



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DESARROLLO DE UN PROCESO DE OBTENCIÓN DE UN
PISTÓN DE 100 CC DE 2 TIEMPOS MEDIANTE INGENIERÍA
INVERSA”**

Trabajo de titulación:

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR: JOSÉ LUIS CAYANCELA ACHOTE

DIRECTOR: Ing. EDISON PATRICIO ABARCA PÉREZ

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, José Luis Cayancela Achote

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de los Autores.

Yo, José Luis Cayancela Achote, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

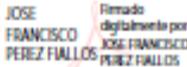
Riobamba, 02 de febrero de 2021



José Luis Cayancela Achote
050423606-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo Proyecto técnico “**DESARROLLO DE UN PROCESO DE OBTENCIÓN DE UN PISTÓN DE 100 CC DE 2 TIEMPOS MEDIANTE INGENIERÍA**”, realizado por el señor: **JOSÉ LUIS CAYANCELA ACHOTE**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____ A digital signature stamp for José Francisco Pérez Fiallos, featuring a QR code and the text "Firmado digitalmente por JOSE FRANCISCO PEREZ FIALLOS PEREZ FIALLOS".	2021-02-02
Ing. Edison Patricio Abarca Pérez DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 _____ A digital signature stamp for Edison Patricio Abarca Pérez, featuring a QR code and the text "Firmado digitalmente por EDISON PATRICIO ABARCA PEREZ".	2021-02-02
Ing. Víctor David Bravo Morocho MIEMBRO DE TRIBUNAL	 _____ A digital signature stamp for Víctor David Bravo Morocho, featuring a QR code and the text "Firmado digitalmente por VICTOR DAVID BRAVO MOROCHO".	2021-02-02

DEDICATORIA

El trabajo de titulación está dedicado de manera especial para mis padres José y Elena quienes me apoyaron incondicionalmente y guiarme para una formación profesional.

A mi hermana Helen quien ha estado dando alientos de fuerza todo el tiempo en el periodo estudiantil.

A mi tío Alonso quien ha estado inculcando cada día a ser un profesional.

A Narcisa que me ha brindado su apoyo incondicional durante este proceso de formación.

A mis amigos, Lizandro y Geovanny que han estado conmigo en todo momento, alentando en culminar mi educación y ser mejor persona cada día.

José

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera sincera a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la facultad de Mecánica, y la familia Automotriz, maestros y compañeros que me han apoyado para poder graduarme como un profesional.

A mi tutor y demás compañeros por otorgarme los conocimientos necesarios para el desarrollo de la presente tesis.

José

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
INDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Planteamiento del Problema.....	4
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	6
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	6

CAPÍTULO II

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	7
2.1 Pistón.....	7
2.1.1 <i>Materiales de un pistón</i>	7
2.2 Aleaciones de aluminio.....	7
2.2.1 <i>Aleaciones de Aluminio para Forja</i>	8
2.2.2 <i>Aleaciones de Aluminio para Fundición</i>	9
2.2.3 <i>Sistema de designación de temple</i>	11
2.2.4 <i>Aleaciones de Aluminio – Silicio</i>	12
2.2.4.1 <i>Diagrama de fase de Al-Si</i>	12
2.2.4.2 <i>Aleaciones hipoeutécticas</i>	13
2.2.4.3 <i>Aleaciones eutécticas</i>	14
2.2.4.4 <i>Aleaciones hipereutécticas</i>	14
2.2.4.5 <i>Microestructura del sistema Al-Si</i>	14
2.3 Aleación liviana de Aluminio A356.....	18

2.3.1	<i>Composición de la aleación A 356</i>	18
2.3.2	<i>Propiedades de la aleación A 356</i>	19
2.4	Diagramas de fase Al-Fe y Al-Fe-Si	20
2.4.1	<i>Diagrama de Al-Fe</i>	20
2.4.2	<i>Diagrama de Al-Fe-Si</i>	21
2.5	Fase intermetálicas de hierro	22
2.6	La fase β en las aleaciones Al-S	25
2.6.1	<i>Parámetros y condiciones de formación de la fase</i>	27
2.6.2	<i>Nucleación y crecimiento de los intermetálicos β</i>	28
2.6.3	<i>Influencia de la fase β en la porosidad</i>	29
2.6.4	<i>Influencia de la fase β en las propiedades mecánicas</i>	31

