro de la fundición.

## **2.2 Selección de la mejor alternativa.**

Para la selección de la mejor alternativa se va a utilizar la matriz de decisión. Los parámetros considerados en la matriz son los siguientes: costo, tiempo, facilidad de manufactura, disponibilidad de materiales en mercado nacional, disponibilidad de manufactura en el mercado nacional.

Costo.- Este factor es importante cuando se requiere producir en masa.

Tiempo.- Este factor va vinculado con el costo ya que a menor tiempo de fabricación el costo se reduce.

Facilidad de manufactura.- Este criterio es importante debido a que se debe conocer la complejidad de fabricación de la pieza.

Disponibilidad de materiales en el mercado nacional.- Es de mucha importancia debido a que considera si existen los recursos en el país para la fabricación de la pieza

Disponibilidad de manufactura en el mercado nacional.- este factor es importante debido a si se tiene la capacidad instalada en el país para la fabricación masiva de la piezas.

Acabado superficial.- este criterio trata sobre la porosidad del pistón y de tener una mejor presentación del producto final.

Producción.- este criterio es importante debido a la capacidad que tiene el producto para la producción en masa.

La matriz de selección para el método de fabricación se detalla en la tabla 2.3 y su método consiste en colocar en la primera columna la ponderación según el nivel de importancia en el diseño de ese parámetro, la segunda columna sirve para calificar cada una de las opciones. En cada una de las opciones

existen dos sub-columnas, la primera es la calificación que el diseñador le asigna de acuerdo a su efectividad el valor es de 1 como la más baja hasta 10 como el valor más alto. En la segunda es la equivalencia de acuerdo al nivel de importancia que se le dio el parámetro, es decir la multiplicación entre la efectividad y la ponderación.

**Tabla 2.3. Matriz de Selección por el método de fabricación**

	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2	
		Efectividad	Equivalencia	Efectividad	Equivalencia
Facilidad para la manufactura	15%	7	10.5	5	7.5
Tiempo	15%	6	9	8	12
Costo	20%	5	10	8	16
Disponibilidad de manufactura en el mercado nacional	25%	8	20	4	10
Disponibilidad de material en mercado nacional	25%	7	17.5	7	17.5
Total	100%		<b>67</b>		63

Fuente: Elaboración propia

Según la matriz de selección la mejor opción que se ajusta a nuestros parámetros es la opción 1, pistones de aluminio por fundición, uno de los factores que influye es por disponibilidad de equipos. El prototipo del pistón se elaborara utilizando una aleación de aluminio-silicio-cobre por fundición.

En la tabla 2.4 se puede observar la matriz de decisión para el tipo de molde.

**Tabla 2.4. Matriz de selección para el tipo de molde**

	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		Efectividad	Equivalencia	Efectividad	Equivalencia	Efectividad	Equivalencia
Tiempo	20%	6	12	4	8	5	10

Costo	30%	7	21	5	15	6	18
Acabado superficial	25%	5	12.5	8	20	6	15
Producción	25%	3	7.5	10	25	5	12.5
Total	100%		53		<b>68</b>		55.5

Fuente: Elaboración propia

Según la matriz de selección la mejor opción que se ajusta a nuestros parámetros es la opción 2, pistón fabricado por molde permanente, esto es para darle un mejor acabado superficial al pistón.

### 2.3 Elaboración del prototipado

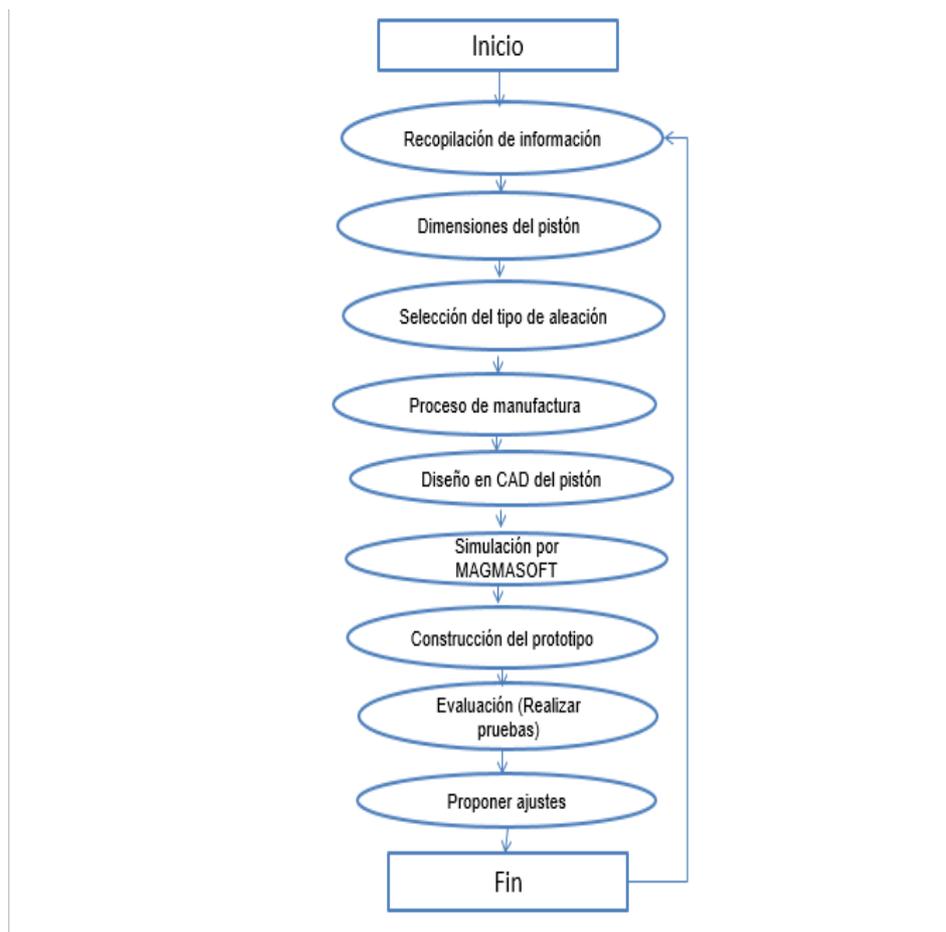


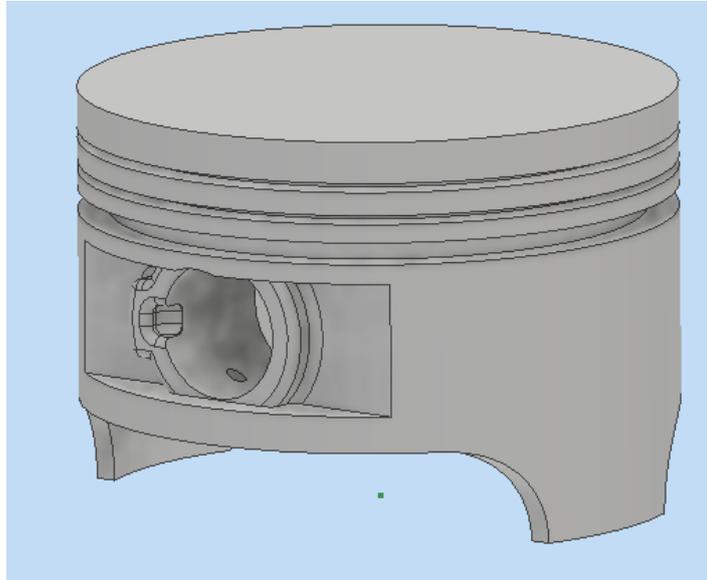
Figura 2.1. Diagrama de flujo para la elaboración del prototipo

Fuente: Elaboración propia

### 2.4 Diseño conceptual

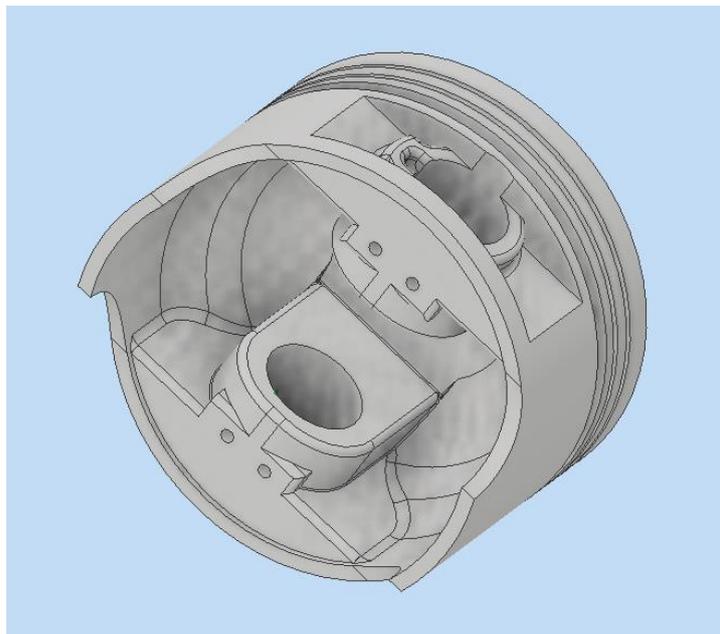
Al pistón se lo ha dimensionado conforme a los cálculos respecto a su diámetro, se debe sobredimensionar el modelo en cuenta la contracción del aluminio ya sea por solidificación y por contracción térmica del sólido, además

del maquinado para darle un buen acabado superficial. El diseño conceptual del pistón se observa en las figuras 2.2 y 2.3, con sus respectivos cortes A y B, exhibidos en la figura 2.4, y vistas de los detalles internos del pistón, figuras 2.5 y 2.6.



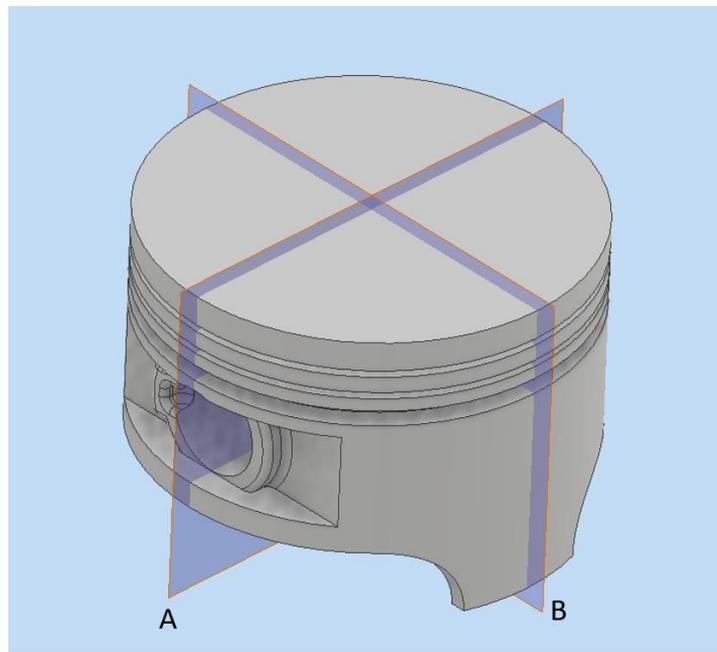
**Figura 2.2. Vista isométrica del pistón de moto de 200cc**

Fuente: Elaboración propia



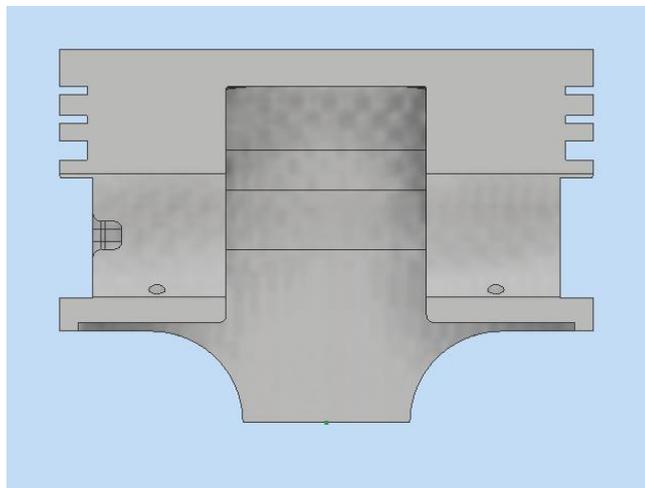
**Figura 2.3. Vista de la parte inferior del pistón de moto de 200cc**

Fuente: Elaboración propia



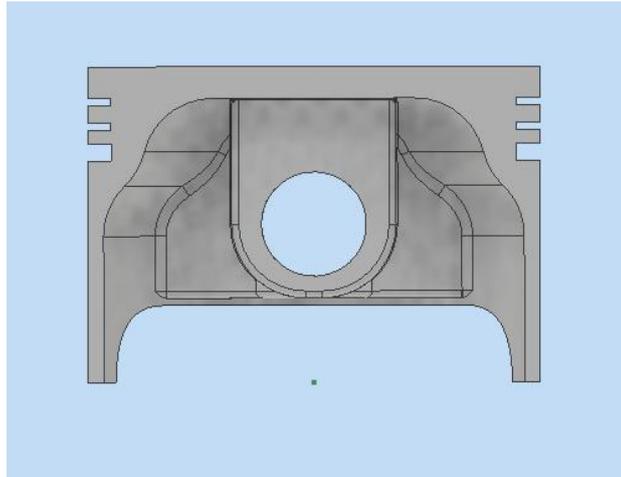
**Figura 2.4. Vista del pistón con los planos A y B**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.5. Vista seccionada del pistón plano A**

Fuente: Elaboración propia

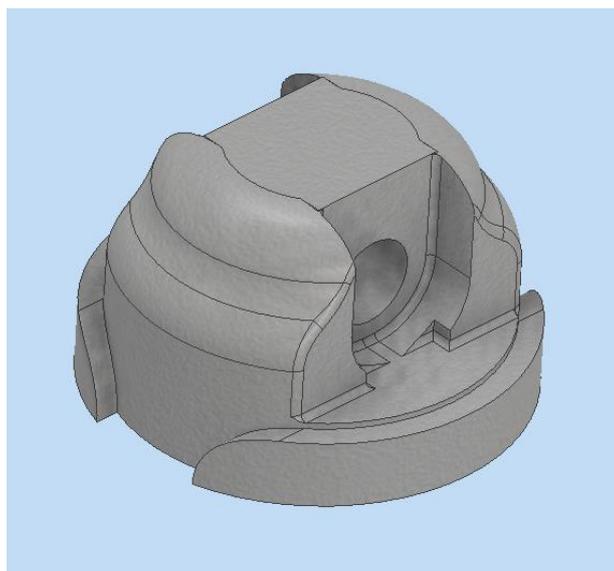


**Figura 2.6. Vista seccionada del pistón plano B**

Fuente: Elaboración propia

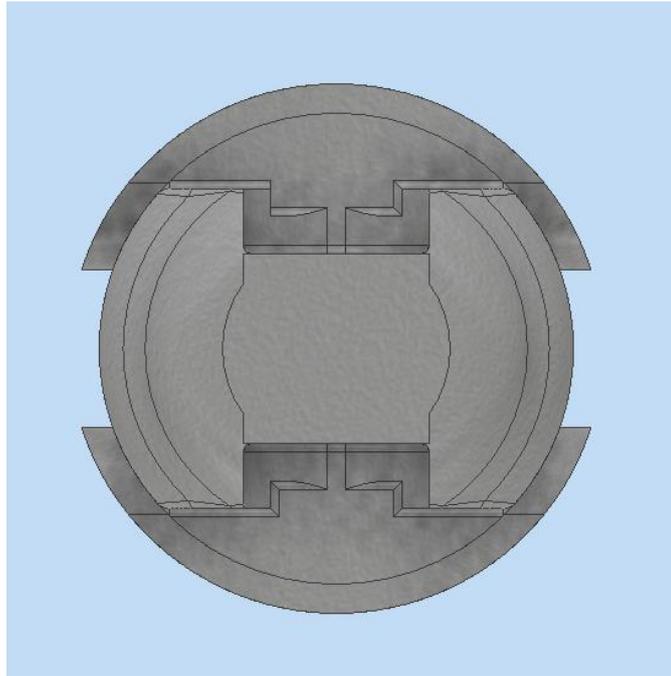
### Núcleo del pistón

Este núcleo fue diseñado a sobre-medida debido a la contracción del aluminio, además fue hecho para reducir el tiempo de mecanizado en la sección interna, ya que sin él núcleo conllevaría a un proceso adicional y con ello aumentar los costos finales del pistón. El núcleo se lo puede observar en las figuras 2.7 y 2.8.



**Figura 2.7. Vista del núcleo para la fundición**

Fuente: Elaboración propia

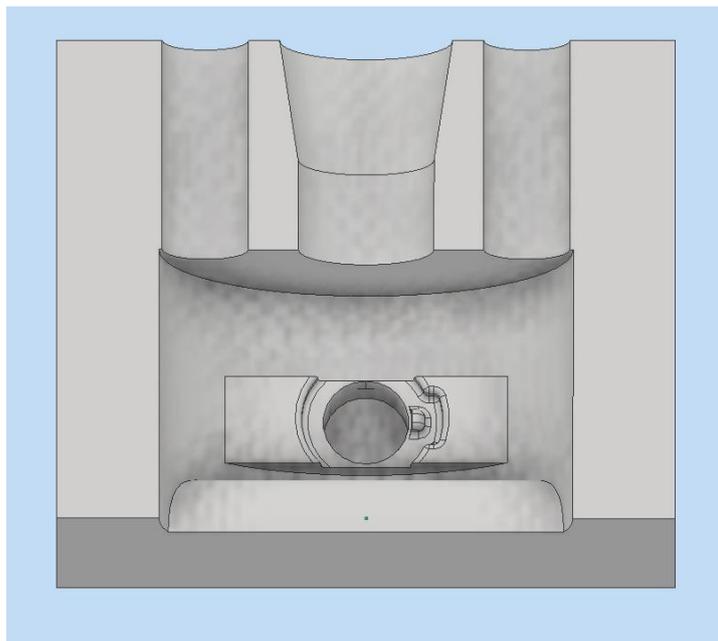


**Figura 2.8. Vista superior del núcleo para la fundición**

Fuente: Elaboración propia

#### Molde del pistón

El molde externo del pistón, tiene una tolerancia de +3 mm en el diámetro, puesto que ahí se va a producir un maquinado luego del proceso de fundición, esto con el fin de tener un buen acabado superficial que se requiere en la parte externa del pistón, mientras que también consta el bebedero y las mazarotas, con el fin de verter la colada y también evitar el rechupe del aluminio. El molde se lo puede observar en la figura 2.9.



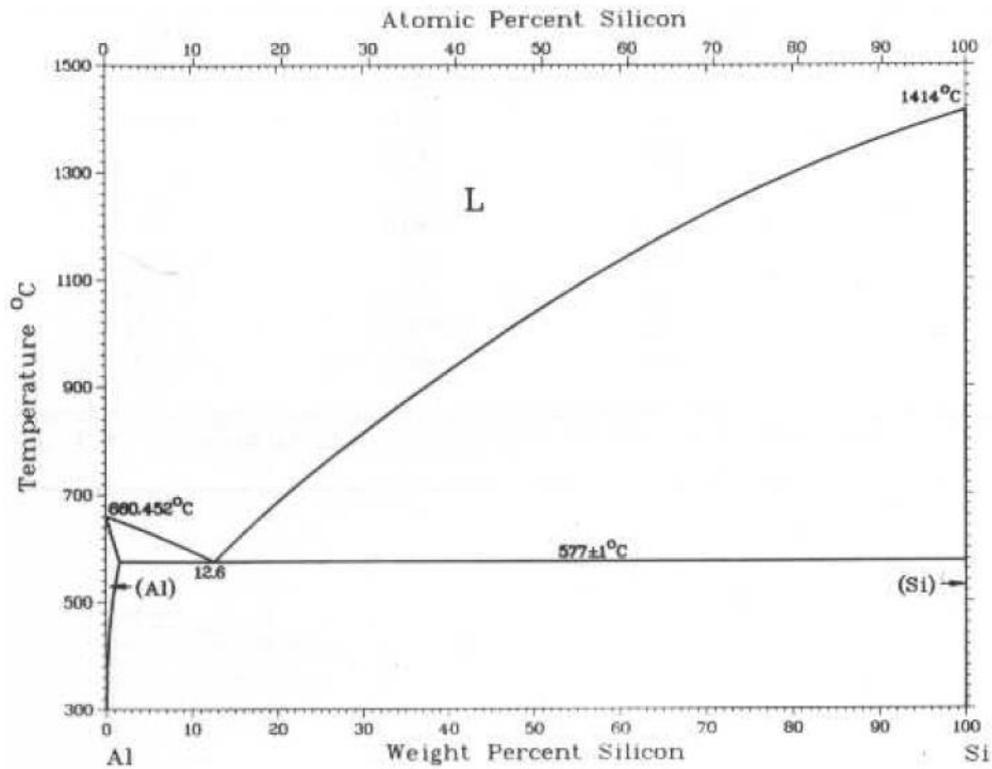
**Figura 2.9. Vista del molde**

Fuente: Elaboración propia

## **2.5 Selección de materiales y normativas**

Para la selección de materiales se considerará la sustitución de una aleación de aluminio silicio, por una aleación de aluminio silicio con composición modificada que ofrezca mejoras en las propiedades con respecto al pistón inicial. Para lograr esto se debe realizar análisis químico, metalográfico y de dureza, con esto se determinarán los porcentajes de los elementos aleantes y la microestructura del pistón.

Además se conoce que los pistones están hechos de una aleación de aluminio silicio eutéctico (Kaufman, 2004), lo que nos lleva al diagrama Al-Si del ASM (ver figura 2-10), en el cual podemos observar que se requiere un porcentaje de 12.6% aproximadamente de silicio y un calentamiento por encima de la temperatura de la composición eutéctica es 577, la cual puede sufrir variaciones dependiendo de los elementos aleantes (ASM, 1994).