CAPÍTULO III

3	MARCO METODOLÓGICO	32
3.1	Diseño CAD	32
3.1.1	<i>Herramientas CAD para el modelado</i>	32
3.1.1.1	<i>Autocad</i>	32
3.1.1.2	<i>Catia</i>	33
3.1.1.3	<i>Solidworks</i>	33
3.1.1.4	<i>Nx de siemens</i>	33
3.1.2	Prototipo del pistón mediante Impresión 3D	34
3.1.2.1	<i>Materiales de impresión</i>	34
3.1.2.2	<i>Impresora 3D - ANET A8</i>	35
3.2	Obtención de Materiales	37
3.2.1	<i>Aluminio – Silicio</i>	37
3.3	Proceso de Fundición	38
3.3.1	Preparación de la Arena	38
3.3.1.1	<i>Arena verde</i>	38
3.3.1.2	<i>Arena seca</i>	38
3.3.2	Moldes de Arena	38
3.3.3	Colada	39
3.3.3.1	<i>Los sistemas de colada</i>	40
3.3.4	Drenaje de la colada en el molde de arena	40
3.3.4.1	<i>Mazarota</i>	41
3.3.4.2	<i>Bebedero</i>	41
3.3.4.3	<i>Velocidad del metal fundido</i>	42

3.3.4.4	<i>Gasto Volumétrico</i>	42
3.3.4.5	<i>Tiempo de llenado</i>	42
3.3.5	<i>Solidificación, enfriamiento y obtención del producto.</i>	42
3.3.5.1	<i>Tiempo de solidificación</i>	43
3.4	Ensayos	43
3.4.1	<i>Ensayo de micrografía</i>	43
3.4.1.1	<i>Preparación de la muestra</i>	43
3.4.1.2	<i>Preparación de la superficie de la muestra</i>	44
3.4.1.3	<i>Observación micrográfica</i>	45
3.4.2	<i>Espectrometría</i>	45
3.4.3	<i>Ensayo de Dureza</i>	46
3.4.3.1	<i>Dureza</i>	46
3.4.3.2	<i>Equipos de medición</i>	46
3.4.3.3	<i>Ensayo de Dureza Brinell</i>	47
3.4.3.4	<i>Procedimiento del ensayo</i>	48
3.4.3.5	<i>Lectura de huella en el micrómetro</i>	49
3.4.4	<i>Ensayo de tracción</i>	49
3.4.4.1	<i>Equipo Universal de ensayo</i>	50
3.4.4.2	<i>Preparación de probetas</i>	50
3.4.4.3	<i>Procedimiento</i>	51

CAPÍTULO IV

4	RESULTADOS	52
4.1	Diseño del pistón CAD	52
4.2	Impresión 3D	52
4.3	Proceso de fundición	53
4.3.1	<i>Obtención de la prima</i>	53
4.3.2	<i>Preparación de la arena</i>	53
4.3.3	<i>Molde de arena</i>	54
4.3.4	<i>Preparación y vertido de la colada</i>	55
4.3.5	<i>Extracción del producto y mecanizado</i>	55
4.3.6	<i>Calculos aplicados durante el proceso de fundicion</i>	56
4.3.6.1	<i>Consideraciones del molde</i>	56
4.3.6.2	<i>Tiempo de solidificación</i>	56
4.3.6.3	<i>Bebedero</i>	57
4.3.6.4	<i>Otros cálculos</i>	58

4.4	Probetas de ensayos.....	58
4.5	Ensayos.....	59
4.5.1	<i>Ensayos de espectrometría.....</i>	59
4.5.1.1	<i>Pistón original.....</i>	59
4.5.1.2	<i>Pistón obtenido</i>	59
4.5.2	<i>Ensayo de dureza.....</i>	60
4.5.2.1	<i>Pistón original.....</i>	60
4.5.2.2	<i>Pistón obtenido</i>	60
4.5.3	<i>Ensayo de metalografía.....</i>	61
4.5.4	<i>Ensayo de tracción</i>	63

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Características y Rangos de Resistencia de las aleaciones de aluminio forjado.....	9
Tabla 2-2	Rangos de resistencia de algunas Aleaciones de aluminio de fundición	11
Tabla 3-2:	Sistema de designación de temple	11
Tabla 4-2:	Parámetros generales de la red cristalina de AL y Si.	15
Tabla 5-2:	Límites de composición química de la aleación A 356	19
Tabla 6-2:	Propiedades físicas y térmicas de la aleación A 356	19
Tabla 7-2:	Propiedades mecánicas de la aleación A 356 y 356.	20
Tabla 8-2:	Estructura de las fases del diagrama binario Al-Fe.	21
Tabla 9-2:	Principales fases intermetálicas del hierro en Aleaciones de aluminio.	24
Tabla 10-2:	Estructura y composición experimental de las principales fases intermetálicas en la aleación A 356 (% en peso).....	25
Tabla 1-3:	Características del ABS	34
Tabla 2-3:	Características del PLA	35
Tabla 3-3:	Características de la impresora Anet A8	36
Tabla 4-3:	Especificaciones Técnicas del Durómetro.....	47
Tabla 5-3:	Parámetros del Equipo Universal	50
Tabla 6-3:	Parámetros del Equipo Universal	50
Tabla 7-3:	Designación de dimensiones para la probeta.....	50
Tabla 1-4:	Durezas obtenidas del pistón original.....	60
Tabla 2-4:	Durezas obtenidas del pistón obtenido	60
Tabla 3-4:	Resumen general de los resultados obtenidos	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: (a) Estructura cristalina (FCC), (b) Estructura Cristalina de Silicio.....	15
Figura 2-2: Aleaciones Al-Si hipoeutécticas, (a) silicio eutéctico nodular modificado a 150X, (b) silicio eutéctico acicular	16
Figura 3-2: Silicio primario en aleaciones hipoeutécticas Al-10 % Si, (a) silicio primario en 2D, (b) silicio primario en 3D.	16
Figura 4-2: Silicio primario formado por vibración ultrasónica.....	17
Figura 5-2: Microestructura de aleación eutéctica de Al-Si a 400X.	17
Figura 6-2: Micrografía de aleaciones hipereutécticas de Al-Si, (a) forma de estrella, (b) forma poligonal	18
Figura 7-2: Principales fases intermetálicas en las aleaciones Al-Si-Mg, (a) fase β , (b) fase α , (c) formación de la fase π a partir de la fase β , (d) fase π	24
Figura 8-2: Fase β (a) Intermetálicos β (C), matriz de aluminio(A) y silicio acicular (B) en una aleación Al-11, 6Si-037Mg, (b) fase β en aleación A 413 con 1.1% Fe, (c) fase β de aleación 356 atacada con hidróxido de sodio, (d) fase β aleaciones hipoeutécticas.26	26
Figura 9-2: Reconstrucción 3D de un grupo de plaquetas $\beta - Al_5FeSi$ mostrada en tres orientaciones.....	26
Figura 10-2: Volumen de muestra completamente reconstruido donde aparecen 4 plaquetas $\beta - Al_5FeSi$	27
Figura 11-2. Formación de intermetálicos de hierro, (a) nucleación de fase β a partir de $MgAl_2O_4$, (b y c) plaquetas β que tiene un defecto de grieta.....	29
Figura 12-2. Porosidad por contracción generada en las cercanías de la fase intermetálica β ..	30
Figura 1-3: Modelado de pistón en software SolidWorks	33
Figura 2-3: Impresora 3D ANET – A8.....	36
Figura 3-3: Pistón impreso en PLA	37
Figura 4-3: Pistón de dos tiempos	37
Figura 5-3: Molde de arena	39
Figura 6-3: Dimensiones del molde de arena	39
Figura 7-3: Pistones cortadas en secciones pequeñas.....	40
Figura 8-3: Molde con la colada vertida.....	41
Figura 9-3: Esquema de la muestra para ensayos de espectrometría y dureza.....	44
Figura 10-3: Papel de lija para desbaste	44
Figura 11-3: Espectrómetro de emisión óptica por chispa.....	46
Figura 12-3: La esfera penetra dejando una marca.....	48
Figura 13-3: Espacios entre bordes de las huellas	49