**Figura 2.10. Diagrama de fase Aluminio-Silicio**

Fuente: (ASM, 1994)

Conociendo la aleación de la que generalmente están compuesta los pistones, se procede a analizar cómo encontrar una aleación con las características deseadas.

El ASM divide las aleaciones de aluminio en dos grupos que son las aleaciones para conformado o también llamadas Wrought alloys y las aleaciones para moldeo o Casting alloys, en este caso nos vamos a fijar más en las aleaciones para moldeo que contengan silicio y magnesio, por lo que nos vamos a concentrar en las aleaciones para moldeo de la serie 3XX.X (ver tabla 2.5).

**Tabla 2.5. Tabla de designación de aleaciones de aluminio**

Aluminum alloy designation systems.

Alloy type <sup>a</sup>	Four-digit designation
<b>Wrought alloys</b>	
99.00% (min) aluminum	1XXX
Copper	2XXX
Manganese	3XXX
Silicon	4XXX
Magnesium	5XXX
Magnesium and silicon	6XXX
Zinc	7XXX
Others	8XXX
<b>Casting alloys</b>	
99.00% (min) aluminum	1XX · X
Copper	2XX · X
⇒ Silicon with added copper and/or magnesium	3XX · X
Silicon	4XX · X
Magnesium	5XX · X
Zinc	7XX · X
Tin	8XX · X
Others	9XX · X

Fuente (ASM, 1994)

### Análisis Químico

Para el análisis químico se utilizará el equipo Thermo Scientific Niton XL2 proporcionado por la empresa RECYNTER (Recicladora Internacional), es un dispositivo basado en un sistema de tubos de fluorescencia de rayos-x o XRF por sus siglas en inglés, que utiliza probetas de superficie plana y espesores superiores a 1 mm. En este dispositivo comienza su análisis en el momento que se genera una descarga de un haz con una determinada intensidad, generándose a través del choque de los rayos en la probeta un reflejo del haz en determinado tiempo dependiendo de cada componente, consiguiendo así determinar los componentes del material analizado.

### Análisis Metalográfico

Para realizar este análisis, la muestra se preparará metalográficamente por el método de pulido mecánico convencional que consta de un desbaste a la

probeta, un pulido final y un ataque químico para luego ser observada en un microscopio.

El desbaste se lo realiza con un papel abrasivo de carburo que varía entre los 250 hasta los 400 granos por pulgada cuadrada, con esto se pueden eliminar las imperfecciones que se tiene en el corto del material para obtener la probeta. Luego con papel abrasivo de 500 hasta 2400 granos por pulgada cuadrada, se le realiza un segundo desbaste para eliminar las rayas dejadas por la lija anterior.

En el pulido final se trata de eliminar las rayas que quedan después del desbaste final y así obtener una superficie especular. Para este proceso existen dos materiales que se usan como abrasivos estos son de base de diamante y de alúmina, ambos en suspensión. En nuestro caso usaremos pasta de diamante de 1 micra. Esto se lo realiza con una máquina de pulido que tiene un disco en el cual descansa una tela de lana, que se le agrega el material abrasivo.

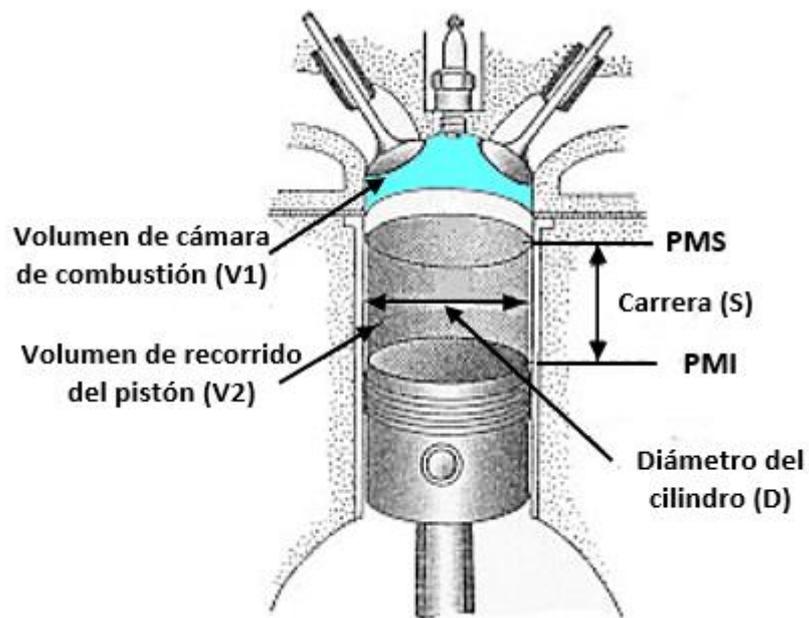
Finalmente se realiza el ataque químico, esta etapa consiste en agregar un reactivo químico sobre la superficie pulida para que muestre la microestructura. Con esto por medio del microscopio se pueden observar las fases que existen en la microestructura de la aleación.

#### Ensayo de Dureza

Este ensayo se efectúa en una muestra de superficie plana en ambas caras, que deben ser completamente paralelas. El tipo de dureza a medir dependerá de la dureza de la muestra.

## **2.6 Dimensionamiento del pistón.**

Para poder dimensionar el pistón se debe conocer el movimiento que describe el pistón dentro del cilindro motor y sus puntos principales, como se detalló en el capítulo 1, el pistón realiza un movimiento alternativo para efectuar los cuatro ciclos.



**Figura 2.11. Parámetros del funcionamiento de un pistón**

Fuente: (Fundamentos de Mecánica , 2014)

Punto muerto superior (PMS).- Es el punto más alto que puede llegar la cabeza del pistón en su movimiento alternativo para comenzar su descenso.

Punto muerto inferior (PMI).- Es el punto más bajo que puede llegar la cabeza del pistón en su movimiento alternativo para empezar su descenso.

Diámetro del cilindro (D).- El diámetro del cilindro es la distancia entre los dos puntos más alejados de la circunferencia del mismo.

Carrera (S).- Es la distancia recorrida por la cabeza del pistón entre el PMS al PMI.

#### Relación carrera diámetro

Se conoce a la relación carrera diámetro a la división de la carrera del pistón y el diámetro (S/D).

Se realizará el primer dimensionamiento del pistón utilizando la relación carrera-diámetro del cilindro, esto se debe a que existen varios tipos de

motores, con diferentes relaciones y esta relación puede variar el funcionamiento del motor; se los clasifica de la siguiente manera:

Motor cuadrado.- Se los llama así cuando la relación carrera diámetro es igual a la unidad  $(S/D)=1$ , esto quiere decir que el diámetro del cilindro es igual a la carrera del pistón y este tipo de motores es más o menos habitual en vehículos livianos, tiene las ventajas de poder ubicar válvulas grandes permitiendo un mayor ingreso de mezcla aire combustible para una buena detonación y buena refrigeración del pistón al ingreso de mezcla fresca además de una buena evacuación del calor a través de las paredes del cilindro (Z. Filipi, 2000), al ser de carrera corta se pueden conseguir un motor con revoluciones moderadamente altas, además provee un equilibrio entre torque y potencia (Orozco, 2014) (El Comercio Perú, 2014).

Motor supercuadrado.- En este tipo de motor la relación carrera diámetro es menor a la unidad  $(S/D)<1$ , esto quiere decir que el diámetro del cilindro es mayor que la carrera del pistón, por el momento esta relación no puede ser muy baja, generalmente la relación no es menor a 8,5 debido al poco recorrido del pistón la mezcla aire combustible no alcanza a detonarse uniformemente y a prolongarse bien el frente de llama, esto es distinto en carros fórmula 1, ya que pueden tener una relación de 4,5 o menor (Webster, 2005). Las ventajas de este tipo de motor son que por ser de carrera corta pueden alcanzar altas revoluciones con baja inercia, las bielas y manivelas del cigüeñal son más cortas pero generalmente se necesita una refrigeración por líquido por ser menor el área que recorre el pistón (Z. Filipi, 2000), este tipo de motores poseen mayor potencia y velocidad aunque se disminuye su torque (Herold, 2012) (Dickson, 2010).

Motor alargado.- Presenta una carrera más larga que el diámetro del cilindro, esto quiere decir que la relación de compresión es mayor a la unidad  $(S/D)>1$ ,

este tipo de motores generalmente son utilizados en vehículos que necesiten un alto desempeño en trabajos pesados y en un mayor número son motores a diésel, poseen un gran torque, pero su potencia se ve disminuida (Herold, 2012) (Dickson, 2010).

#### Dimensionamiento del diámetro del pistón

Por lo expuesto anteriormente, se puede determinar que la mejor opción es un motor de tipo cuadrado o un poco alargado, ya que se desea que tenga un equilibrio entre potencia y torque, pero al estar expuestos a altas revoluciones no debería ser alargado y por el mismo motivo necesitaremos una rápida evacuación de calor y al estar refrigerado por aire la mejor solución sería una relación carrera diámetro aproximada de 0,97 (Z. Filipi, 2000).

$$\frac{S}{D} = 0.97 \quad \text{ecuación 2.1}$$

Pero el volumen total del cilindro lo establecimos inicialmente como 200 c.c.

$$Carrera * \text{área del cilindro} = V_{cilindro} \quad \text{ecuación 2.2}$$

$$S * A_{cilindro} = 200 \text{ cm}^3$$

$$S * \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) = 200 \text{ cm}^3 \quad \text{ecuación 2.3}$$

Si  $S=D$ , asumiendo que es un motor donde el cilindro recorre la misma distancia del diámetro del pistón, a lo que llaman un motor cuadrado.

$$\frac{\pi D^3}{4} = 200 \text{ cm}^3$$

$$D^3 = 254,65 \text{ cm}^3$$

$$D = 63.4 \text{ mm}$$

Se decidió redondear el diámetro del pistón, ya que se asumió que iba a ser cuadrado, pero antes estableció que el valor de la relación  $(S/D)=0,97$ . Hay que tomar en cuenta que el valor del diámetro encontrado es del cilindro, pero por facilidad se tomará este valor como el diámetro del pistón.

$$D_{Pistón} = 6,4 \text{ cm}$$

Se asume la carrera y el diámetro con las condiciones obtenidas para poder obtener la carrera del pistón.

$$\frac{S}{D} = 0.97$$

$$S = 6,2 \text{ cm}$$

$$D_{pistón} = 6,4 \text{ cm}$$

Se recalcula el nuevo volumen del cilindro, conociendo que la holgura entre el cilindro y el pistón se encuentra en el rango de 0.01-0.22mm. (HONDA, s.f.) Entonces el diámetro máximo del cilindro sería 64.22mm.

$$S * \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) = V_{cilindro}$$

$$62\text{mm} * \left( \frac{\pi (64.22\text{mm})^2}{4} \right) = 200.82 \text{ cm}^3$$

$$V_{cilindro} = V_2 = 200.82 \text{ cm}^3$$

### Relación de compresión

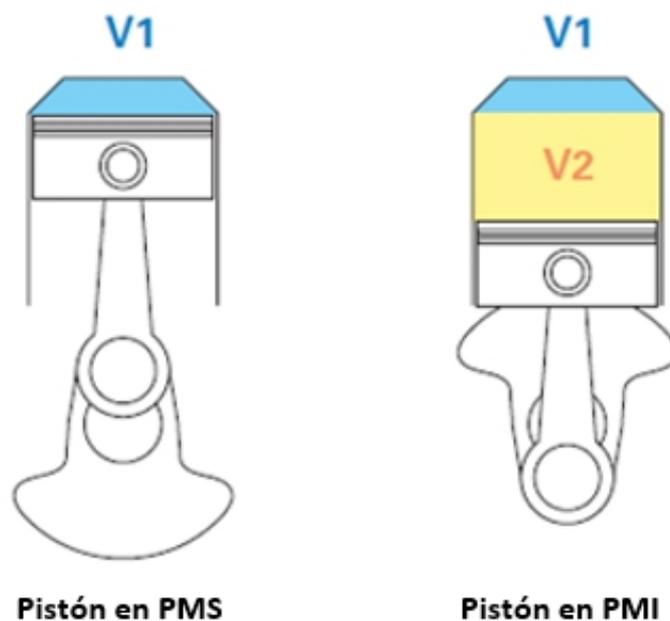
Para obtener un gran rendimiento del motor se debe tener una buena relación de compresión, además un combustible con un alto grado de octanaje.

La relación de compresión es un valor que permite conocer la cantidad de mezcla aire combustible que se comprime dentro del motor y se determina con la siguiente ecuación (Tadeusz Rychter, 1995):

$$r = \frac{V1+V2}{V1} \quad \text{ecuación 2.4}$$

Donde (V1) es el volumen útil generado en toda la carrera del pistón, es decir desde el PMS al PMI, mientras que (V2) es el volumen de la cámara de combustión, donde se va a comprimir la mezcla de aire combustible.

El octanaje es la capacidad de la gasolina a soportar grandes presiones sin antes sufrir una auto detonación por el exceso de presión y temperatura en un cilindro, pero en el mercado nacional existen dos tipos de octanajes que son la de 87 octanos (Eco-país y Extra) y la de 92 octanos (Súper) (Petroecuador EP, 2012), por lo que la relación de compresión no debe de ser demasiado elevada, como en países más desarrollados donde se expenden combustibles con 98 octanos. Para los octanajes nacionales es recomendable utilizar relaciones de compresión que van entre 9 y 9,5 (Tadeusz Rychter, 1995).



**Figura 2.12. Parámetros del funcionamiento de un pistón**

Fuente: (e-auto.com, 2010)

## Dimensionamiento de la cámara de combustión

A través de la ecuación de la relación de compresión que se estableció que era de 9 y el volumen útil del cilindro calculado anteriormente, se procede a calcular la cámara de combustión del cilindro (Tadeusz Rychter, 1995).

$$r = \frac{V1 + V2}{V1}$$

$$9 = \frac{V1 + 199,5 \text{ cm}^3}{V1}$$

$$9V1 - V1 = 199,5$$

$$8V1 = 199,5$$

$$V1 = 24,9 \text{ cm}^3$$

## 2.7 Proceso de fabricación.

La fabricación se realiza por fundición, este proceso consiste en fundir un metal base en nuestro caso una aleación de aluminio silicio, generalmente este fluye por gravedad o por otra fuerza hacia un molde y este se solidifica con la forma que tenga la cavidad del molde.

Para el proceso de fundición se necesita un molde, el molde es el elemento que le da la forma geométrica a la pieza fundida. El molde debe ser sobredimensionado debido a la contracción del metal. En nuestro proceso de fundición será de un molde cerrado.

El proceso de fundición se divide en dos categorías de acuerdo al tipo de molde que se emplea, estas son: molde desechable y molde permanente. En molde desechable es cuando el molde que se utiliza se va a destruir, generalmente son los moldes hechos de arena, yeso y otros materiales. En molde permanente como su nombre lo indica este se lo puede utilizar una y otra vez para producir muchos fundidos, están hechos de metal o de cualquier

material refractario y consisten de dos o más secciones que se separan para poder extraer la pieza final.

La energía requerida para el calentamiento del metal se puede calcular mediante la ecuación 2.5.

$$H = \rho V \{ C_s (T_m - T_0) + H_f + C_l (T_p - T_m) \} \quad \text{ecuación 2.5}$$

Donde H= calor total que se requiere para subir la temperatura del metal a la temperatura que se vierte, J(BTU);  $\rho$ = densidad, g/cm<sup>3</sup> (lbm/in<sup>3</sup>);  $C_s$ = calor específico por peso para el metal sólido, J/g-C (Btu/lbm-F);  $T_m$ =temperatura de fusión del metal, C (F);  $T_0$ = temperatura ambiental, C (F);  $H_f$ = calor de fusión, J/g (Btu/lbm);  $C_l$ = calor específico por peso del metal líquido, J/g-C (Btu/Lbm-F);  $T_p$ = temperatura de vertido, C(F); y V=volumen del metal que se calienta, cm<sup>3</sup> (in<sup>3</sup>). (Groover, 2007)

Para determinar la velocidad del metal fundido, se aplica la ecuación de Bernoulli. Al ignorar las pérdidas por fricción, la ecuación final es la siguiente:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{ecuación 2.6}$$

Se dice como punto 1 la parte superior de la mazarota, y como punto 2 la base que es usado como punto de referencia, por lo tanto h es la altura de la entrada. Cuando el metal se vierte en la copa y fluye hacia el bebedero, la velocidad en la parte inicial es cero y de la ecuación de Bernoulli nos queda

$$h_1 = \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{ecuación 2.7}$$

Finalmente la velocidad del flujo es:

$$v = \sqrt{2gh} \quad \text{ecuación 2.8}$$

Donde v= velocidad del metal líquido en la base de la mazarota, cm/s (in/s); g=981 cm/s<sup>2</sup> (386 in/s<sup>2</sup>); y h=altura del bebedero, cm (in) (Groover, 2007).

Un metal fundido al ser un flujo incompresible, obedece a la ley de conservación del flujo. (ASM, 1992).

$$Q = Av \quad \text{ecuación 2.9}$$

Donde A es el área transversal del flujo en m<sup>2</sup> y v la velocidad del flujo en m/s, y el caudal se lo obtiene en m<sup>3</sup>/ s.

Por medio del número de Reynolds, se obtiene la relación entre las fuerzas viscosas y las fuerzas de inercia.

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad \text{ecuación 2.10}$$

Donde  $\rho$  es la densidad en Kg/ m<sup>3</sup>, v es la velocidad del fluido en m/s, d es el diámetro equivalente del ducto en m, y  $\mu$  es la viscosidad dinámica en Pa-s. Para un régimen laminar  $Re < 2000$ , para un régimen en transición  $2000 < Re < 20000$ , y para un régimen turbulento  $Re > 20000$

Para determinar el tiempo de llenado del molde se aplica la siguiente fórmula:

$$T_{MF} = \frac{V}{Q} \quad \text{ecuación 2.11}$$

Donde  $T_{MF}$ = tiempo de llenado del molde, s; V=volumen de la cavidad del molde, cm<sup>3</sup> (in<sup>3</sup>); y Q= gasto volumétrico. Este tiempo es el tiempo mínimo debido a que fue analizado sin fricción.

El tiempo de solidificación es el tiempo que se requiere para que el fundido se solidifique después de verter el fundido en el molde. Para el tiempo de solidificación se utilizará la regla de Chvorinov, que es la siguiente ecuación:

$$T_{TS} = C_m \left(\frac{V}{A}\right)^n \quad \text{ecuación 2.12}$$

Donde  $T_{TS}$  es el tiempo total de solidificación, min;  $V$  = volumen del fundido,  $\text{cm}^3$  ( $\text{in}^3$ );  $A$  = área de la superficie del fundido,  $\text{cm}^2$  ( $\text{in}^2$ );  $n$  = este exponente generalmente tiene un valor de 2; y  $C_m$  = es la constante del molde, como  $n=2$  sus unidades son  $\text{min}/\text{cm}^2$  ( $\text{min}/\text{in}^2$ ). (Groover, 2007)

Durante el enfriamiento y la solidificación ocurre la contracción. Esta ocurre en tres etapas: contracción líquida, contracción por solidificación, y contracción térmica (ocurre en el enfriamiento hasta temperatura ambiente). El rechupe que es una cavidad que se genera por la contracción cuando se ve limitada la disponibilidad del líquido fundido en la parte central superior y esta ausencia de metal genera un vacío de metal.

En la tabla 2.6 presenta algunos valores de contracción volumétrica de distintos metales de fundición.

**Tabla 2.6. Contracción volumétrica para distintos metales de fundición.**

<b>Metal</b>	<b>Contracción de solidificación (%)</b>	<b>Contracción térmica del sólido (%)</b>
Aluminio	7.0	5.6
Aleación de aluminio (común)	7.0	5.0
Hierro colado gris	1.8	3.0
Hierro colado gris, alto C	0	3.0
Acero fundido al bajo Carbono	3.0	7.2
Cobre	4.5	7.5
Bronce (Cu-Sn)	5.5	6.0

Fuente: (Groover, 2007)

Se debe tener en cuenta la tolerancia por contracción del modelo, ya que la contracción es volumétrica y por eso los moldes y modelos deben ser más grandes que la pieza fundida que se desea.

La mazarota sirve para compensar la contracción por solidificación y debe ser diseñada empleando la regla de Chvorinov para que pueda satisfacer el requerimiento que se desea.

Si se necesita un núcleo uno de los peligros constantes es que este se mueva por la flotación del núcleo. Esta flotación es analizada con el principio de Arquímedes:

$$F_b = W_m - W_c \quad \text{ecuación 2.13}$$

Donde  $F_b$ = fuerza de flotación, N (lb);  $W_m$ =peso del metal fundido desplazado y  $W_c$ = peso del núcleo, N (lb). Estos pesos se lo determinan utilizando el volumen del núcleo multiplicado por las densidades respectivas. En la tabla 2.7 se puede observar diferentes densidades de aleaciones de fundición. (Groover, 2007)

**Tabla 2.7. Densidades de aleaciones de fundición.**

Material	Densidad	
	g/cm <sup>3</sup>	Lb/in <sup>3</sup>
Aluminio (pureza de 99%)	2.70	0.098
Aleación de aluminio-silicio	2.65	0.096
Aluminio-cobre (92% de aluminio)	2.81	0.102
Latón	8.62	0.313
Hierro colado gris	7.16	0.260
Cobre (pureza de 99%)	8.73	0.317
Plomo (puro)	11.30	0.410
Acero	7.82	0.284

Fuente: (Groover, 2007)

## 2.8 Herramienta Computacional

Para la elaboración de este proyecto se utiliza Autodesk Inventor para el diseño de la pieza con su geometría, el dibujo será importado a una extensión (.stl) para que sea compatible con el programa de simulación.

Luego se utiliza Magmasoft, es un software 3D que permite el análisis e ingeniería CAE (Computer Aided Engineering) para simular y optimizar los procesos de fundición, este programa está basado en el método de volúmenes infinitos, este programa es útil para la industria en manufactura y metal mecánica. Magmasoft evalúa el proceso de fundición en diferentes materiales, evita los problemas en la colada y predice los problemas de vaciado y problemas en el diseño del molde y esto ayuda a reducir costos en el proceso de fundición.