Figura 14-3: Configuración de la probeta para el ensayo de tracción	51
Figura 1-4: Software SOLIDWORKS.....	52
Figura 2-4: Pistón impreso con tipo de material PLA	53
Figura 3-4: Pistones reciclados y seccionados	53
Figura 4-4: Preparación de la arena.....	54
Figura 5-4: Elaboración del molde de arena.....	54
Figura 6-4: Parte superior del molde	55
Figura 7-4: Preparación de la colada y su vertido en el molde de arena	55
Figura 8-4: Extracción del pistón fundido y mecanizado.....	56
Figura 9-4: Preparación de probetas para los ensayos correspondientes.....	58
Figura 10-4: Microestructura del aluminio-silicio no modificado, 500X.....	61
Figura 11-4: Observación microscópica pistón Original – microestructura aluminio – silicio .	61
Figura 12-4: Observación microscópica pistón obtenido – microestructura aluminio – silicio	62
Figura 13-4: Calculo de fases en función de áreas	63

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Diagrama de fase del sistema binario Al-Si	13
Gráfico 2-2: Diagrama binario Al-Fe.....	20
Gráfico 3-2: Sección de un diagrama triangular de Al-Fe-Si	21
Gráfico 4-2: Sección vertical de un diagrama Al-Si-Fe para un contenido de 0,8%Si.....	22
Gráfico 1-4: Resultado de espectrometría del pistón original.....	59
Gráfico 2-4: Resultado de espectrometría del pistón obtenido	59
Gráfico 3-4: Ensayo de tracción de la probeta del material obtenido	63

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ASTM E8/E8M “MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA PRUEBAS DE TENSIÓN DE MATERIALES METÁLICOS

ANEXO B: ASTM B26/B26M “MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA

ANEXO C: ASTM E415 - 17 “MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL ANÁLISIS DE ACERO AL CARBONO Y DE BAJA ALEACIÓN MEDIANTE ESPECTROMETRÍA DE EMISIÓN ATÓMICA DE CHISPA”

ANEXO D: ASTM E10 - 17 “MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DUREZA BRINELL DE MATERIALES METÁLICOS”

ANEXO E: FOTOGRAFÍAS

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue obtener un proceso de obtención de un pistón de 100 CC de dos tiempos aplicando la ingeniería inversa a partir de un pistón comercial mediante el empleo de diferentes ensayos como: espectrometría, ensayo de dureza y micrografía. Para la obtención de la misma se ha elaborado a partir de pistones reciclados como fuente de materia prima, contribuyendo además con el medio ambiente al reutilizar los pistones que están fuera de servicio, por otra parte, para el proceso de fundición en molde de arena se ha basado en normas e investigaciones previas para que el ejemplar no presente anomalías tales como el exceso de porosidad, fracturas, etc., puesto que pueden influir en el producto final. Tras haber obtenido el pistón se realizó también los ensayos mencionados y además un ensayo de tracción para realizar una comparación entre el comercial y el obtenido, prevaleciendo de que en el presente estudio está basada precisamente en las aleaciones de aluminio - silicio y en las fases intermetálicas de aluminio - hierro – silicio, además de conocer también cómo afecta en sus propiedades mecánicas la variación de cada elemento químico que conforma el pistón y adicional aportar con datos como el esfuerzo último de tracción y el límite de fluencia, con los cuales se puede tener un mayor enfoque del producto obtenido. De esta manera se concluye que durante la fundición es importante considerar que el silicio por acción de la temperatura disminuye su porcentaje en masa, factor importante ya que como elemento químico es difícil de encontrar en el mercado, este efecto sufre la mayoría de elementos dando como resultado variación en las propiedades mecánicas. Se recomienda realizar estudios adicionales con los elementos excluidos en este estudio para conocer qué características aporta al pistón al variar su contenido químico.