En el programa de simulación después de cargar el sólido, se definen los componentes para el proceso de fundición, se elabora el molde, el núcleo, se

definen las entradas para la fundición de la aleación y la altura respectiva de la mazarota. Después se debe definir el mallado que es dividir la geometría por volúmenes finitos. Al final se genera el mallado, cabe recalcar que las zonas delgadas y las zonas curvas son las vulnerables ya que puede generar distorsiones.

# CAPÍTULO 3

## Resultados

En esta sección se muestran los resultados obtenidos del pistón primario y del pistón diseñado por el método de fundición, por medio de las ecuaciones mencionadas en el capítulo 2. Además se muestra los resultados de la simulación del proceso de fundición, y finalmente los resultados obtenidos por los ensayos de dureza, metalografía y análisis químico para el prototipado del diseño.

En la simulación del proceso de fundición con el programa MagmaSoft, se puede apreciar el proceso de llenado, observando la velocidad de llenado, la variación de la temperatura de la pieza fundida, los puntos calientes y fríos de la fundición, esto se logra mediante el mallado del pistón y la mazarota.

### 3.1 Resultados realizados al pistón primario

#### 3.1.1 Medición de peso del pistón primario

Se determinó el peso del pistón para poder determinar el metal necesario para la colada de fundición y lograr así fabricar el pistón de la aleación de aluminio. Por lo que el peso es:

$$W_{pistón} = 140.64 \text{ g}$$

#### 3.1.2 Resultados del análisis químico

Para el análisis químico se analizó una probeta con el equipo Thermo Scientific Niton XL2. La muestra debe tener una superficie plana para que los rayos XRF impacten con la superficie, el dispositivo genera un haz de luz con cierta intensidad, generándose a través del choque de los rayos en la probeta un reflejo del haz en determinado tiempo para cada componente, de esa forma se consigue los componentes del material analizado.

Como resultado de esta prueba, se obtuvo la siguiente composición de elementos aleantes.

**Tabla 3.1. Composición química porcentual (%) del pistón original**

Si	Fe	Cu	Zn	Ni	Al
12.37	0.32	1.06	0.008	0.934	85.17

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 3.1, la composición química del pistón original corresponde a una aleación de aluminio-silicio eutéctico debido a que su contenido de porcentaje de silicio se aproxima a 12.6.

### 3.1.3 Resultados del ensayo metalográfico al pistón primario.

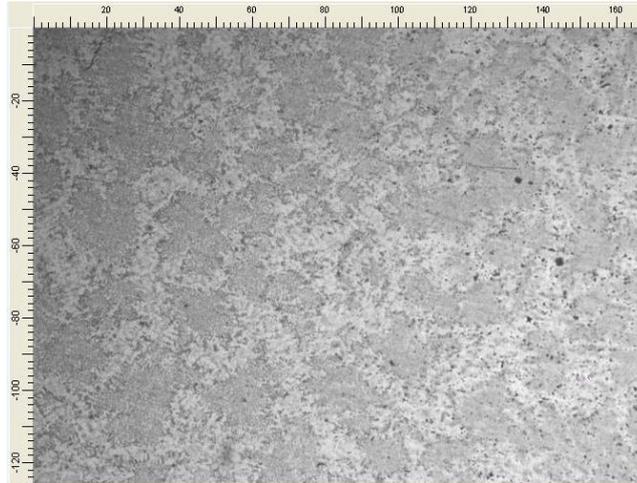
Para el ensayo metalográfico se realizó el proceso explicado en el capítulo 2. Según el manual de ASM volumen 9 (ASM, 1992), se muestra la composición química de forma cuantitativa de dicho reactivo Keller (Tucker's reagent). A continuación se puede visualizar en la Tabla 3.2. La composición de dicho reactivo.

**Tabla 3.2. Composición química del reactivo de Keller**

Componente	Cantidad (ml)
HF	15
HNO <sub>3</sub>	15
HCl	45
H <sub>2</sub> O	25

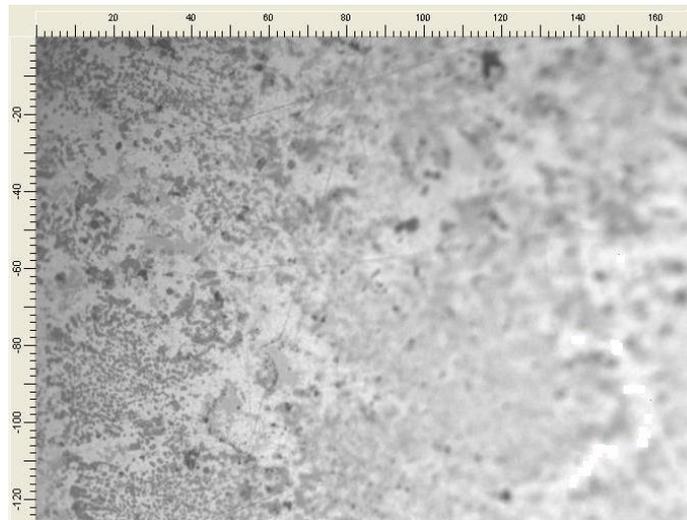
Fuente: (ASM, 1992)

Según (ASM, 1992) la norma se sumergió la superficie de la probeta en el reactivo de 10-15 segundos, después se realizó el lavado de la probeta en la superficie con agua y el secado teniendo la precaución de no generar fricción que afecte a la superficie de la probeta atacada con el reactivo. Seguido de esto se colocó a la probeta en el microscopio, con esto se pudo apreciar la microestructura del pistón original. La microestructura se muestra a continuación en la figura 3.1 y figura 3.2, con un lente de X100 y de X500 respectivamente.



**Figura 3.1. Microestructura del pistón original, X100. Ataque con Keller**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.2. Microestructura del pistón original, X500. Ataque con Keller**

Fuente: Elaboración propia

En las imágenes se aprecian zonas de claro correspondiente a la fase  $\alpha$ , constituida principalmente por aluminio y gris oscuro característico del microconstituyente eutéctico aluminio-silicio. Adicionalmente aparecen zonas de gris más oscuro de una segunda fase eutéctica.

Se determina que el pistón es eutéctico por lo cual según (ASM, 1994) y de acuerdo a sus aplicaciones, el pistón es una aleación de aluminio eutéctico 336.0, por lo cual el proyecto estará orientado a la obtención de este tipo de pistón.

### 3.1.4 Resultado del ensayo de dureza al pistón primario.

El ensayo de dureza fue realizado por medio del durómetro de impacto LECO LR-300TDL. Antes de realizar cualquier ensayo el equipo se calibra por medio un elemento patrón, en la figura 3.3 se puede apreciar una imagen del equipo.



**Figura 3.3. Equipo utilizado en el ensayo de dureza**

Fuente: Elaboración propia

A continuación se describe las características del equipo en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3. Características del equipo.**

Descripción	Microscopio Metalográfico
Marca	Olympus
Modelo	GX-41
Código	EM-012
Serie	NNN

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizada la calibración del equipo, se realizaron 6 ensayos sobre la probeta de la aleación del pistón, para esto se utilizó un indentador de bola de 1/8 de pulgada con una carga de 60 kg de fuerza, esto de acuerdo a (ASM, 2000) , cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla 3.4.

**Tabla 3.4. Ensayo de dureza en pistón original**

Medición	Dureza Rockwell H (HRH)	Equivalencia Brinell
1	99.1	63.5
2	100.6	66.5
3	99.5	64.2
4	99.8	64.7
5	100.0	65
6	99.9	64.8
<b>Media</b>	99.816	64.783
<b>Desviación estándar</b>	0.503	0.998

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del ensayo de dureza se obtuvieron valores muy cercanos entre sí, teniendo la dureza un valor promedio de 99.816 Rockwell, con una desviación estándar de 0.503.

El valor promedio en Brinell es 64.783 con una desviación estándar de 0.998

### 3.2 Diseño del sistema de colado de la fundición

Para diseñar el sistema de fundición para un pistón, se debe conocer las propiedades del material, en nuestro caso del aluminio. Estos valores se los muestra en la siguiente tabla 3.5.

**Tabla 3.5. Propiedades del Aluminio**

<b>Densidad (<math>\rho</math>)</b>	2710 Kg/m <sup>3</sup>
<b>Calor específico en estado sólido (Cs)</b>	0.897 KJ/Kg-°C
<b>Temperatura de fusión (Tm)</b>	659 °C
<b>Temperatura inicial del metal (To)</b>	30°C
<b>Temperatura de sobrecalentamiento (Tp)</b>	700°C
<b>Calor latente de fusión (Hf)</b>	394 KJ/Kg
<b>Calor específico en estado líquido (Cl)</b>	1.28 KJ/Kg-°C
<b>Gravedad (g)</b>	9.81 m/s <sup>2</sup>
<b>Viscosidad dinámica (<math>\mu</math>)</b>	1.235 x 10 <sup>-3</sup>

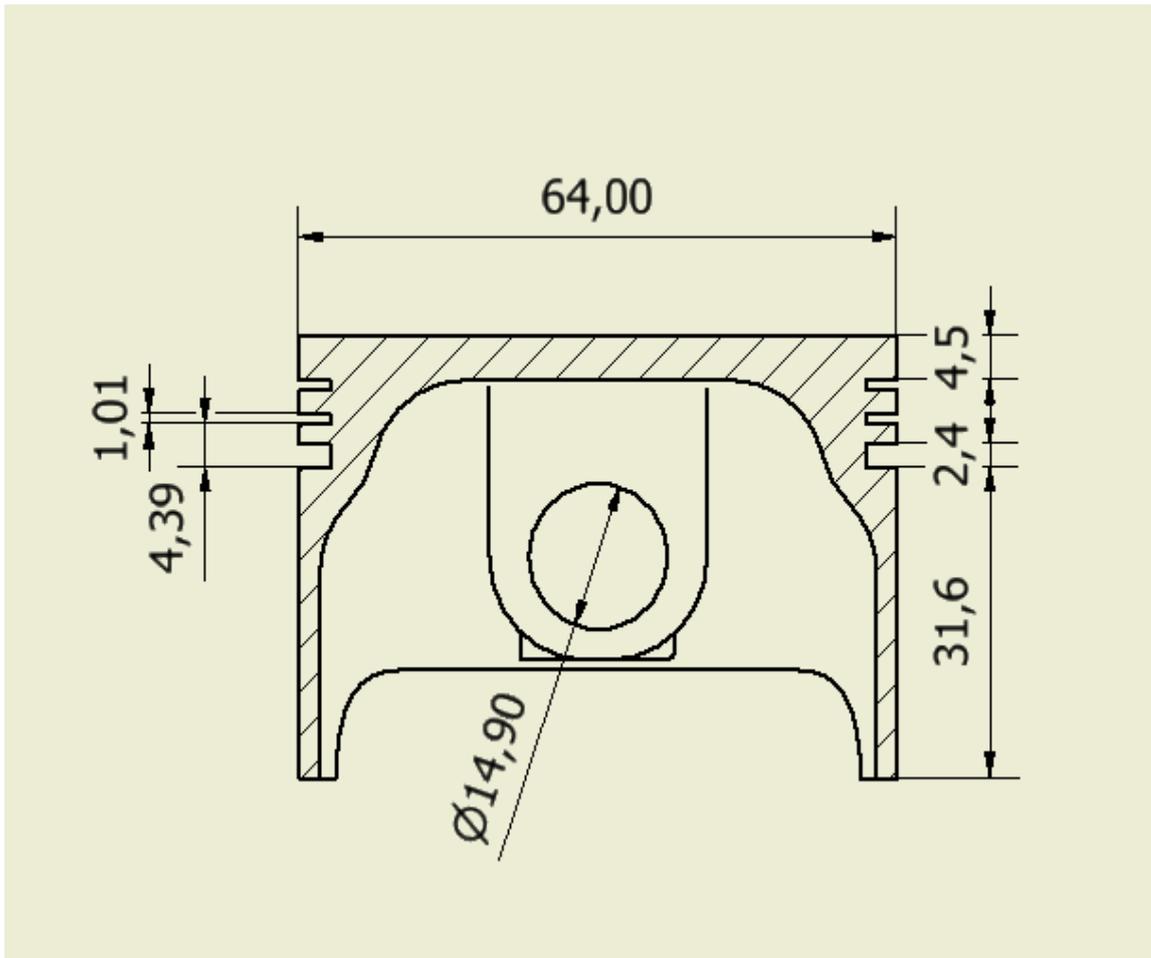
Fuente: (Kaufman, 2004)

Usando la ecuación 2.5, se obtiene la energía necesaria para el proceso de fundición del aluminio, para poder utilizarlo en la colada, entonces se tiene que:

$$H = (2710) * (6.3031 * 10^{-5})[(0.897) * (659 - 30) + 394 + (1.28) * (700 - 659)]$$

$$H = 172.641 \text{ Kj}$$

En la figura 3.4 se presentan las dimensiones del pistón original, estas dimensiones nos servirán como medidas de referencia para diseñar nuestro sistema de fundición.



**Figura 3.4. Dimensiones del pistón original**

Fuente: Elaboración propia

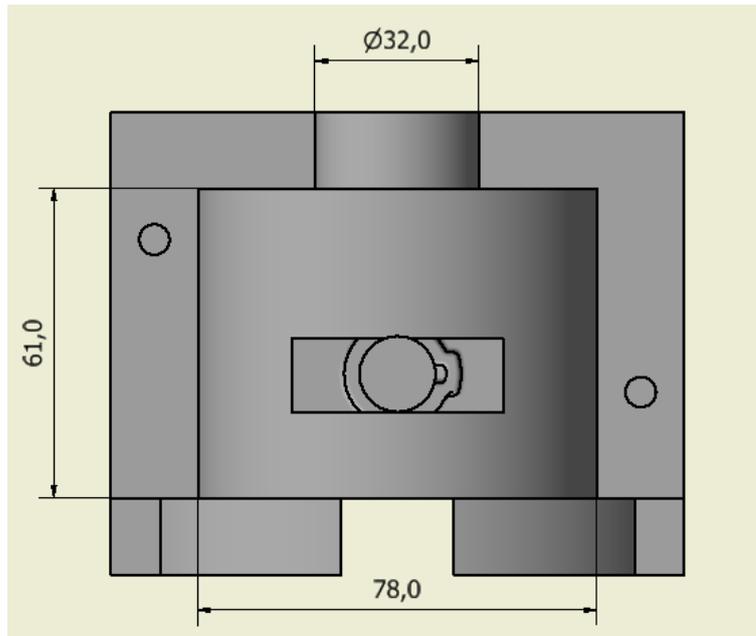
En la tabla 3.6 se muestran los valores del volumen y el área superficial del pistón que se utilizarán para los cálculos posteriores.

**Tabla 3.6. Datos del pistón de moto, 200 cc.**

Volumen del pistón (V)	168617.3 mm <sup>3</sup>
Área superficial total del pistón (At)	24399.3 mm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia

Para calcular la velocidad con la que el aluminio fundido cae desde la parte superior, se emplea la ecuación 2.8, aquí la altura del vertido será de 81 mm, como se muestra en la figura 3.5, comparado con la figura 3.4 tiene 37.5 mm más, esto es debido a que se debe tener espacio para la mazarota de la fundición.



**Figura 3.5. Vista en frontal del sistema de fundición del aluminio.**

Fuente: Elaboración propia

Por medio de la ecuación 2.8 se obtiene la velocidad de vaciado, que para nuestro sistema es el siguiente:

$$V = \sqrt{2 \left( \frac{9.81m}{s^2} \right) * 0.081m}$$

$$V = 1.26 \text{ m/s}$$

Para determinar el caudal de nuestra fundición hacemos uso de la ecuación 2.9

$$Q = A * V$$

Para obtener el diámetro para el área se aplica la ecuación 2.10

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}$$

Para un flujo laminar

$$d = \frac{(2000)(1.235 * 10^{-3})}{(2710)(1.26)}$$

$$d = 0.000723 \text{ m} = 0.7 \text{ mm}$$

Este resultado debe descartarse debido a que puede generar problemas en el proceso de fundición y puede generar una solidificación prematura debido a que su diámetro es muy pequeño.

Para eso se analizará en el escenario de un régimen de transición

$$d = \frac{(20000)(1.235 * 10^{-3})}{(2710)(1.26)}$$

$$d = 0.00723 = 7.23 \text{ mm}$$

Se utiliza el diámetro de la corredera para determinar el caudal este diámetro es mayor que el diámetro anteriormente calculado de acuerdo a la relación de 3:1 de (Manual del Aluminio).

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

$$A = \frac{\pi 0.03^2}{4}$$

$$A = 0.000706858 \text{ m}^2$$

$$Q = A * V$$

$$Q = 0.000706858 * 1.26$$

$$Q = 8.906 * 10^{-4}$$

Para calcular el tiempo de llenado se utiliza la ecuación 2.11

$$T_{MF} = \frac{V}{Q}$$

$$T_{MF} = \frac{0.1686173 * 10^{-3} \text{ m}^3}{0.003364 \text{ m}^3/\text{s}}$$

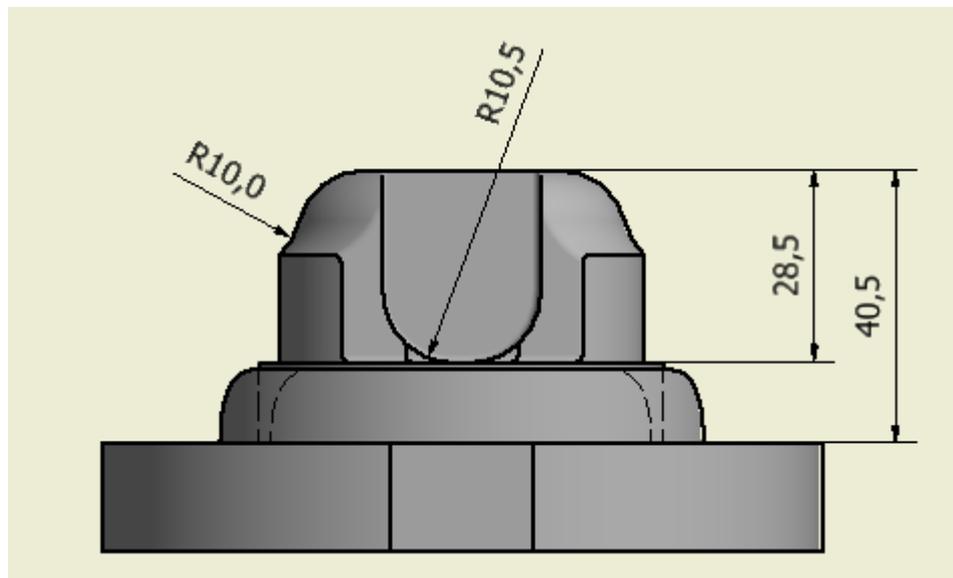
$$T_{MF} = 0.18 \text{ s}$$

Para determinar la fuerza de flotación se utiliza la ecuación 2.13 y se hace uso de la tabla 2.7

$$F_b = W_m - W_c$$
$$F_b = 168.6173 \text{ cm}^3 * 2.65 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} - 234.3908 \text{ cm}^3 * 2.81 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$
$$F_b = -211.8023 \text{ g}$$

Como es un valor negativo significa que el núcleo o macho no va a flotar en la colada

Las dimensiones del molde permanente fueron basadas en el pistón original con un sobredimensionamiento por la contracción volumétrica de acuerdo a la tabla 2.6 y además para poder realizar el mecanizado necesario, el espesor del molde permanente tiene una relación de 3:1 con respecto a la pieza original (Manual del Aluminio). En la figura 3.6 podemos observar el sistema para la configuración interna del pistón (núcleo o macho)



**Figura 3.6. Vista frontal del sistema de fundición interna del pistón.**

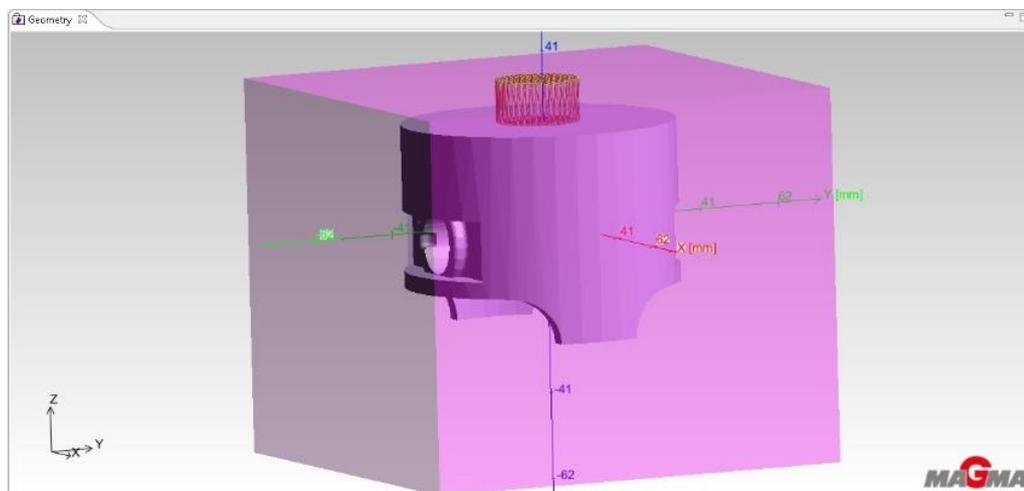
Fuente: Elaboración propia

El apéndice D muestra a mayor detalle los valores de las dimensiones del sistema de colado del pistón.

### 3.3 Simulación en MagmaSoft

Se obtienen los resultados obtenidos del programa MAGMASOFT para el proceso de fundición del pistón, para lo cual se usaron los cálculos realizados en la sección anterior, para esto se obtuvo los resultados de velocidad de llenado, puntos calientes, y porosidad de la pieza obtenida, los cuales sirven para tener una noción al realizar el prototipo de fundición real.