Palabras clave: <PISTÓN>, <PROPIEDADES MECÁNICAS>, <INGENIERÍA INVERSA>, <FUNDICIÓN>, <ALEACIONES>.



1419-DBRA-UTP-2021

SUMMARY

This study aims to obtain a process for obtaining a two-stroke 100 CC piston applying reverse engineering from a commercial piston by using different tests such as spectrometry, hardness test, and micrography. Recycled pistons were used as raw material to produce them, contributing to the environment by reusing out-of-service pistons. On the other hand, the casting process in the sand mold has been based on previous standards and research. So that the specimen does not present anomalies such as excess porosity, fractures, etc. Since they can influence the final product. After gathering the piston, the aforementioned tests were also carried out, and a tensile test was elaborated to compare the commercial and the obtained. Prevailing that this study is based precisely on the aluminum-silicon alloys and the intermetallic phases of aluminum - iron - silicon. Furthermore, knowing how the variation of each chemical element affects the mechanical properties that make up the piston. Additionally, it provides data such as the ultimate traction effort and the yield point, and it is possible having a greater focus on the obtained product with them. It is concluded that during the casting process it is important to consider that silicon, due to the action of temperature, decreases its percentage by mass. This is an important factor since, as a chemical element, it is difficult to find it in the market. This effect is suffered by most elements resulting in variation in mechanical properties. It is recommended to elaborate additional studies with the excluded elements in this study to know which characteristics it will bring to the piston by varying its chemical content.

Keywords: <PISTON>, <MECHANICAL PROPERTIES>, <REVERSE ENGINEERING>, <CAST IRON>, <ALLOYING>.



Firmado electrónicamente por:
PATRICIA PILAR
MOYOTA AMAGUAYA

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la falta de abastecimientos de repuestos para motores de dos tiempos ha incrementado, consecuencia por lo cual muchos motores han quedado fuera de funcionamiento, razón por la cual el presente trabajo se enfoca a la manufactura en la industria automotriz dado que las aleaciones de aluminio se han convertido en un material muy empleado hoy en día, por las características que esta presta, la fácil adquisición de la materia prima y sobre todo el costo accesible para las industrias quienes se dedican a la manufactura de piezas automotrices, por lo también se pretende contribuir con el medio ambiente, mediante el proceso de reciclado de pistones viejos y su posterior reutilización generando materia prima reciclada como fuente de suministro para la obtención del nuevo pistón basado en la aleación de aluminio y silicio, además se emplea una ingeniería inversa a un pistón comercial para conocer los elementos químicos presentes en la aleación mediante el empleo de diferentes ensayos (espectrometría, metalografía y dureza), que permita en lo posterior realizar una comparación entre el comercial y el obtenido.

Por otra parte, las consideraciones durante el proceso de manufactura, el tratamiento de la arena desde el inicio de los tiempos ha sido un factor importante para evitar defectos en el proceso de fundición, tales como la porosidad, cavitación, fracturas, acabado superficial entre los principales, siendo de interés conocer las propiedades correctas que esta debe tener al momento de realizar el proceso de fundición, y a su vez, está relacionado directamente con las condiciones iniciales que alcanza la colada antes del vertido, un parámetro esencial, es la temperatura a la cual ha sido elevada para obtener la aleación en fase líquida llegando alcanzar temperaturas superiores a los 800 °C, mismo que implica que el molde de arena soporte altas temperaturas sin llegar a refractar y la superficie adyacente a la cavidad no se desmorone.

Considerando de que el estudio de las aleaciones es muy amplio, se ha dado prioridad al comportamiento del aluminio y silicio en una fundición, ya que es importante conocer que propiedades aporta en la manufactura, sin embargo, es muy común la presencia de fases intermetálicas Al – Fe – Si tras haber elaborado el ejemplar, mismas que persiguen un fin común en la industria automotriz que es el de obtener un producto cuyas características sean de alta resistencia y el menor peso posible, todas las características se puede cuantificar mediante los ensayos previos mencionados, dando como resultado un ejemplar funcional, sin embargo, se considera como un modelo prototipo a la cual en futuras investigaciones puedan partir con los datos obtenidos a lo largo del desarrollo del presente trabajo.