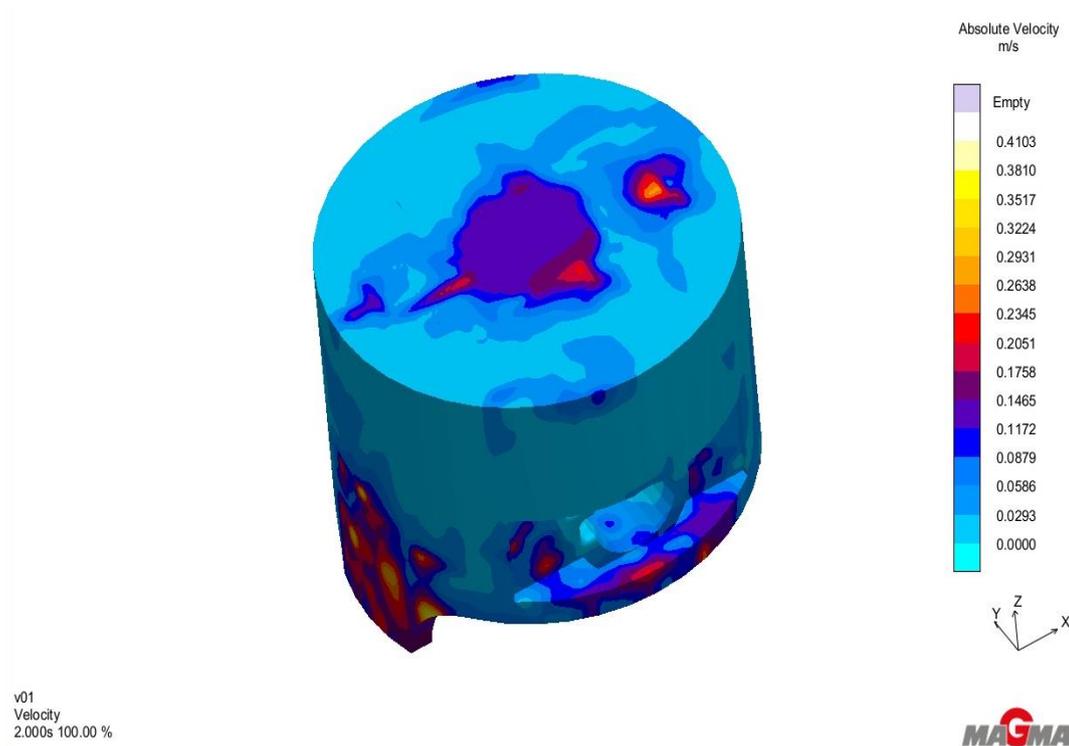
La figura 3.7 nos muestra el sistema de colado importado en MAGMASOFT



**Figura 3.7. Sistema de colado para el proceso de fundición**

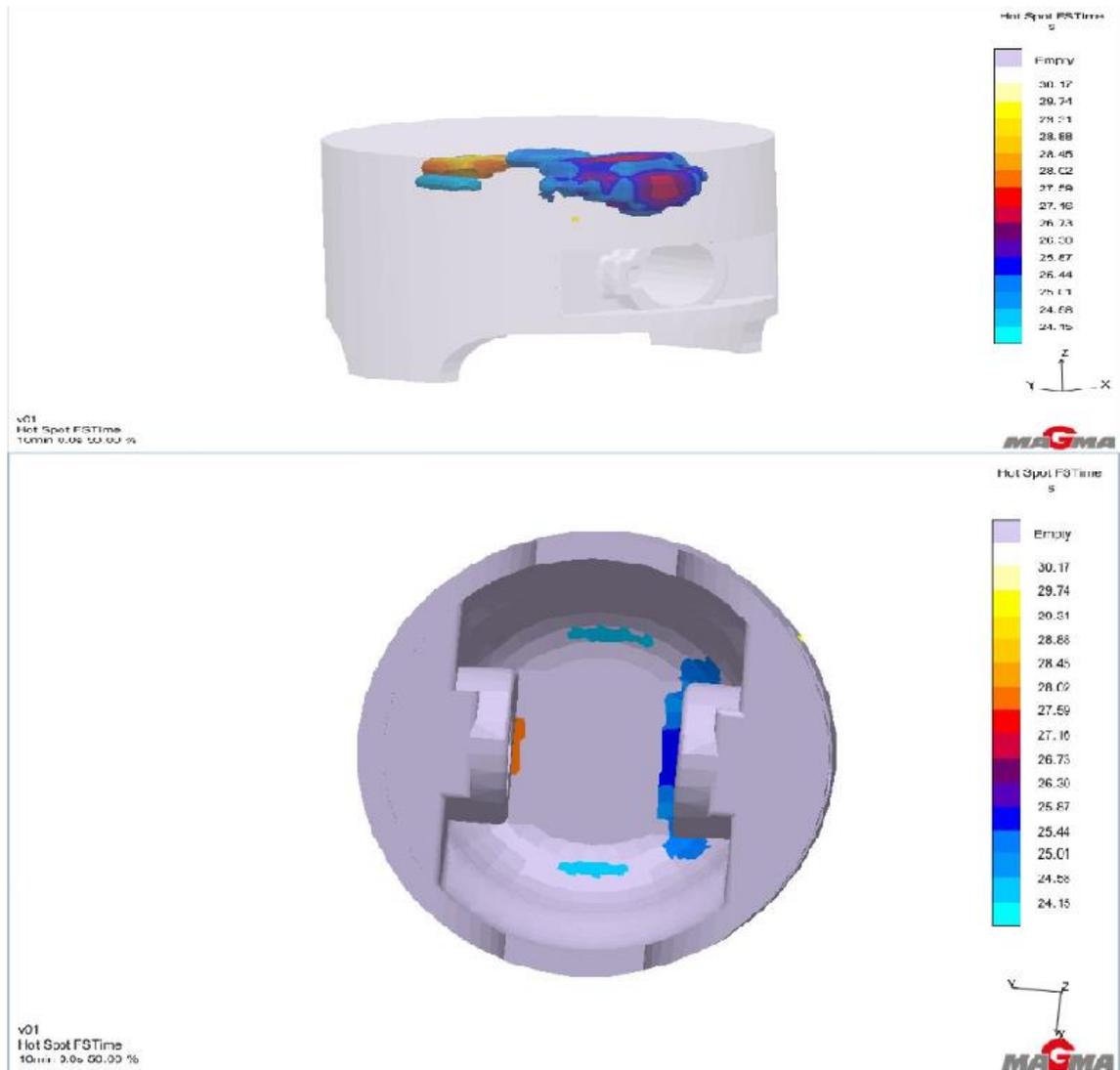
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.8 se muestran los resultados de la velocidad de llenado del sistema de colado; como se observa la velocidad de llenado se encuentra alrededor de 0.26 metros/ segundos.



**Figura 3.8. Velocidad de llenado**

La figura 3.9 nos muestra que aproximadamente 600 segundos después de que la temperatura de la aleación se encuentra por debajo de la temperatura del líquido (565°C), por lo cual existe dentro del pistón un punto caliente. Esto implica que existe una gran posibilidad de porosidad en la pieza terminada, debido a que es la última región en solidificar, ya que en los puntos calientes es la última región en enfriar y solidificar.

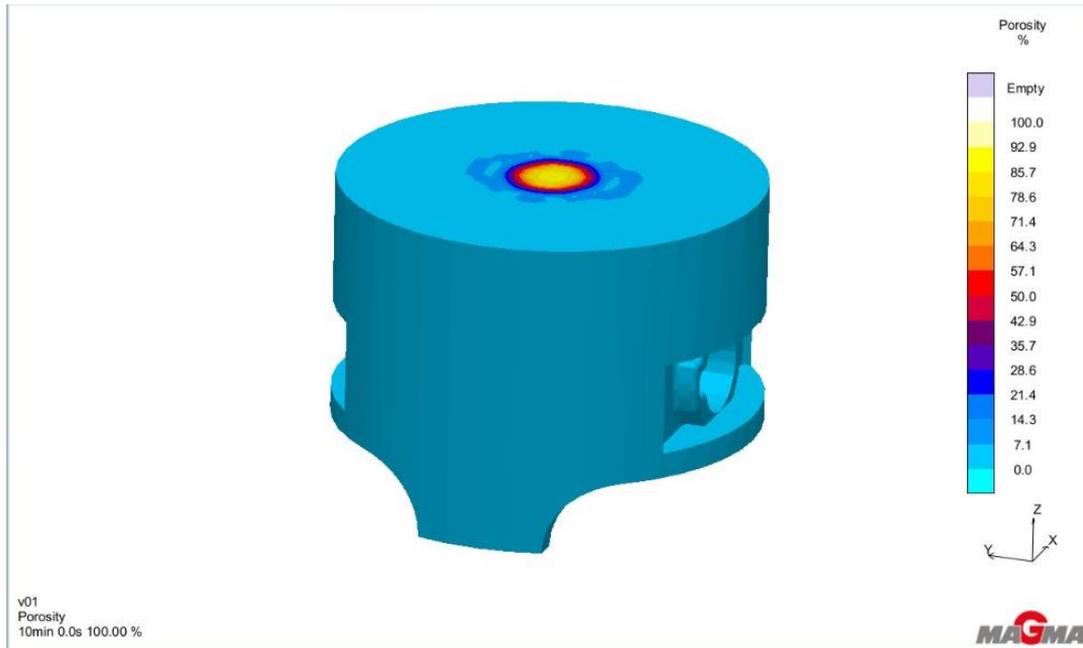


**Figura 3.9. Punto caliente en el interior del pistón.**

Fuente: Elaboración propia

La figura 3.10 nos muestra la porosidad generada en la fundición debido a la existencia del punto caliente. Se puede observar en la barra adjunta que los valores de porosidad alcanzan valores del 92 %.

Debido a estos resultados se procede a utilizar elementos que eviten la generación de puntos calientes dentro de la fundición.



**Figura 3.10. Porosidad en el interior del pistón**

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Dimensionamiento y ubicación de la mazarota dentro del sistema de colado.

$M_{mazarota}$ = módulo de enfriamiento de la mazarota

$V_{mazarota}$ = Volumen de la mazarota

$S_{mazarota}$ = Área de la mazarota

$M_{pieza}$ = módulo de enfriamiento de la pieza

$V_{pieza}$ = Volumen de la pieza

$S_{pieza}$ = Área de la pieza

$D_{mazarota}$ = Diámetro de la mazarota

$$M_{pieza} = \frac{V_{pieza}}{S_{pieza}}$$

$$M_{pieza} = \frac{80659.08 \text{ mm}^3}{23047.87 \text{ mm}^2}$$

$$M_{pieza} = 3.5 \text{ mm}$$

$$V_{\min mazarota} = V_{pieza} C * k$$

Donde C es coeficiente de contracción volumétrica y es del 5 al 7 % para el aluminio y k es el factor de seguridad. (Tecnología Mecánica, 2000)

$$V_{\min mazarota} = 80659.08 \text{ mm}^3 * 0.07 * 2$$

$$V_{\min mazarota} = 11292.27 \text{ mm}^3$$

Se establece la relación entre módulo de la pieza y la mazarota. (Universidad de Málaga)

$$M_{mazarota} = 1.2 M_{pieza}$$

$$M_{mazarota} = 1.2 * 3.5 \text{ mm}$$

$$M_{mazarota} = 4.2 \text{ mm}$$

Con el módulo de la mazarota y asumiendo una relación de la altura de la mazarota igual a 1.5 el diámetro de la mazarota en una configuración cilíndrica para la misma.

$$M_{mazarota} = \frac{V_{mazarota}}{S_{mazarota}}$$

$$4.2 = \frac{\pi \left(\frac{D_{mazarota}}{2}\right)^2 1.5 D_{mazarota}}{2\pi \left(\frac{D_{mazarota}}{2}\right)^2 + 2\pi \left(\frac{D_{mazarota}}{2}\right) (1.5 D_{mazarota})}$$

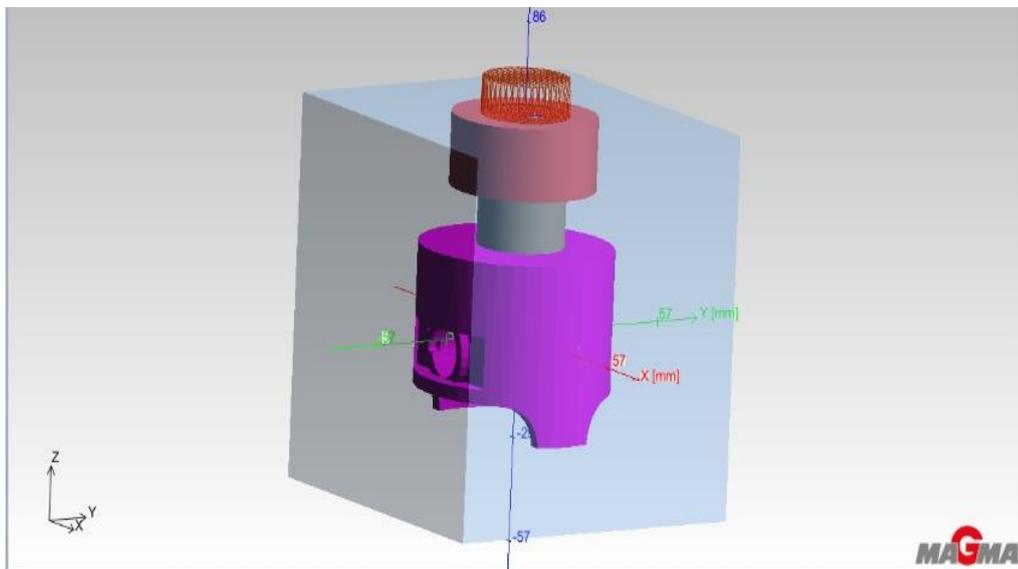
$$D_{mazarota} = 22.4 \text{ mm}$$

$$H_{mazarota} = 1.5D_{mazarota}$$

$$H_{mazarota} = 1.5 * 22.4 \text{ mm}$$

$$H_{mazarota} = 33.6 \text{ mm}$$

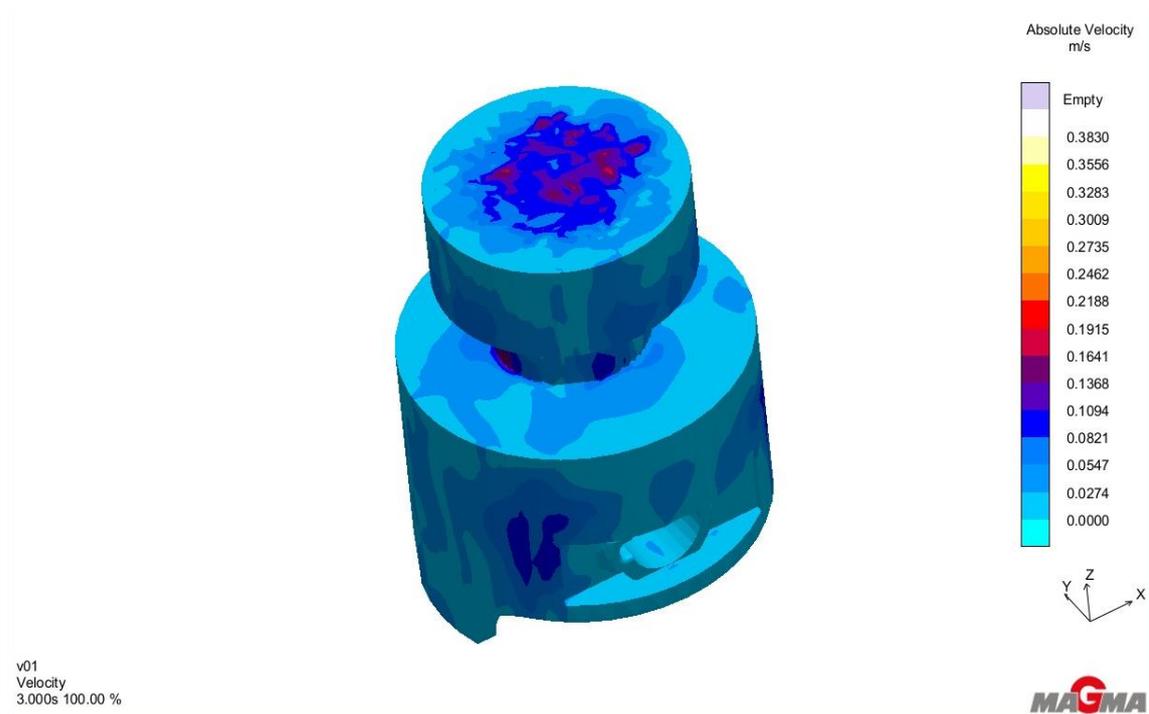
La figura 3.11 es el sistema de colado importado por MAGMASOFT, el proceso de la simulación se lo muestra en el apéndice B de este documento.



**Figura 3.11. Sistema de colado para el proceso de fundición con mazarota.**

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.12 se muestran los resultados de la velocidad de llenado del sistema de colado; como se observa la velocidad de llenado se encuentra alrededor de 0.2 metros/ segundos



**Figura 3.12. Velocidad de llenado del sistema de colado (velocidad absoluta).**

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.13 se puede observar que, aproximadamente 360 segundos después de que la temperatura de la aleación se encuentra por debajo de la temperatura de líquido ( $565^{\circ}\text{C}$ ), en el sistema de colado el punto caliente está en el extremo superior en donde se encuentra la mazarota, es decir la porosidad se encontrará en la mazarota, ya que éste sería la última región al solidificar.



**Figura 3.13. Puntos calientes en el sistema de colado.**

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.14 se observa la porosidad de la pieza de fundición, de acuerdo a la barra adjunta se puede ver que existe valores de porosidad de hasta 23.29% en la región de la mazarota.



**Figura 3.14. Porosidad en el sistema de colado.**

Fuente: Elaboración propia

Debido a estos resultados se puede determinar que no existen problemas en la fundición por porosidad.

### 3.5 Determinación y resultados de la aleación de aluminio-silicio eutéctico.

Para poder determinar los componentes de la aleación se usa como materia prima los componentes de la aleación 336 (ASM, 1994), cuyo nombre comercial es el A332.0, A132 cuya composición química se lo muestra en la tabla 3.7

**Tabla 3.7. Composición química de la aleación 336**

Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Zn	Ti	other	other bal Al
0.5-1.5	1.3 max	0.35 max	11-13	1.2 max	0.35 max	0.25 max	0.05	0.15 max

Fuente: (ASM, 1994)

Las aplicaciones de este tipo de aleación son para pistones de automóviles y para motores a diésel, para esfuerzos a altas temperaturas, con un bajo coeficiente de expansión térmica y una buena resistencia.

Para determinar el porcentaje de la aleación desarrollada se tiene primeramente 3040 gr de la aleación en la cual se descompone de acuerdo a la tabla 3.8.

**Tabla 3.8. Composición de la aleación fundida.**

Componente	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
Chatarra Al-Si	2240	73.68
Chatarra Al-Mg	800	26.31
Niquel	76	2.5
Cobre	30.4	1

Fuente: Elaboración propia

### 3.6 Resultados del análisis químico de la aleación desarrollada.

Para el análisis químico se utiliza una probeta a la aleación fundida y con el equipo Thermo Scientific Nilton XL2. La probeta debe tener una superficie plana para que los rayos XRF o rayos X impacten en la superficie de la muestra, el dispositivo genera un haz de luz con cierta intensidad, generándose a través del choque de los rayos en la probeta un reflejo del haz en determinado tiempo para cada componente, de esta forma se consigue los componentes del material analizado.

Como resultado de esta prueba, se obtuvo la siguiente composición de elementos aleantes en la tabla 3.9.

**Tabla 3.9. Composición química de la aleación desarrollada.**

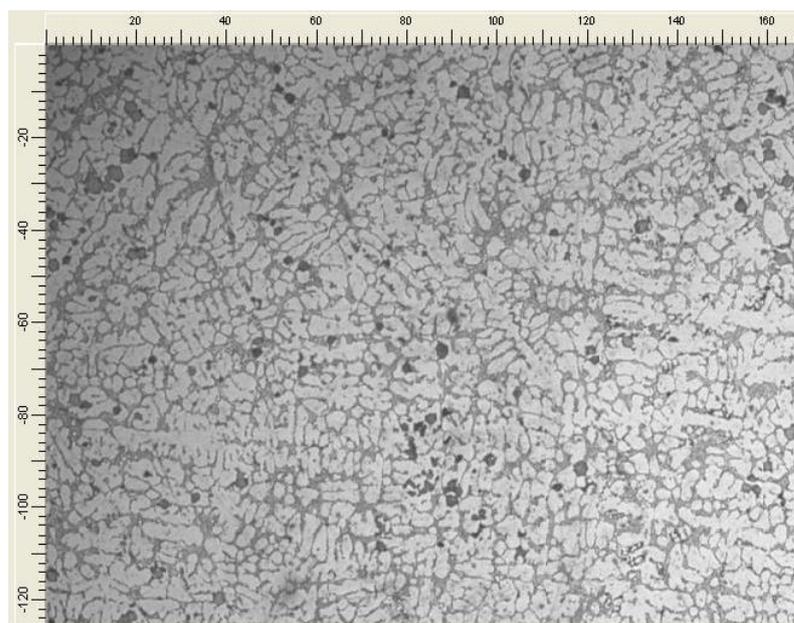
Si	Fe	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni	Al	Sn	Mo	Bi	Pb
12.11	0.923	2.28	0.733	0.305	0.111	1.96	81.33	0.018	0.018	0.006	0.056

Fuente: Elaboración propia

### **3.7 Resultado del análisis metalográfico de la aleación desarrollada.**

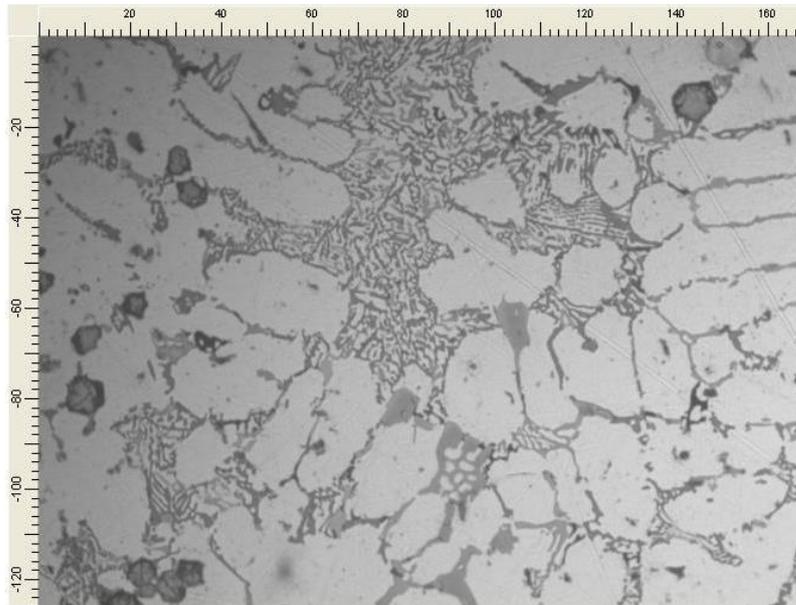
El análisis se efectuó en el pistón fundido sin tratamiento térmico y con tratamiento térmico en este caso el tratamiento térmico fue de envejecimiento. Por lo cual se hizo el mismo procedimiento como en la probeta del pistón original, con el reactivo de Keller (tucker's reaction) y el tiempo de 10-15 segundos para sumergir la superficie de la probeta.

Finalmente, se colocó la probeta del prototipado diseñado en el microscopio, para poder observar la microestructura como se muestra en la figura 3.15 y 3.16, con un lente de x100 y x500 respectivamente.



**Figura 3.15. Microestructura del pistón fundido, x100, ataque con keller.**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.16. Microestructura del pistón fundido, x500, ataque con keller.**

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en ambas imágenes que en la aleación fundida existe una mayor cantidad de aluminio en la fase  $\alpha$  esto es debido a las zonas claras, con una considerable cantidad de aluminio-silicio en la microestructura correspondiente a las zonas grises oscuras, además aparecen zonas de gris más oscuro que corresponden a una segunda fase eutéctica.

### **3.8 Resultado del ensayo de dureza de la aleación desarrollada.**

Para poder realizar este ensayo se crearon probetas preparadas de la aleación, cabe recalcar que las caras deben estar completamente paralelas esto es debido a que se puede obtener datos erróneos si esto no ocurre. Este ensayo fue realizado en el durómetro de impacto LECO LR-300TD, se calibro el equipo con un elemento patrón.

Después de realizar la calibración, se procedió a realizar la toma de datos, se hizo 6 pruebas con el indentador de bola de 1/8 de pulgada con una carga de 60 kg de fuerza, esto de acuerdo a (ASM, 2000), cuyos resultados son mostrados en la siguiente tabla 3.10.

**Tabla 3.10. Ensayo de dureza en pistón fundido**

Medición	Dureza Rockwell H	Equivalencia Brinell
1	84.7	42.1
2	84.5	41.9
3	83.0	40
4	84.1	41.4
5	86.3	44.1
6	85.3	42.9
<b>Media</b>	84.65	42.066
<b>Desviación estándar</b>	1.113	1.383

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del ensayo de dureza se obtuvieron valores muy cercanos entre sí, teniendo la dureza un valor promedio de 84.65 HR, con una desviación estándar de 1.113.

El valor promedio en Brinell es 42.066 con una desviación de 1.383.

Posteriormente se le hizo el ensayo de dureza a la fundición con tratamiento térmico. Cuyos resultados se los muestra en la tabla 3.11.

**Tabla 3.11. Ensayo de dureza en pistón fundido con tratamiento térmico.**

Medición	Dureza Rockwell H (HRH)	Equivalencia Brinell
1	90.2	48.7
2	89.6	48.2
3	89.9	48.7
4	89.5	48.1
5	86.4	44.8
6	97.1	60.2
7	94.6	56.0
8	85.3	42.9
9	89.5	48.5
<b>Media</b>	90.233	49.566
<b>Desviación estándar</b>	3.654	5.342

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del ensayo de dureza se obtuvieron valores dispersos cuya media es de 90.233 HR con una desviación estándar de 3.654.

El valor promedio en Brinell es 49.566 con una desviación estándar de 5.342

### 3.9 Medición de peso del pistón de aleación

Se determinó el peso del pistón de la aleación. Por lo que el peso es:

$$W_{pistón} = 167.03 \text{ g}$$

### 3.10 Análisis de costos.

#### 3.10.1 Costos directos

Para los costos directos se los detalla a continuación en la tabla 3.12, esto quiere decir los materiales

**Tabla 3.12. Costos directos de la fundición**

Material	Cantidad (Kg)	Precio unitario (Dólares/Kg)	Total (Dólares)
Chatarra Al-12Si	2.240	1.32	2.96
Chatarra Al-Mg	0.8	1.32	1.06
Níquel	0.076	35	2.66
Cobre	0.03	3.50	0.10
Total			6.78

Fuente: Elaboración propia

#### 3.10.1 Costos indirectos

Los costos indirectos se los detalla en la tabla 3.13, estos son elementos y materiales que fueron utilizados para el proceso de fundición del prototipo.

**Tabla 3.13. Costos indirectos de la fundición**

Material	Cantidad	Precio unitario	Total (Dólares)
Modelo de aluminio	1	\$ 15	15
Molde de aluminio	Fundición	\$ 30	65
	Maquinado	\$ 35	
Gas GLP	1	\$ 2.50	2.50
Pistón	Mano de obra fundición	\$3.12/hora	9.36
	Mano de obra maquinado		
Total			91.86

Fuente: Elaboración propia

Para el costo del proyecto, se considera un 25% más de los costos indirectos, con el fin de tener un margen de error al momento de realizar el prototipo, estos valores se los puede observar en la tabla 3.14.

**Tabla 3.14. Costo del proyecto**

Costos directos	\$ 6.78
Costos indirectos	\$ 91.86
Imprevistos (25% de CI)	\$ 22.9
Total	\$ 121.54

Fuente: Elaboración propia

Este costo es factible recordando que por medio del molde permanente se puede hacer una producción en masa del pistón, ya que los pistones en el mercado nacional tienden a un valor de 15-20 dólares dependiendo de la marca y del país de origen del pistón.

### 3.11 Cronograma de trabajo.

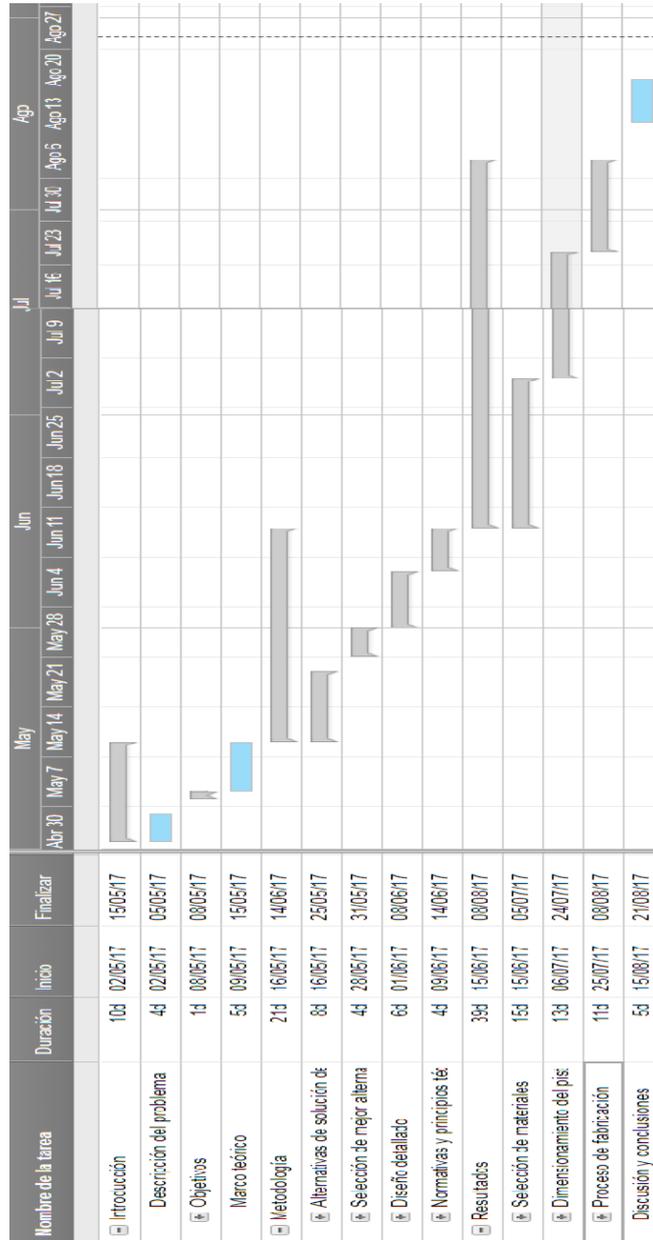


Figura 3.17. Cronograma de trabajo

Fuente: Elaboración propia

# CAPÍTULO 4

## Discusión y conclusiones

Este proyecto evaluó la fabricación de un pistón de moto de 200 cc por el método de fundición, utilizando un molde permanente de aluminio. El uso de este tipo de molde facilitó la fabricación de la fundición para la obtención de un prototipo de pistón con características cercanas a las del producto original. Este tipo de molde ofrece una mayor velocidad de transferencia de calor, que da origen a un proceso rápido de solidificación para la refinación de la microestructura. No obstante, el último pistón fabricado como prototipo presentó una microestructura gruesa, lo cual puede estar asociado a la no utilización de inoculantes y modificadores del silicio, aditivos comúnmente utilizados en la práctica industrial. El grano de la fase alfa no se refina con el tratamiento térmico aplicado post-fundición, por lo que su tamaño debe ser regulado durante la solidificación. Por lo cual se obtuvo según (ASM, 1991) un tratamiento térmico T5

El tratamiento térmico de envejecimiento derivó en una mayor dureza. Durante este proceso precipitan elementos que se mantienen en solución en cantidades en exceso de la solubilidad sólida de equilibrio en la fase alfa rica en aluminio. Al calentar la aleación, estos elementos precipitan, formando en el caso de las aleaciones de aluminio con adiciones de Cu, compuestos intermedios de  $Al_2Cu$  de tamaños pequeños, usualmente nanométricos que endurecen el material. Estos precipitados interfieren con las dislocaciones y restringen su movimiento, requiriéndose de mayores esfuerzos para lograr su deformación plástica, efecto que puede evidenciarse mediante un ensayo de dureza u otro ensayo mecánico. Las partículas precipitadas al ser de tamaños tan pequeños, no pueden observarse mediante las técnicas de análisis utilizadas, que involucraron solamente microscopía óptica. Para su observación, se requiere del uso de microscopía electrónica de transmisión.

Con el programa de simulación MAGMASOFT se lograron detectar los defectos de la fundición en la aleación del pistón, el principal de todos son los puntos calientes,

lo cual produce la porosidad en el pistón (rechupe). El programa además identifica gráficamente las zonas donde las porosidades se concentran. Este tipo de defectos en el pistón fue eliminada con la mazarota ya que al diseñarla y simularla de manera apropiada, permiten trasladarlos a esta región, donde efectivamente fueron ubicadas durante la simulación y en el prototipo fundido.

El recubrimiento del molde de aluminio con una capa de grafito y precalentado a 200°C, facilitó el desmoldeo de la pieza, evitando la adhesión de la pieza al molde. Este material tiene un efecto de lubricación y al resistir a temperaturas muy por encima de las del material fundido ofrece una buena alternativa para esta aplicación.

Mediante el estudio se puede inferir que con un proceso de fundición más controlado, siguiendo las prácticas industriales, se puede lograr la fabricación de piezas de motor de moto con propiedades similares o superiores a las del pistón original, por lo que es factible su fabricación en el país.

#### **4.1 Conclusiones**

- Se realizó un prototipado de un pistón de moto de 200cc de aleación de aluminio-silicio 336 según norma (ASM, 1994) con un tratamiento térmico de envejecido, con la finalidad de generar una microestructura resistente a las altas temperaturas de trabajo que son de 200-260°C.
- Se mejoraron las propiedades iniciales del pistón fundido utilizando material reciclado de pistones, pero no se logró alcanzar la dureza del último pistón fabricado por modificaciones en la aleación, debido a la obtención de una estructura gruesa y más rica en la fase alfa.
- Con el programa MAGMASOFT se logró la detección de las zonas críticas de fundición, las cuales fueron puntos calientes y porosidad, problemas que fueron resueltos con el diseño de la mazarota apropiada.
- Se logró observar por medio de la metalografía que el pistón comercial tiene una mayor cantidad de eutéctico en la microestructura que el pistón fundido, lo cual puede estar asociado a condiciones más rápidas de

enfriamiento o tratamiento del metal líquido, lo que a su vez conduce a una mayor fineza de la microestructura.

## 4.2 Recomendaciones

- Para la realización de los ensayos de dureza se debe tomar en cuenta la calibración del equipo y una superficie de muestra completamente plana, para evitar errores en la toma de datos.
- Para el diseño del sistema de fundición se debe tomar en cuenta los puntos calientes y la porosidad y diseñar la mazarota con la dimensión y ubicación más adecuada, y simplificar las dimensiones haciendo uso de la geometría más sencilla como el cilindro.
- Para la simulación se recomienda que el mallado en las zonas curvas y delgadas de la pieza exista como mínimo tres subdivisiones para así obtener una buena simulación.
- Para obtener un mejor acabado superficial en la fundición se deben ensayar otros procesos de moldeo que pueden incluir moldeo en cera, o con el proceso de fundición por inyección.
- Para lograr una estructura más fina es necesario modificar las condiciones de enfriamiento y tratar el baño líquido con agentes inoculantes y modificadores del silicio.
- Se recomienda para futuros trabajos, que las piezas sean fabricadas lo más ajustadamente posible a las que ofrece el mercado, para someterlas a régimen de operación, utilizando bancos de prueba.
- Establecer todo el procedimiento a seguir junto con las normativas que se deben cumplir para poder reproducir las piezas en el país de forma masiva.

# BIBLIOGRAFÍA

ASM. (1991). Heat treating.

ASM. (1992). *Metallography And Microstructures* (Vol. 9). ASM.

ASM. (1994). *Properties and Selection: Nonferrous and alloy and special- purpose materials* (Vol. 2).

ASM. (1998). *Casting* (Vol. 15).

ASM. (2000). *Mechanical Testing and Evaluation* (Vol. 8).

Baer, A. (15 de Febrero de 2016). *www.espaciocoche.com*. Recuperado el 12 de Mayo de 2017, de <http://espaciocoche.com/motor-de-explosion-de-4-tiempos/>

Comité de Comercio Exterior. (11 de Junio de 2012). Resolución No. 64.

Departamento de Física Aplicada III. (10 de Junio de 2014). *Laplace*. (U. d. Sevilla, Productor) Recuperado el 3 de Mayo de 2017, de [laplace.us.es: http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo\\_Otto](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Otto)

Dickson, T. (5 de Noviembre de 2010). *Visor Down*. Obtenido de <http://www.visordown.com/features/workshop/understanding-bore-and-stroke>

Dowdy, J. R. (7 de December de 2010). *United States Patente nº 7,845,269 B2*.

e-auto.com. (Julio de 2010). *e-auto.com.mx*. Obtenido de [http://www.e-auto.com.mx/manual\\_detalle.php?manual\\_id=206](http://www.e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=206)

Ecured. (30 de Mayo de 2017). *EcuRed*. Recuperado el 2 de Mayo de 2017, de [www.ecured.cu: https://www.ecured.cu/Ciclo\\_Otto](https://www.ecured.cu/Ciclo_Otto)

El Comercio Perú. (09 de Mayo de 2014). ¿Qué establece el diámetro por carrera? Recuperado el 12 de Junio de 2017, de <http://elcomercio.pe/ruedas-tuercas/servicios/establece-diametro-carrera-318147>

Fundamentos de Mecanica . (25 de Mayo de 2014). *Aficionados a la mecánica*. Recuperado el 7 de Mayo de 2017, de <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-elementos-moviles.htm>

Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. México, D.F.: McGraw-Hill.

Herold, P. R. (2012). *Stroke-to-Bore Ratio: A Key to Engine Efficiency*. Achatas Power. Recuperado el 10 de Junio de 2017, de <http://achatespower.com/stroke-to-bore/>

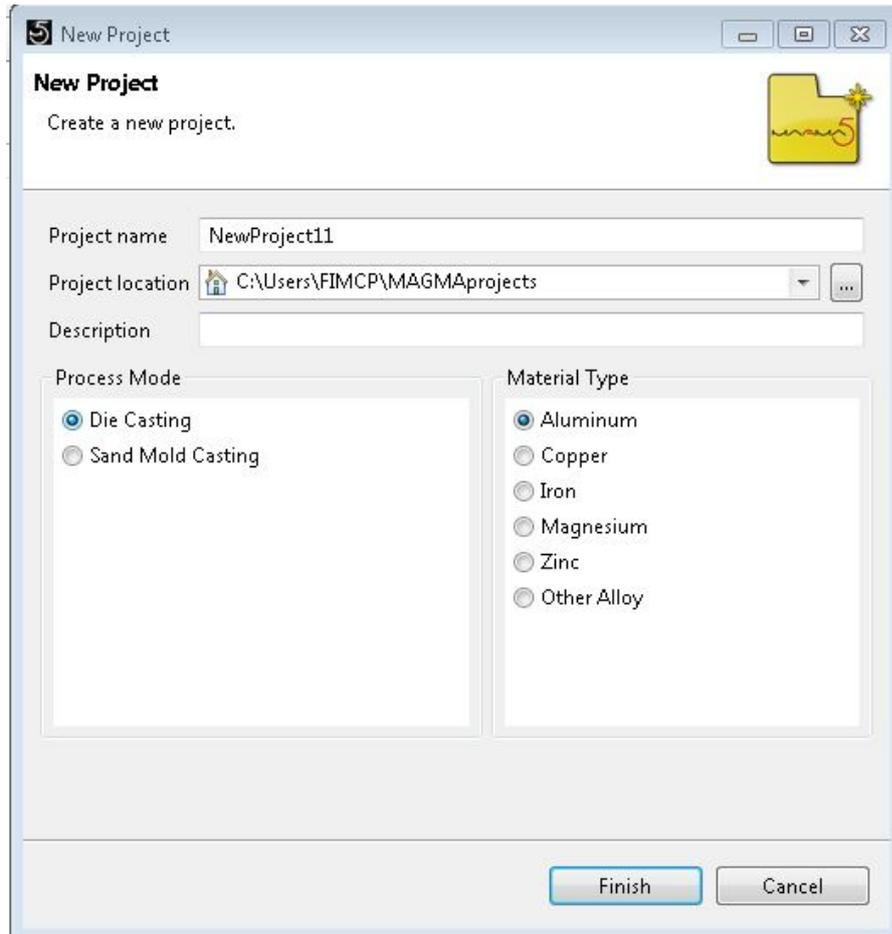
- HONDA. (s.f.). *Inspección del bloque de cilindros y de los pistones*. Obtenido de <http://hondafitjazz.com/spanish/html/>
- Kaufman. (2004). *Aluminium Alloy Casting, Properties, Processes, and Applications*.
- Kitzmilller, P. M. (1 de July de 1997). *United States Patente nº 5,642,654*.
- Manual del Aluminio. (s.f.). En W. Hufnagel. España: Reverte S.A.
- Orozco, G. M. (15 de Febrero de 2014). *Prueba de Rura*. Recuperado el 12 de Junio de 2017, de <https://www.pruebaderuta.com/par-motor.php>
- Petroecuador EP. (Septiembre de 2012). *Ministerio de Hidrocarburos*. Recuperado el 9 de Junio de 2017, de <http://www.hidrocarburos.gob.ec/confirman-calidad-de-combustible-que-distribuye-ep-petroecuador-al-pais/>
- Tadeusz Rychter, A. T. (1995). *Variable Compression Ratio Engine VR/LE Concept*. Warsaw University of Technology, Institute of Heat . Recuperado el 12 de Jiunio de 2017
- Tecnología Mecánica. (2000). *Moldeo de Piezas Mecánicas*. Recuperado el Mayo de 2017
- Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. (20 de Mayo de 2016). Consideraciones en el diseño de pistones para motores a cuatro tiempos.
- Universidad de Málaga. (s.f.). *Diseño de las Mazarotas*.
- Webster, L. (Diciembre de 2005). *Caranddriver*. Recuperado el 13 de Junio de 2017, de Caranddriver Web site: <http://www.caranddriver.com/columns/technical-secrets-of-an-f1-engine-learned-in-toledo>
- Word Press. (29 de Junio de 2015). *www.wordpress.com*. Recuperado el 20 de Mayo de 2017, de <https://jasf1961.wordpress.com/tag/piston/>
- Z. Filipi, D. A. (2000). *The effect of the stroke-to-bore ratio on combustion, heat transfer and efficiency of a homogeneous charge spark ignition engine of given displacement*. W.E. Lay Automotive Laboratory. University of Michigan. Recuperado el 15 de Junio de 2017

# APÉNDICES

**APÉNDICE A**  
**PROCESO DE FUNDICIÓN DEL PISTÓN**  
**EN MAGMASOFT**

# Proceso de simulación

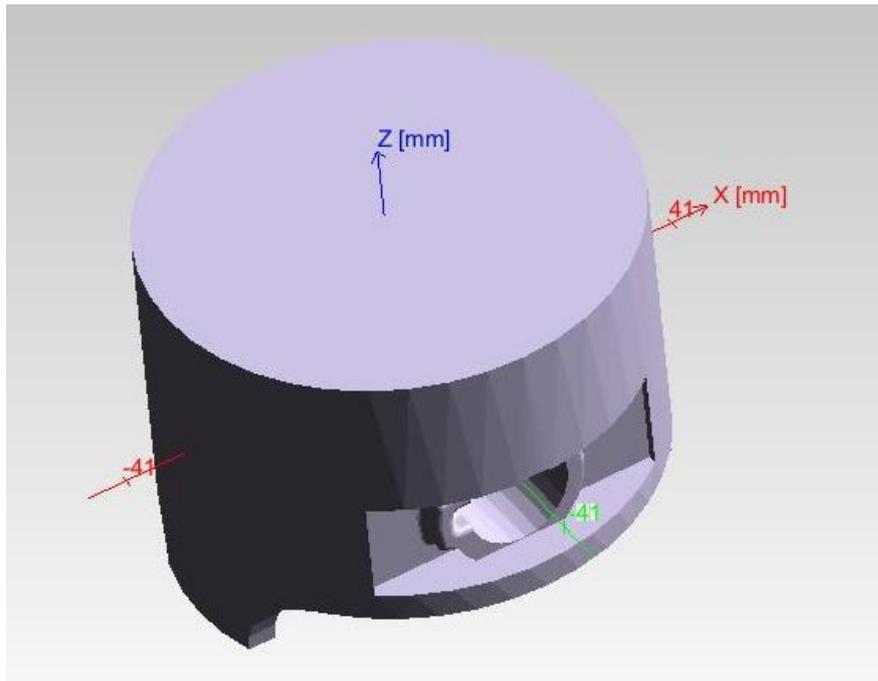
Para el proceso de simulación se debe definir el material que se requiere fundir y el tipo de molde que se va a usar en la fundición, para nuestro proyecto se utilizará un molde metálico y una aleación de aluminio, como se muestra en la figura a-1.