Adicional se ha realizado un ensayo de tracción para determinar datos como el límite de fluencia y el esfuerzo último de tracción, mismos que sirven como referencia para conocer mediante modelos matemáticos la vida útil que esta podría tener durante el proceso de funcionamiento, finalmente este trabajo es un aporte para el grupo de investigación **xxx** de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

En diferentes puntos de venta de stock de partes de recambio para motocicletas, en el Ecuador desde hace algunos años atrás, se ha dejado de abastecer de algunos elementos, entre ellos se tiene a los pistones para motores de dos tiempos, esto en vista de que la mayor parte de atención se ha centrado en importar elementos de mantenimiento para vehículos en general con constan de motores de cuatro tiempos. Por tanto, en el Ecuador se registra una gran demanda de repuestos para motores de dos tiempos, con la finalidad de prolongar la vida útil del mismo, tomando en cuenta los límites permisibles de contaminación.

La producción masiva de pistones se halla en países tales como: Alemania, Argentina, España, Turquía, Gran Bretaña, Estados Unidos, Brasil, Japón, China e India, siendo estos los pioneros que abastecen el stock de recambio tanto a nivel mundial como en Latinoamérica (MAHLE Metal Leve S.A. 2020).

En consecuencia, Ecuador es uno de los países con más importaciones de pistones de dos tiempos para motores. El pistón es el elemento móvil principal en el funcionamiento de un motor de combustión interna, se desgasta característicamente reduciendo el diámetro de su perfil debido a la fricción producida, de tal forma que aumentando la holgura en el alojamiento de los anillos; y tras haber cumplido la vida útil, se ve en la obligación de sustituirlo por un repuesto con características similares, garantizando de esta manera prolongar la vida útil de dicho motor, por lo tanto, el pistón se torna en un elemento de recambio frecuente (Crouse 1992).

Toda importación está sujeta a su respectivo valor arancelario en función del número de cupos permitida en el Ecuador, siendo a la vez analizado y distribuido de tal manera que en Ecuador se prioriza las importaciones de autopartes para vehículos, existiendo menor interés por los pistones de dos tiempos empleados en motores de motocicletas (COMEX 2013).

Por tal motivo se obtendrá un proceso de obtención de pistones de dos tiempos para motores de 100 CC siendo escogido este modelo para un estudio por ser el más comercial en el medio y además contribuir en el proyecto de investigación “Desarrollo de un prototipo de motor de dos tiempos mediante la integración de las herramientas CAD-CAM-CAE”, teniendo en cuenta las

características necesarias para que el mismo sea un elemento de recambio óptimo y garantizar la funcionalidad de este elemento en un motor.

1.2 Planteamiento del Problema

En Ecuador se comercializa como medio de transporte diferentes tipos de modelos de motocicleta, siendo de interés para el campo automotriz mantener funcional dicha máquina, por lo tanto, el pistón para motores de dos tiempos a nivel nacional se halla en una etapa de escases, puesto que actualmente en nuestro medio las importaciones se han centrado mayoritariamente en otras áreas como autopartes para vehículos e importaciones de motocicletas nuevas, conllevando a que los modelos anteriores de motocicletas queden fuera de servicio (SENAE 2020).

Este tipo de pistón ha sido muy solicitado en el mercado con el fin de mantener funcional al motor respectivo, por tanto, en el presente trabajo se pretende realizar ingeniería inversa que posibilite desarrollar el proceso de obtención de pistones para motores de dos tiempos de 100 cc, que sean equivalentes a los pistones importados, y que cumplan con los parámetros adecuados para el funcionamiento del mismo. Al implementar este estudio, se minimizará la probabilidad de que dichos motores queden obsoletos y sea un enfoque para elaborar pistones a nivel nacional con el proceso de obtención propuesto.