**Figura a-1 Selección del tipo de molde y del material a fundir.**

Fuente: Elaboración propia

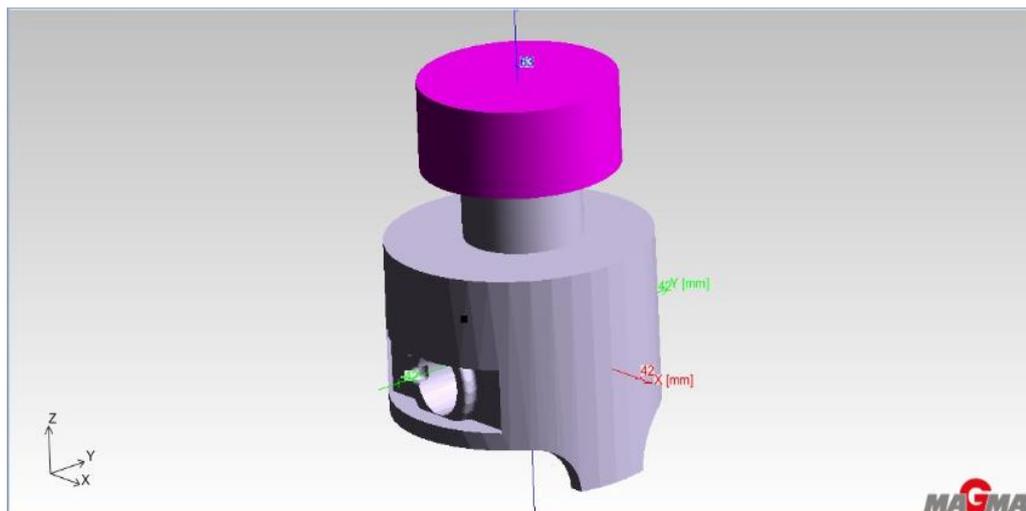
Después de haber definido los materiales, se debe importar el sólido en un archivo .stl, como se muestra en la figura a-2, para esto se debe verificar que no se hayan alterado las dimensiones originales del dibujo al momento de importarlo a MAGMASOFT, si esto ocurre se debe disminuir o aumentar la escala del sólido.



**Figura a-2 Geometría del bloque importado en MAGMASOFT.**

Fuente: Elaboración propia

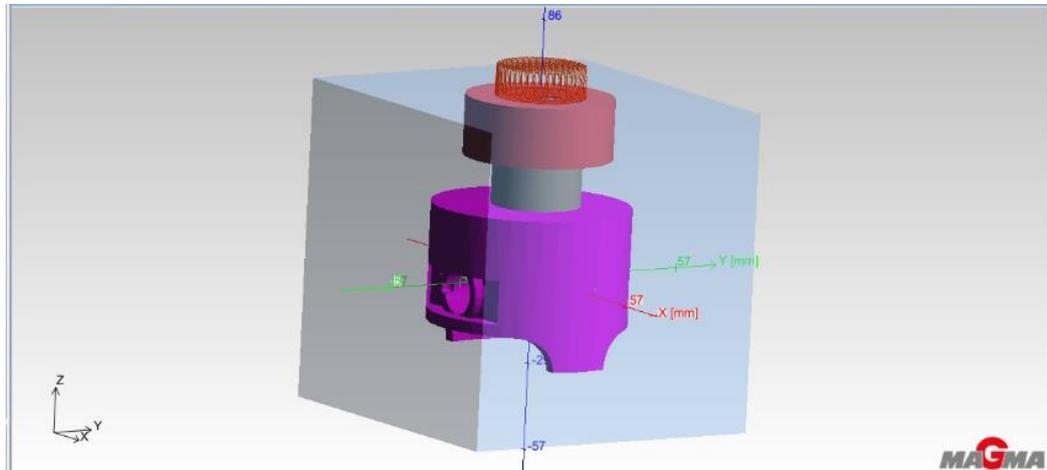
A continuación se procede a dibujar en MAGMASOFT los componentes del sistema de colado de la fundición y se ensambla como se muestra en la figura a-3.



**Figura a-3. Ensamblaje de los componentes del sistema de colado de la fundición**

Fuente: Elaboración propia

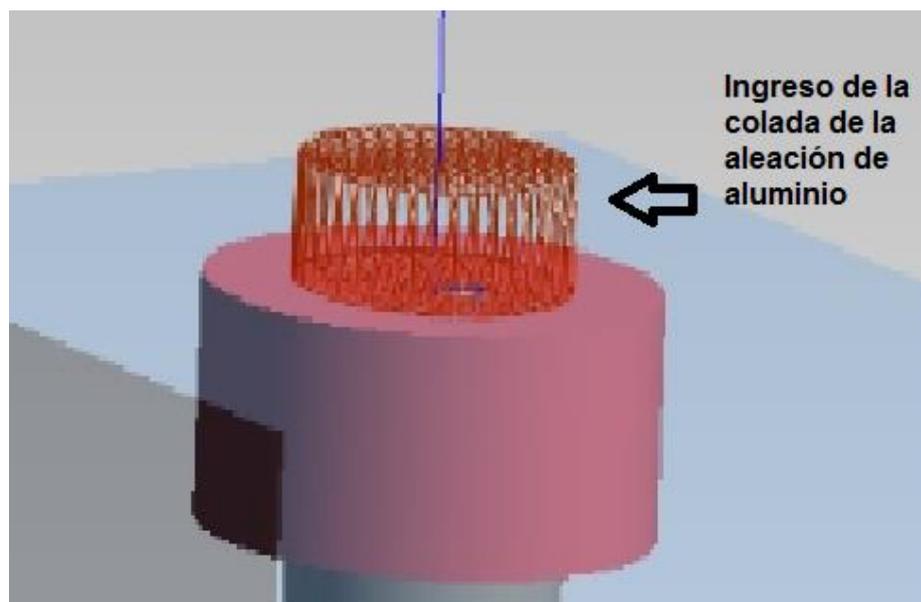
Luego de ensamblar todos los componentes del sistema de colado de la fundición, se empieza a crear el molde permanente, como se muestra en la figura a-4.



**Figura a-4 Creación del molde permanente en MAGMASOFT**

Fuente: Elaboración propia

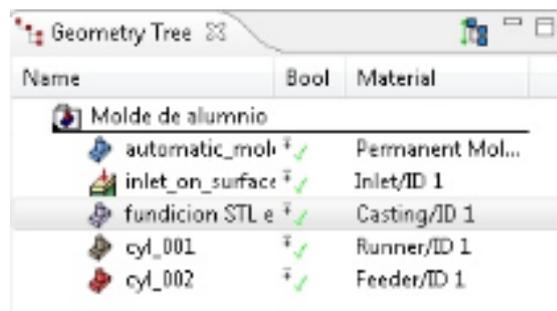
Después se debe definir el ingreso de la colada de la aleación de aluminio en la copa de vaciado, esto se lo realiza dejando la entrada fuera del molde metálico, en su cara superior y definiéndola como una entrada circular como se muestra en la figura a-5.



**Figura a-5 Creación del ingreso de la colada de la aleación de aluminio**

Fuente: Elaboración propia

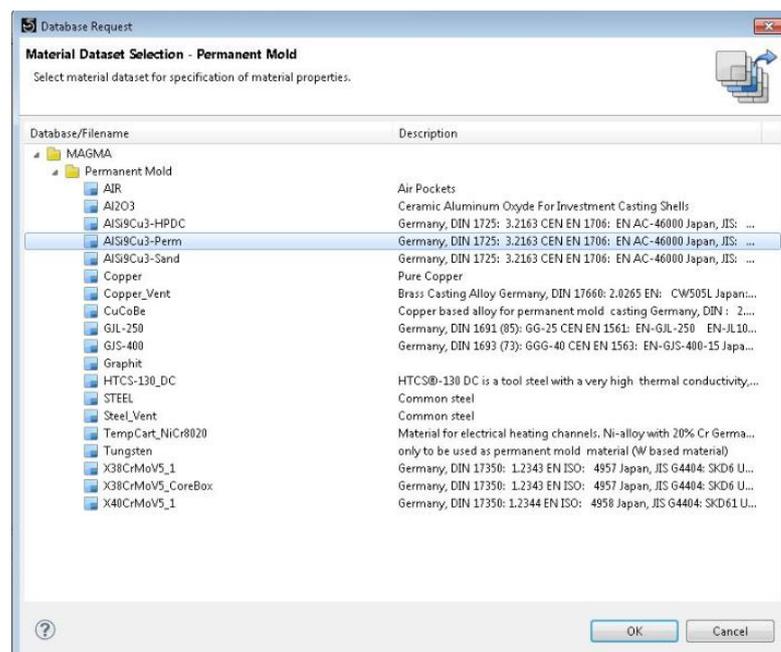
Posteriormente se debe definir la función de cada componente del sistema de colado, es decir molde metálico, entrada de la colada, fundición, y mazarota. Es importante que en la lista de la figura a-6 el molde permanente se la ubique en la primera posición, esto es porque debido a la operación de booleana resta todos los componentes que se encuentran por debajo del primer componente, es decir el programa MAGMASOFT forma la cavidad al ejecutar la operación booleana entre el molde y los demás componentes insertados.



**Figura a-6 Árbol de Geometría de MAGMASOFT**

Fuente: Elaboración propia

Después se define el material del molde que se va a usar, se escogió aluminio-silicio. Como se muestra en la figura a-7.

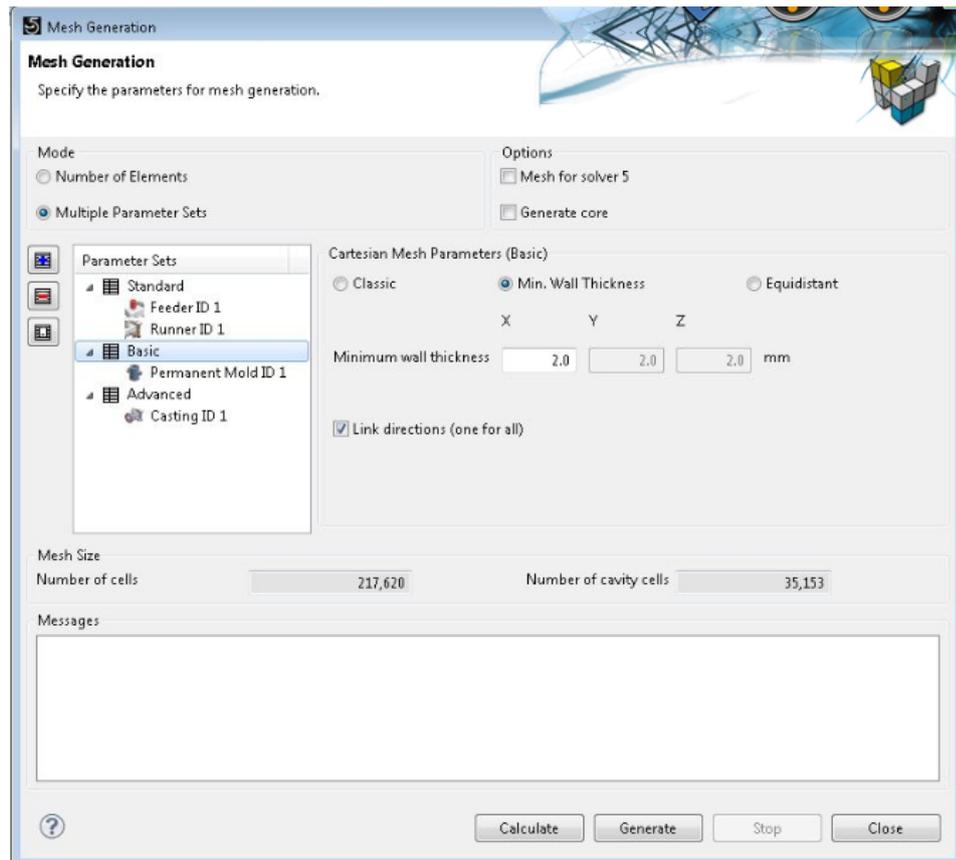


**Figura a-7 Lista de materiales para el molde metálico**

Fuente: Elaboración propia

A continuación se procede a generar el mallado para todo el sistema, se lo configura en múltiples parámetros para así poder generar diferentes mallados para cada elemento del sistema.

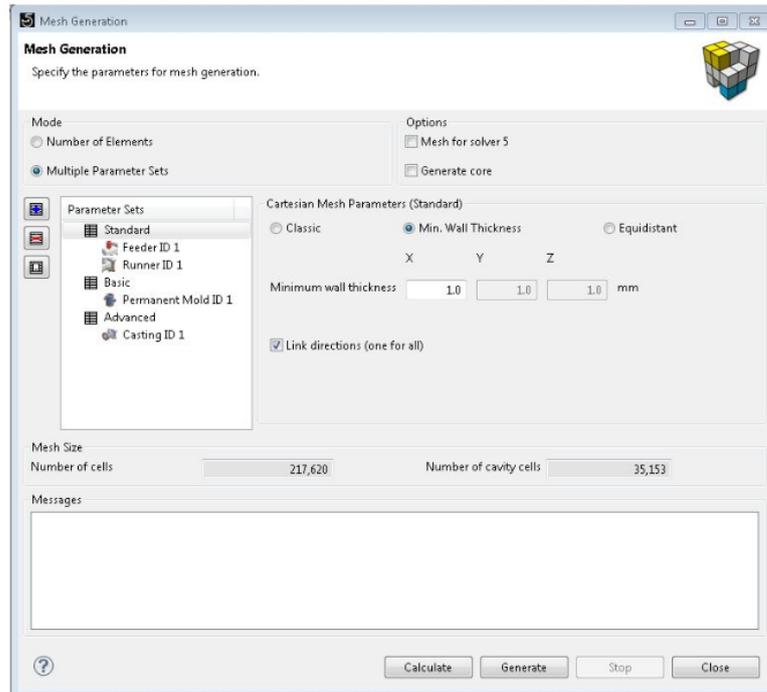
En la figura a-8 se muestra el mallado generado para el molde.



**Figura a-8 Parámetros del mallado para el molde**

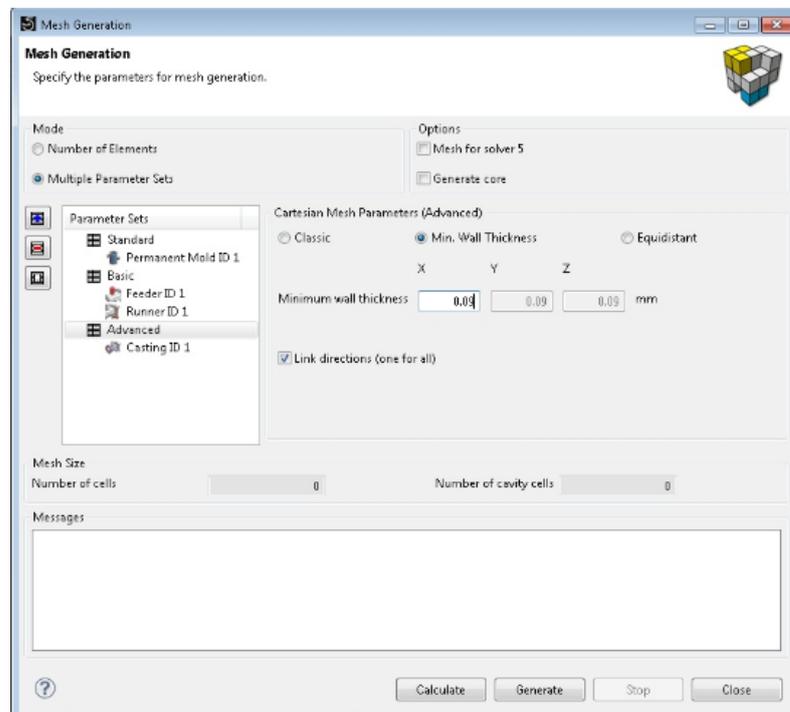
Fuente: Elaboración propia

En la figura a-9 se muestra el mallado generado para la mazarota y el corredero.



**Figura a-9 Parámetros del mallado para la mazarota y corredero.**  
Fuente: Elaboración propia

En la figura a-10 se muestra el mallado generado para la fundición



**Figura a-10 Parámetros del mallado para la fundición.**  
Fuente: Elaboración propia

En la figura a-11 se presenta una vista general del mallado de todo el sistema de fundición, para poder apreciar las diferencias del tamaño del mallado.



**Figura a-11 Malla general del sistema**

Fuente: Elaboración propia

En la figura a-12 y a-13 se muestra la existencia del número recomendado de elementos del mallado en las zonas finas y curvas para el pistón, se debe verificar que al menos tengan tres elementos para un buen análisis de la simulación.



**Figura a-12 Mallado en la zona fina del pistón cerca del vástago.**

Fuente: Elaboración propia



**Figura a-13 Mallado en la zona curva del pistón**

Fuente: Elaboración propia

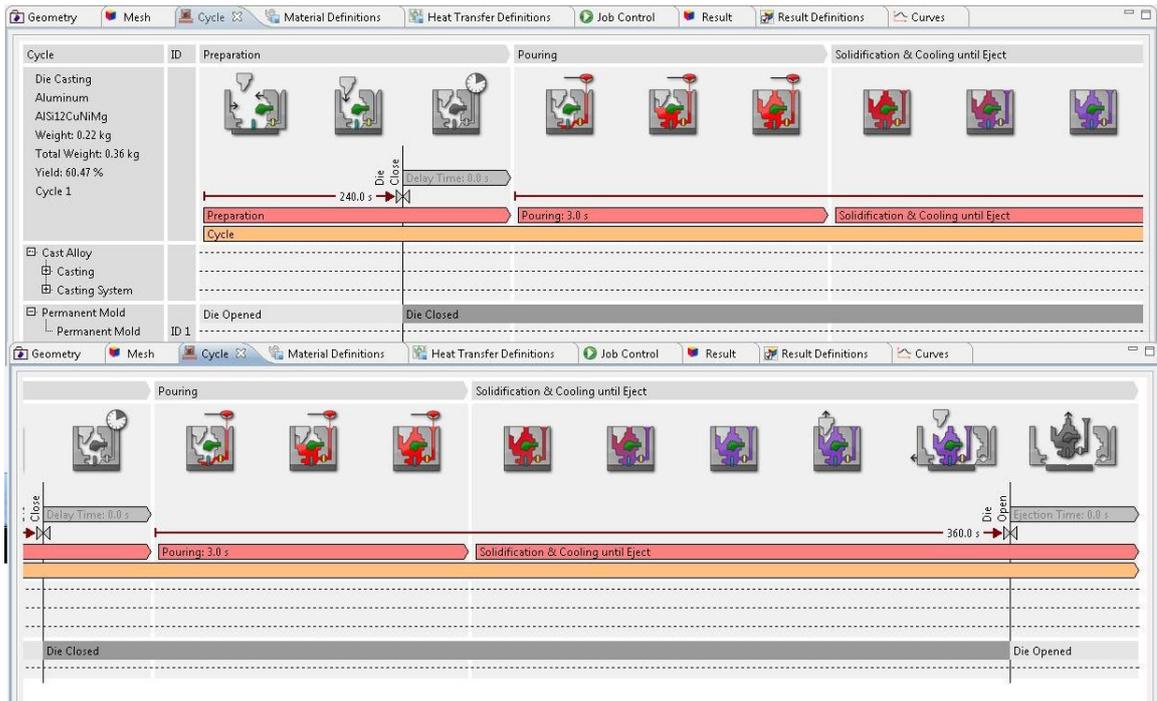
En la figura a-14 se muestra las temperaturas iniciales del sistema de colado

Material	Mat ID	Database/File name	Initial Temperature (°C)	Feeding Effectivity (%)
Cast Alloy		MAGMA/AISi12CuNiMg	680.0	50.0
Material	Mat ID	Database/File name	Initial Temperature (°C)	
Permanent Mold		MAGMA/AISi9Cu3-Perm	200.0	

**Figura a-14 Temperaturas iniciales del sistema de colado de la fundición**

Fuente: Elaboración propia

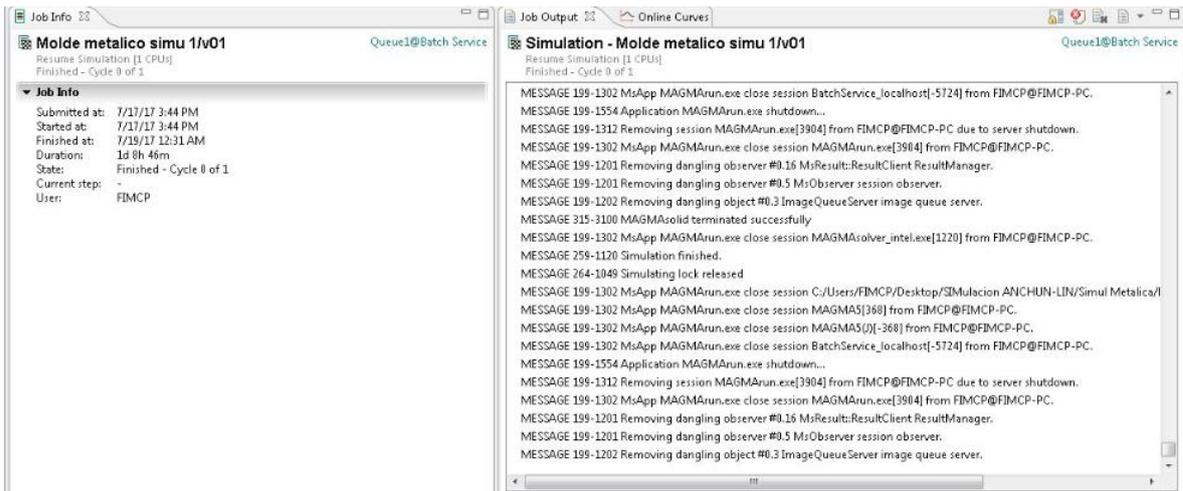
En la figura a-15 se muestra el proceso de fundición que simula MAGMASOFT, aquí se detalla el proceso de preparación, llenado, de solidificación y enfriamiento de la fundición, y el proceso de extracción de la fundición.



**Figura a-15** Proceso de fundición del sistema de colado

Fuente: Elaboración propia

En la figura a-16, nos muestra el proceso de la simulación, aquí se observa los porcentajes de avance de la simulación, junto con cada operación que realiza el programa.



**Figura a-16** Proceso de simulación

Fuente: Elaboración propia

# **APÉNDICE B**

## **CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPADO**

Luego de haber realizado los cálculos para el diseño de nuestro sistema de colado y de haber simulado en el programa Magmasoft se procedió a realizar el prototipado del pistón.

Para esto se realizó el molde permanente, sus dimensiones fueron basadas en el pistón original con un sobredimensionamiento por la contracción volumétrica de acuerdo a la tabla 2.6 y además para poder realizar el mecanizado necesario, el espesor del molde permanente tiene una relación de 3:1 con respecto a la pieza original (Manual del Aluminio). Este modelo se lo hizo de madera con macilla, para su posterior fundición en un molde de arena.



**Figura b-1 Modelo de madera**

Fuente: Elaboración propia

Para la fundición del pistón se utilizó grafito, como en la figura b-2, esto es para que la fundición no se quede pegada en las paredes del molde de aluminio.



**Figura b-2 Grafito**

Fuente: Elaboración propia

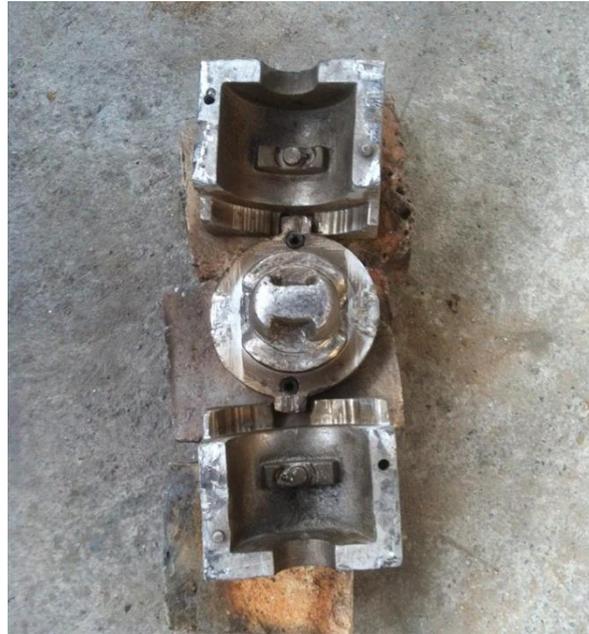
Luego se calentó el molde, esto es para mejorar el proceso de fundición, además para evitar la porosidad en la superficie de la pieza de fundición como se puede observar en la figura b-3.



**Figura b-3 Calentamiento del molde**

Fuente: Elaboración propia

En la figura b-4 se puede observar el molde de aluminio calentado.



**Figura b-4 Molde con grfite calentado**

Fuente: Elaboraci3n propia

En la figura b-5 se puede observar la temperatura de entrada de mi sistema de colada que debe de ser de 200°C.



**Figura b-5 Medici3n de la temperatura inicial del molde**

Fuente: Elaboraci3n propia

En la figura b-6 se puede observar el vertido de la colada de la aleación en el molde.



**Figura b-6 Vertido de la colada en el molde**

Fuente: Elaboración propia

Después de haber fundido se espera 10 segundos para destapar el molde y de ahí se lleve el pistón fundido al horno para el tratamiento térmico de envejecimiento como se observa en la figura b-7.



**Figura b-7 Tratamiento térmico del pistón**

Fuente: Elaboración propia

Se debe alcanzar la temperatura de entre 170-175°C en el tiempo de 14-18 horas para el tratamiento térmico de envejecimiento, como se observa en la figura b-8 y b-9.



**Figura b-8 Horno en la temperatura requerida**

Fuente: Elaboración propia



**Figura b-9 Medición de la temperatura requerida**

Fuente: Elaboración propia

En la figura b-10 se puede observar los pistones fundidos después del tratamiento térmico.



**Figura b-10 Pistón después del tratamiento térmico**

Fuente: Elaboración propia

En la figura b-11 se observa el proceso de mecanizado del pistón para esto se utilizó el torno para hacerle un careado tronzado y perforado.



**Figura b-11 Pistón fundido en el proceso de mecanizado**

Fuente: Elaboración propia

Luego, como se observa en la figura b-12 se le agrega una cavidad para mejorar el cilindraje para el motor de moto



**Figura b-12 Pistón durante el mecanizado de la cavidad**

Fuente: Elaboración propia

En la figura b-13 y b-14 se observa el pistón final con el pistón original.



**Figura b-13 Pistón final con el pistón original**

Fuente: Elaboración propia



**Figura b-14 Pistón final con el pistón original con los orificios de lubricación.**

Fuente: Elaboración propia

**APÉNDICE C**  
**Pruebas realizadas al pistón comercial y**  
**al pistón fundido**

Para el análisis químico se corta las probetas del pistón original y de la aleación fundida como se ve en la figura c-1 se tiene las probetas del pistón original y del pistón fundido con sus caras completamente planas. Como se puede observar en la figura c-2.



**Figura c-1 Corte al pistón para obtener las probetas.**

Fuente: Elaboración propia



**Figura c-2 Probetas planas para realizar las pruebas.**

Fuente: Elaboración propia

Después se utiliza el equipo Thermo Scientific Niton XL2 para realizar el análisis. Como se puede ver en la figura c-3.



**Figura c-3 Foto del equipo con probetas.**

Fuente: Elaboración propia

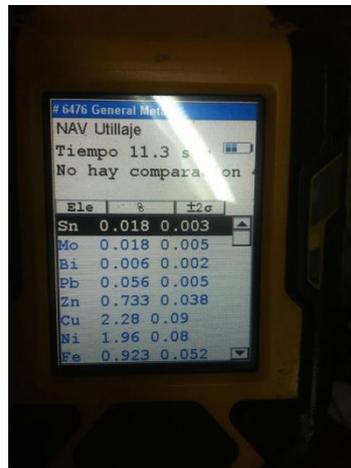
A continuación se observa el análisis químico al pistón original, el cual dio que es una aleación 4032. Como se ve en la figura c-4.

Ele	%	±σ
Zn	0.008	0.005
Cu	1.06	0.05
Ni	0.934	0.046
Fe	0.320	0.029
Si	12.37	0.07
Al	85.17	0.17

**Figura c-4 Análisis químico al pistón original**

Fuente: Elaboración propia

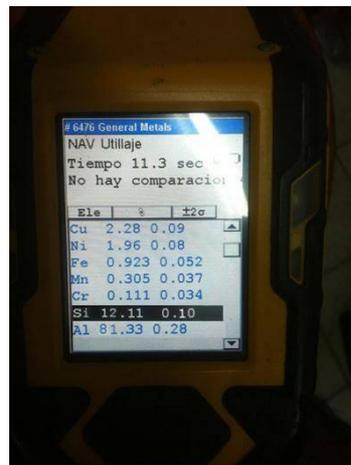
A continuación en la figura c-5 y c-6 se observa el análisis químico del pistón fundido.



Ele	%	±2σ
Sn	0.018	0.003
Mo	0.018	0.005
Bi	0.006	0.002
Pb	0.056	0.005
Zn	0.733	0.038
Cu	2.28	0.09
Ni	1.96	0.08
Fe	0.923	0.052

**Figura c-5** Análisis químico al pistón fundido

Fuente: Elaboración propia



Ele	%	±2σ
Cu	2.28	0.09
Ni	1.96	0.08
Fe	0.923	0.052
Mn	0.305	0.037
Cr	0.111	0.034
Si	12.11	0.10
Al	81.33	0.28

**Figura c-6** Análisis químico al pistón fundido

Fuente: Elaboración propia

A continuación se puede observar el proceso del análisis metalográfico. Para esto se deben tener las probetas del pistón original y del pistón fundido del anterior ensayo.

Se comenzó con el desbaste de la probeta como se observa en la figura c-7. Se comenzó a desbastar con lija de 100, 120, 240, 380, 600, y finalmente con 1200 de granos por pulgada cuadrada.



**Figura c-7 desbaste de la probeta**

Fuente: Elaboración propia

A continuación se le da el pulido final como se observa en la figura c-8 se le agrega la pasta de diamante que se la puede ver en la figura c-9.



**Figura c-8 Pulido final**

Fuente: Elaboración propia



**Figura c-9 Pasta de diamante utilizado para el desbaste final**

Fuente: Elaboración propia

A las probetas se los ataco con el reactivo Keller como se ve en la figura c-10. Y como queda la probeta lista para ser analizada en el microscopio como se observa en la figura c-11.



**Figura c-10 Reactivo Keller utilizado para el ataque químico.**

Fuente: Elaboración propia



**Figura c-11 Probetas después del ataque químico.**

Fuente: Elaboración propia

Al final se analizó con un microscopio para realizar la metalografía como se observa en la figura c-12.



**Figura c-12 Microscopio para la metalografía**

Fuente: Elaboración propia

Para el ensayo de dureza se utilizó las probetas planas y se las colocó en el equipo, donde el indentador de bola de 1/8 de pulgada provocó unos orificios como se ve en la figura c-13.



**Figura c-13 Probetas después del ensayo de dureza.**  
Fuente: Elaboración propia

Al final se observa con el lector del equipo la dureza en HRH como se observa en la figura c-14.



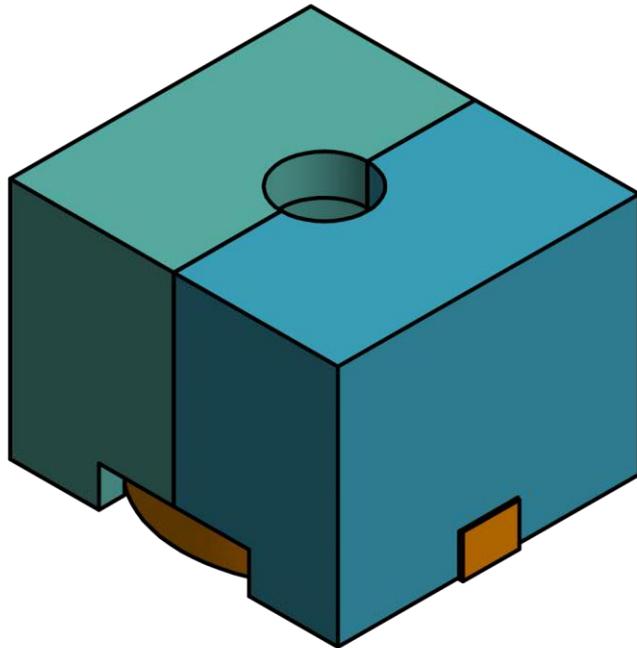
**Figura c-14 Lector de la dureza para las probetas**  
Fuente: Elaboración propia

**APÉNDICE D**  
**PLANOS DEL SISTEMA DE COLADO**

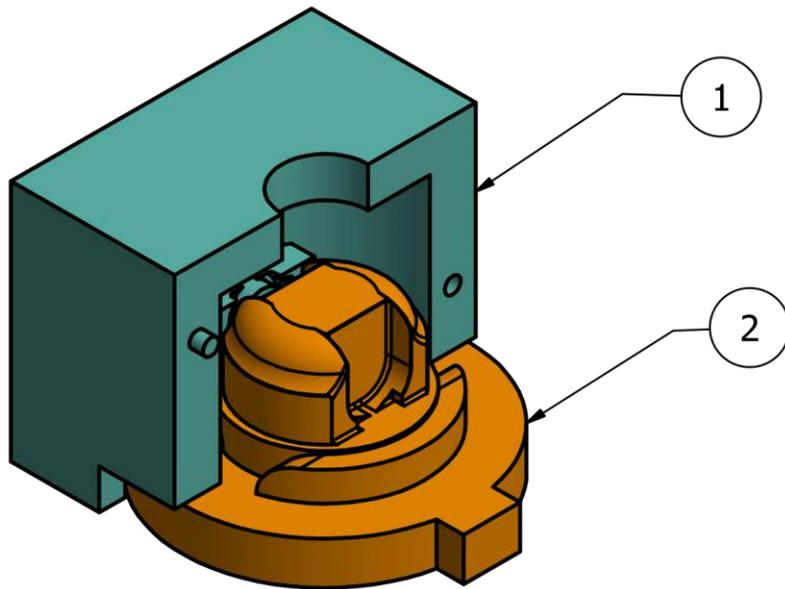
## LISTA DE PARTES

N° Parte	Cantidad	Componente	Descripción
1	2	Molde externo	Aluminio
2	1	Molde interno	Aluminio

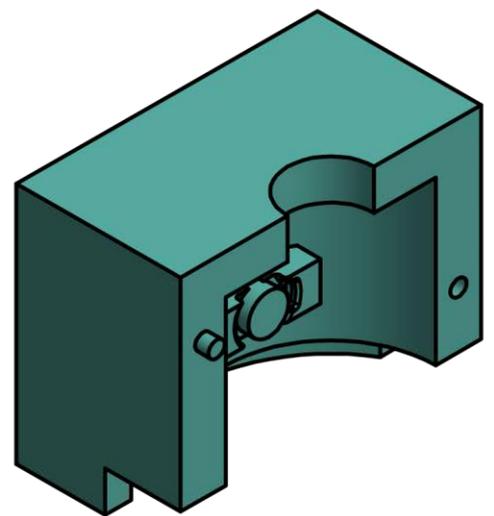
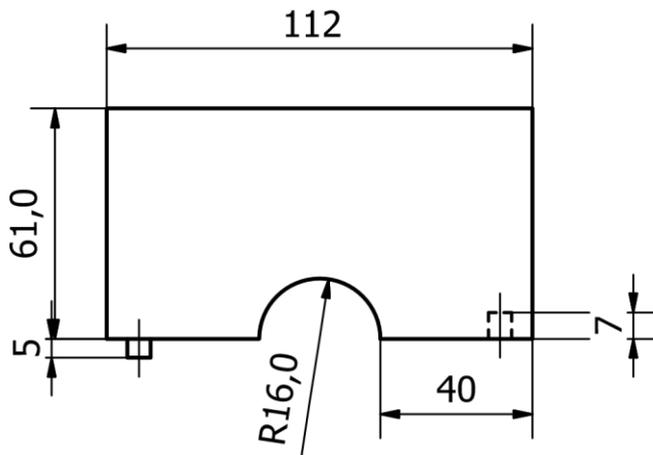
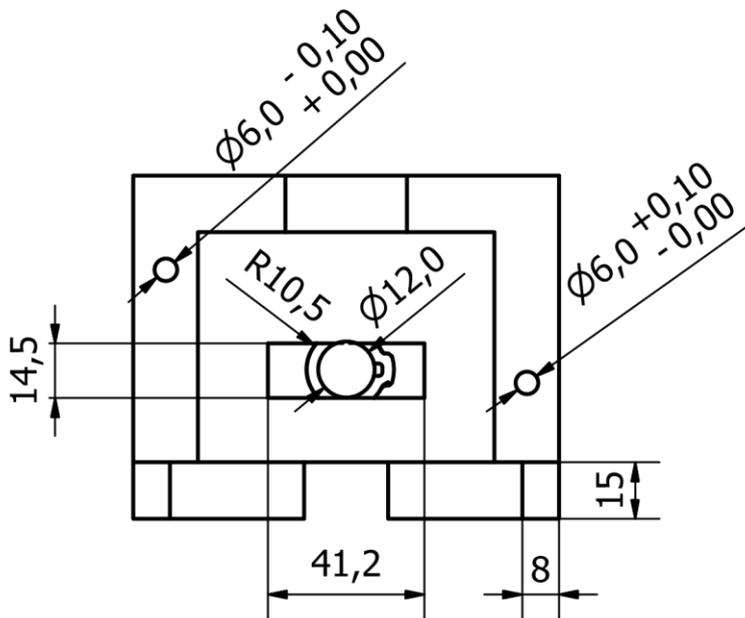
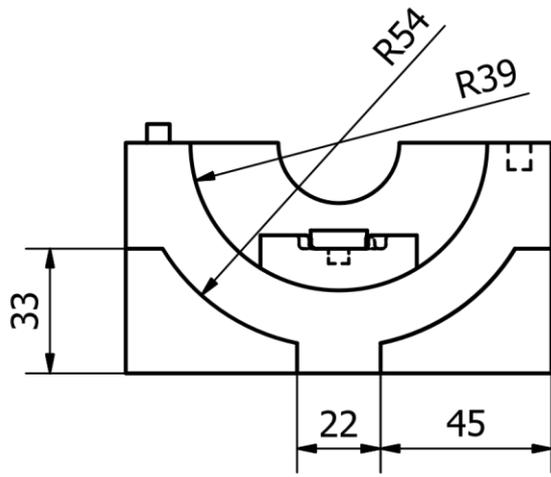
Molde metálico  
cerradas ambas  
caras



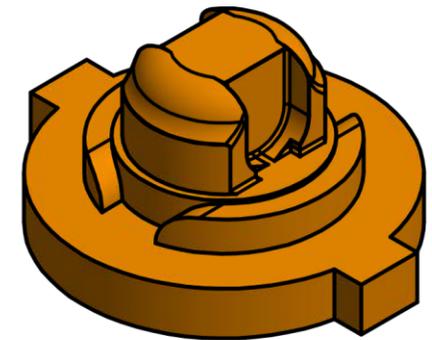
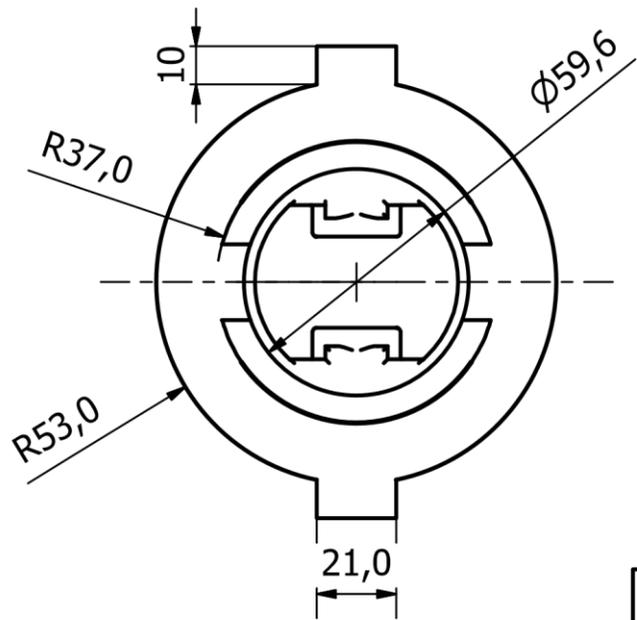
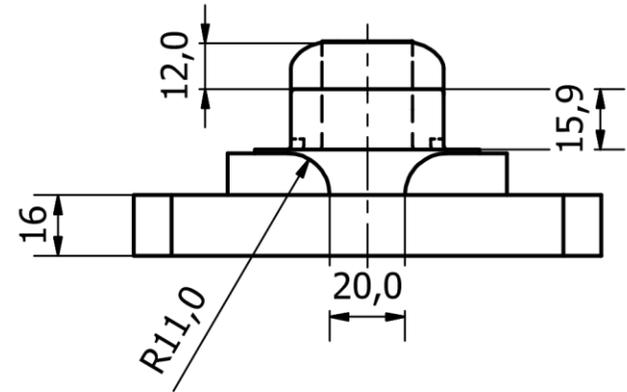
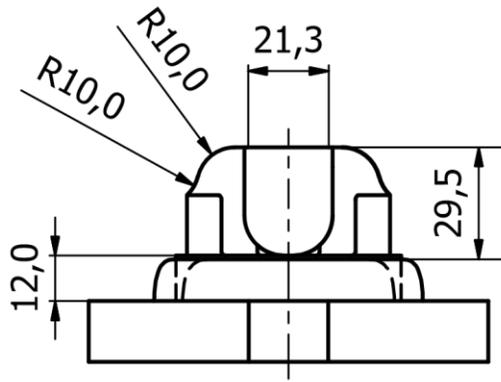
Molde metálico  
abierta una cara