1.3 Justificación

En diferentes puntos de venta de stock de partes de recambio para motocicletas, en el Ecuador desde hace algunos años atrás, se ha dejado de abastecer de algunos elementos, entre ellos se tiene a los pistones para motores de dos tiempos, esto en vista de que la mayor parte de atención se ha centrado en importar elementos de mantenimiento para vehículos en general con constan de motores de cuatro tiempos. Por tanto, en el Ecuador se registra una gran demanda de repuestos para motores de dos tiempos, con la finalidad de prolongar la vida útil del mismo, tomando en cuenta los límites permisibles de contaminación.

La producción masiva de pistones se halla en países tales como: Alemania, Argentina, España, Turquía, Gran Bretaña, Estados Unidos, Brasil, Japón, China e India, siendo estos los pioneros que abastecen el stock de recambio tanto a nivel mundial como en Latinoamérica (MAHLE Metal Leve S.A., 2020).

En consecuencia, Ecuador es uno de los países con más importaciones de pistones de dos tiempos para motores. El pistón es el elemento móvil principal en el funcionamiento de un motor de combustión interna, se desgasta característicamente reduciendo el diámetro de su perfil debido a

la fricción producida, de tal forma que aumentando la holgura en el alojamiento de los anillos; y tras haber cumplido la vida útil, se ve en la obligación de sustituirlo por un repuesto con características similares, garantizando de esta manera prolongar la vida útil de dicho motor, por lo tanto, el pistón se torna en un elemento de recambio frecuente (Crouse, 1992).

Toda importación está sujeta a su respectivo valor arancelario en función del número de cupos permitida en el Ecuador, siendo a la vez analizado y distribuido de tal manera que en Ecuador se prioriza las importaciones de autopartes para vehículos, existiendo menor interés por los pistones de dos tiempos empleados en motores de motocicletas (COMEX, 2013).

Por tal motivo se obtendrá un proceso de obtención de pistones de dos tiempos para motores de 100 CC siendo escogido este modelo para un estudio por ser el más comercial en el medio y además contribuir en el proyecto de investigación “Desarrollo de un prototipo de motor de dos tiempos mediante la integración de las herramientas CAD-CAM-CAE”, teniendo en cuenta las características necesarias para que el mismo sea un elemento de recambio óptimo y garantizar la funcionalidad de este elemento en un motor.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Desarrollar un proceso de obtención de un pistón de 100 cc de 2 tiempos mediante ingeniería inversa.

1.4.2 Objetivos específicos

- Modelar el pistón de dos tiempos de 100 cc comercial mediante un software CAD, que permita posteriormente generar mediante impresión 3D, el modelo físico a utilizarse en la fundición en arena del nuevo pistón.
- Desarrollar ingeniería inversa a un pistón comercial de 100 cc de dos tiempos, a través de ensayos de composición química (espectrometría), ensayo de dureza, ensayo de micrografía, de tal forma que permita determinar la aleación, propiedades mecánicas y tratamiento térmico del material a utilizarse en la manufactura mediante fundición en arena del nuevo pistón.
- Obtener el nuevo pistón mediante fundición en arena para realizar pruebas de funcionamiento y ensayos.
- Caracterizar el pistón nuevo obtenido, a través de ensayos de composición química (espectrometría), ensayo de dureza, ensayo de tracción, ensayo de micrografía, de tal forma que admita un análisis comparativo con los datos alcanzados en el pistón comercial.
- Determinar la factibilidad de producción de pistones de dos tiempos en serie mediante una comparación costo - beneficio para el abastecimiento del stock de recambios en el mercado nacional.

CAPÍTULO II

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Pistón

El pistón es el elemento que se aloja en el cilindro de un motor de combustión interna y es aquel que se encarga de transformar la energía química en energía mecánica, acción realizada por la combustión producida (fuerza expansiva) de la mezcla aire – combustible, el pistón durante este trabajo se desliza desde el PMS al PMI, mediante la biela que está conectado por un extremo al pistón y por otra al cigüeñal, se encarga de cumplir su función (Bohneret et al., 1985; citado en Escudero 2011).

2.1.1 *Materiales de un pistón*

Generalmente los pistones están constituidos de una aleación de aluminio-silicio, con un contenido de silicio mínimo del 12%, se añaden además pequeñas cantidades de otros elementos como: cobre, hierro, cobalto, níquel, entre otros. Todos estos materiales, mediante estudios persiguen un fin común que es aligerar el producto resultante, se puede obtener ya sea mediante forja o fundición (Sanz, 2007; citado en Guarderas 2013, p. 69).