Diseñado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Institución	Material/Aleación
Anchundia-Lindao	PhD. Ana Rivas	PhD. Ana Rivas	21/8/2017	ESPOL	Aluminio
Proyecto			<b>Ensamble de molde metálico</b>		
Rediseño y prototipado de un pistón de moto mediante el proceso de fundición			Parte N°	Escala	Unidades
			Ensamble	1:2	mm
			Edición	Sheet	
			1	1/9	



Diseñado por Anchundia-Lindao	Revisado por PhD. Ana Rivas	Aprobado por PhD. Ana Rivas	Fecha 21/8/2017	Institución ESPOL	Material/Aleación Aluminio
Proyecto Rediseño y prototipado de un pistón de moto mediante el proceso de fundición			<b>Molde externo</b>		
		Parte N° 1	Escala 1:2	Unidades mm	Edición 1
					Sheet 2/9

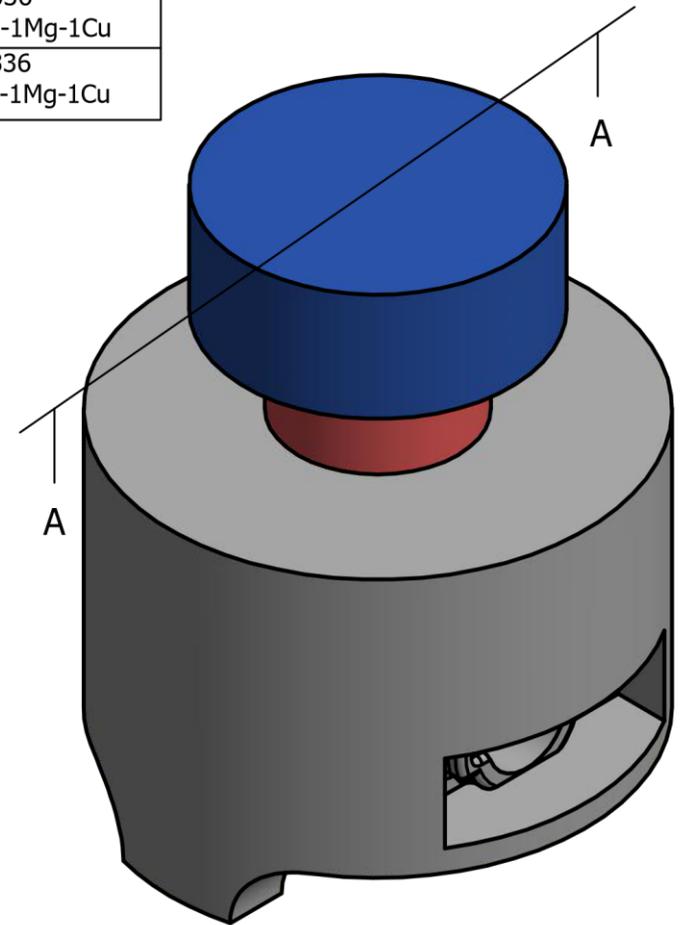
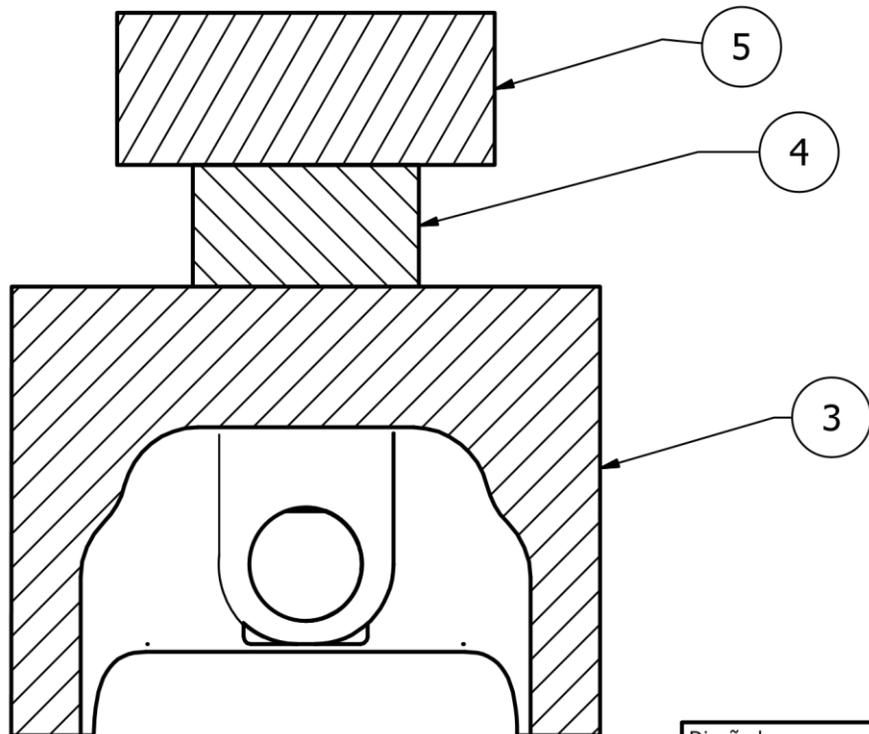


Diseñado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Institución	Material/Aleación
Anchundia-Lindao	PhD. Ana Rivas	PhD. Ana Rivas	21/8/2017	ESPOL	Aluminio
Proyecto			Molde interno		
Rediseño y prototipado de un pistón de moto mediante el proceso de fundición			Parte N°	Escala	Unidades
			2	1:2	mm
			Edición	Sheet	
			1	3/9	

# LISTA DE PARTES

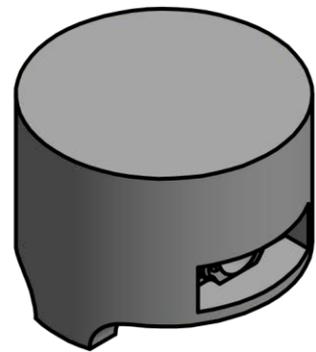
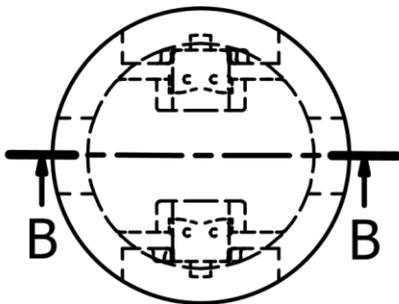
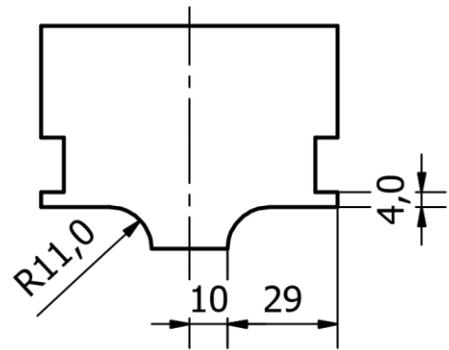
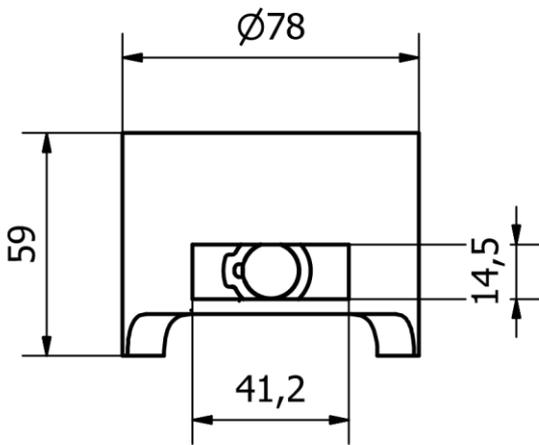
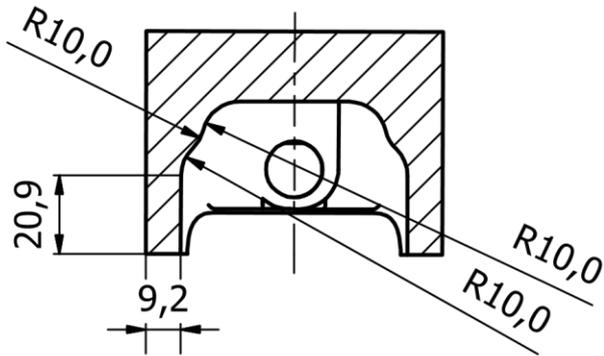
N° Parte	Cantidad	Componente	Descripción
3	1	Fundicion primaria del pistón	ASM 336 Al-12Si-2.5Ni-1Mg-1Cu
4	1	Corredero	ASM 336 Al-12Si-2.5Ni-1Mg-1Cu
5	1	Mazarota	ASM 336 Al-12Si-2.5Ni-1Mg-1Cu

A-A (1:1)

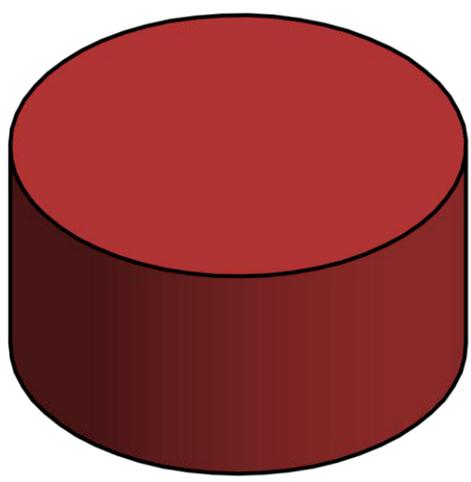
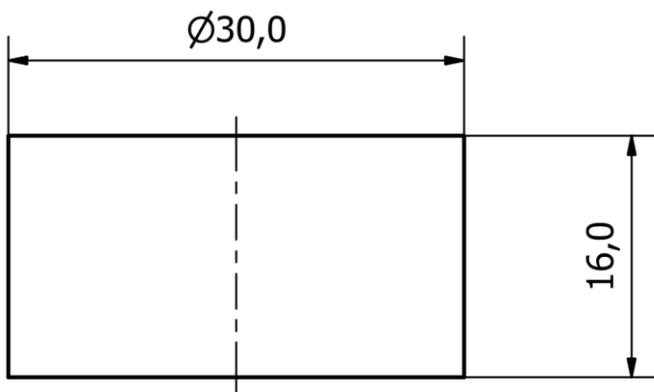


Diseñado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Institución	Material/Aleación
Anchundia-Lindao	PhD. Ana Rivas	PhD. Ana Rivas	21/8/2017	ESPOL	Aleación 336/12Si-2.5Ni-1Mg-1Cu
Proyecto			Conjunto de Fundición		
Rediseño y prototipado de un pistón de moto mediante el proceso de fundición			Parte N°	Escala	Edición
			Ensamble	1:1	1
					Sheet
					4/9

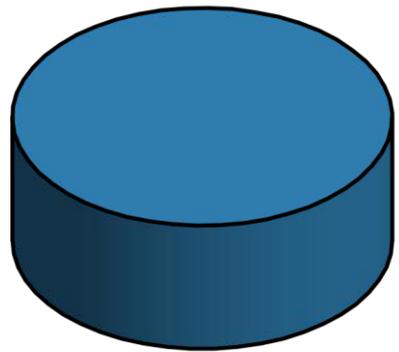
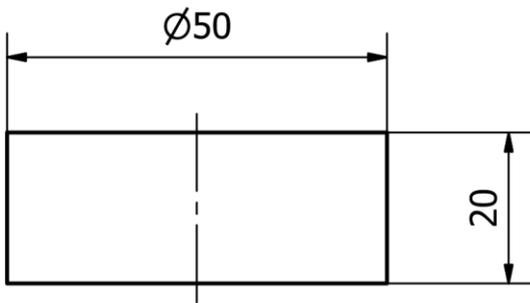
B-B ( 1 : 2 )



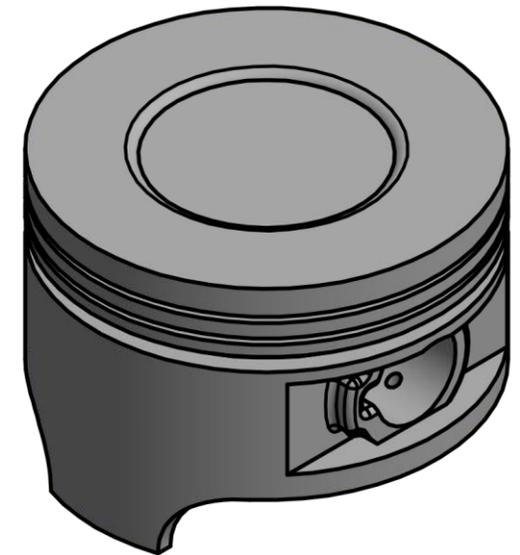
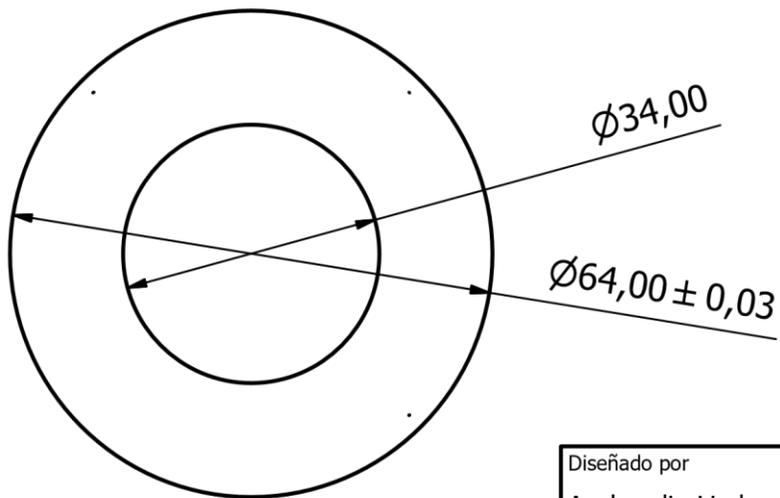
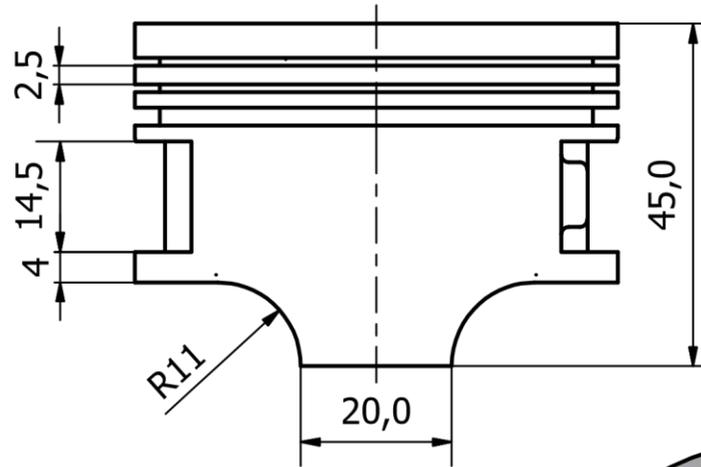
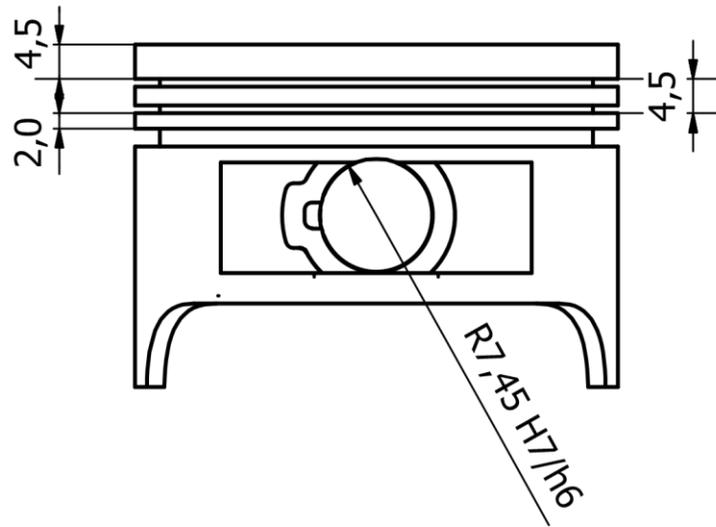
Diseñado por Anchundia-Lindao	Revisado por PhD. Ana Rivas	Aprobado por PhD. Ana Rivas	Fecha 21/8/2017	Institución ESPOL	Material/Aleación Aleación 336/12Si-2.5Ni-1Mg-1Cu
Proyecto Rediseño y prototipado de un pistón de moto mediante el proceso de fundición			<b>Fundición primaria del pistón</b>		
		Parte N° 3	Escala 1:2	Unidades mm	Edition 1
					Sheet 5/9



Diseñado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Institución	Material/Aleación	
Anchundia-Lindao	PhD. Ana Rivas	PhD. Ana Rivas	21/8/2017	ESPOL	Aleación 336/12Si-2.5Ni-1Mg-1Cu	
Proyecto			<b>Corredero</b>			
Rediseño y prototipado de un pistón de moto mediante el proceso de fundición						
		Parte N°	Escala	Unidades	Edition	Sheet
		4	2:1	mm	1	6/9

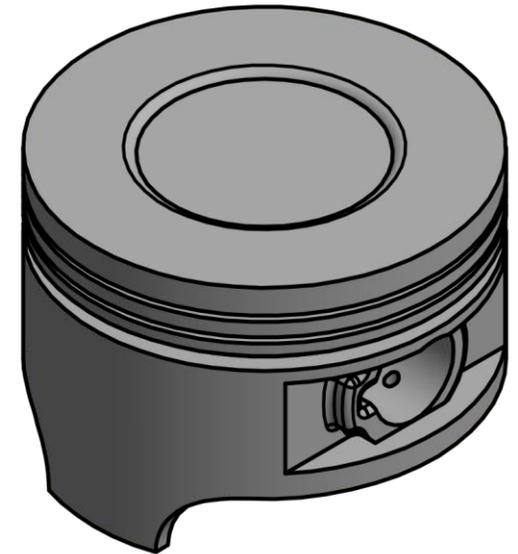
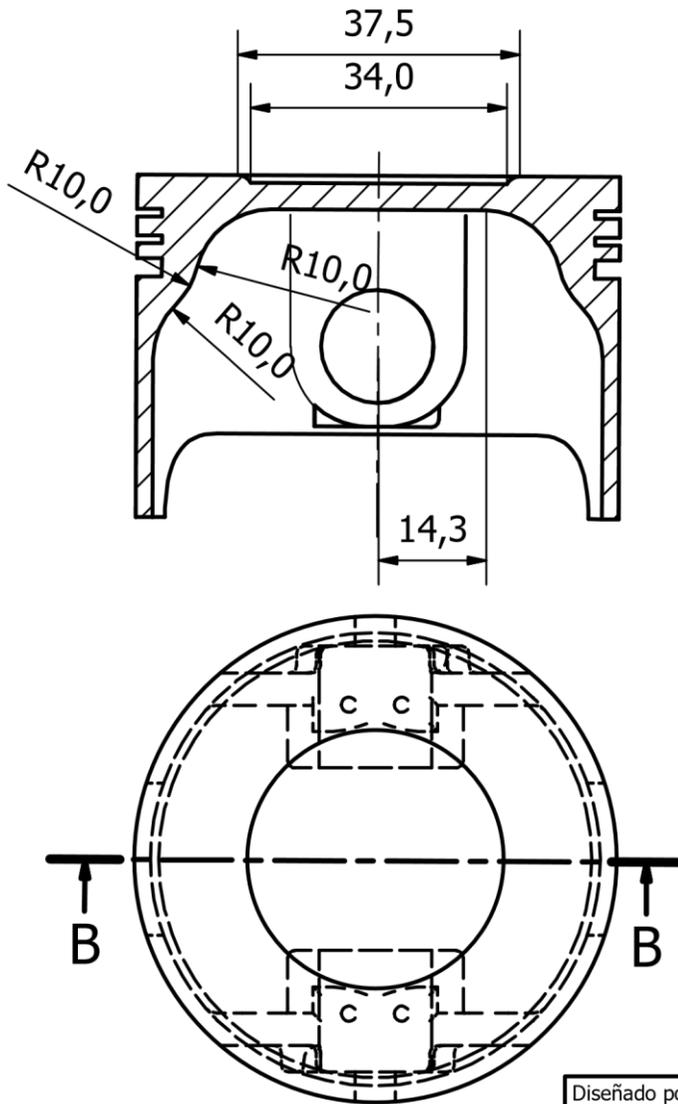


Diseñado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Institución	Material/Aleación	
Anchundia-Lindao	PhD. Ana Rivas	PhD. Ana Rivas	21/8/2017	ESPOL	Aleación 336/12Si-2.5Ni-1Mg-1Cu	
Proyecto			<b>Mazarota</b>			
Rediseño y prototipado de un pistón de moto mediante el proceso de fundición						
		Parte N°	Escala	Unidades	Edition	Sheet
		5	1:1	mm	1	7/9



Diseñado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Institución	Material/Aleación
Anchundia-Lindao	PhD. Ana Rivas	PhD. Ana Rivas	21/8/2017	ESPOL	Aleación 336/12Si-2.5Ni-1Mg-1Cu
Proyecto			Pistón		
Rediseño y prototipado de un pistón de moto mediante el proceso de fundición			Parte N°	Escala	Edición
			6	1:1	1
					Sheet
					8/9

B-B ( 1 : 1 )



Diseñado por Anchundia-Lindao	Revisado por PhD. Ana Rivas	Aprobado por PhD. Ana Rivas	Fecha 21/8/2017	Institución ESPOL	Material/Aleación Aleación 336/12Si-2.5Ni-1Mg-1Cu
Proyecto Rediseño y prototipado de un pistón de moto mediante el proceso de fundición			Pistón (Vista de corte)		
		Parte N° 6	Escala 1:1	Edición 1	Sheet 9/9