La aleación aluminio silicio es muy ligero y altamente resistente, pueden ser sometidos a diferentes tratamiento de templado posterior a la fundición para mejorar sus propiedades de dureza y resistencia al desgaste, por otra si al silicio se puede añadir hasta un 25% del valor mínimo al alear con el aluminio para aumentar las propiedades de dureza, disminuir el desgaste y disminuir la dilatación térmica ya sea en motores por argumentos de preparación, altas solicitaciones como lo es motores Diesel sobrealimentados o motores de dos tiempos como de motocicletas (Sanz, 2007; citado en Guarderas 2013, p. 69).

2.2 Aleaciones de aluminio

El aluminio es un metal no ferroso que más abunda sobre la corteza terrestre principalmente formando silicatos y en forma de óxido debido a su alta afinidad con el oxígeno, con un 8,07% de peso estimado, por otra parte también está el silicio con el 27,69 %, oxígeno con el 46,71%, Hierro con el 5,05%, Magnesio con el 2,08%, siendo estos algunos elementos químicos que conforman parte de las aleaciones más comunes con el aluminio en el campo automotriz, por ser

versátil y económicos, además presentando propiedades como: resistencia a la corrosión, relación elevada peso – resistencia, baja densidad (Polmear et al., 2017, pp. 7-9). La fabricación de pistones se puede clasificar en dos grupos que son: aleaciones de aluminio para forja o conformado (Polmear, 1997) y aleaciones de aluminio para fundición (Zolotarevsky, 2007).

2.2.1 Aleaciones de Aluminio para Forja

Los diferentes tipos de forja son elaborados a partir de lingotes, posterior a ello son enviados a un proceso de conformado mecánico para obtener productos forjados como: placas, laminas roladas, alambres, tubos y barras, el uso del aluminio en promedios generales oscila entre los 70 a 80%. (Polmear, 1997, citado en Pancho 2018)

Sistema de designación de las aleaciones

- Primer dígito corresponde al Componente (s) principal (es) de la aleación
- Segundo dígito indica las variaciones de la aleación inicial
- Tercer y cuarto dígitos muestran las variaciones de aleación individuales (el número no tiene importancia, pero es único).

La Asociación de Aluminio (Davis, 2001) lo clasifica así:

- 1xxx – Aluminio puro (99.00% o mayor), utilizada principalmente en las industrias eléctrica y química.
- 2xxx – Aleaciones de Al-Cu, se usan ampliamente en aeronaves donde se valora su alta resistencia.
- 3xxx - Aleaciones de Al-Mn, utilizado como aleaciones de uso general para aplicaciones arquitectónicas y productos diversos
- 4xxx - Aleaciones de Al-Si, utilizado en varillas de soldadura y láminas de soldadura fuerte.
- 5xxx - Aleaciones de Al-Mg, utilizado en cascos de barcos, pasarelas y otros productos expuestos a ambientes marinos.
- 6xxx - Aleaciones de Al-Mg-Si, principales elementos de aleación, comúnmente utilizados para extrusiones arquitectónicas y componentes automotores.
- 7xxx - Aleaciones de Al-Zn, utilizados en componentes estructurales de aeronaves y otras aplicaciones de alta resistencia.
- 8xxx - Aleaciones de Al + otros elementos que pueden contener cantidades apreciables de estaño, litio y / o hierro.

- 9xxx – Serie no usada

Las aleaciones 2xxx, 6xxx, 7xxx y algunas de las aleaciones 8xxx son aleaciones forjadas que constituyen aleaciones de aluminio tratables térmicamente, es decir, que son endurecidas por precipitación (Davis, 2001).

Dentro de cada una de las series de las aleaciones es importante conocer la adición y su rango de resistencia a la tracción, el cual se muestra en la tabla 1-2 (Davis, 2001).

Tabla 1-2: Características y Rangos de Resistencia de las aleaciones de aluminio forjado

Asociación de aluminios (Series)	Tipo de Aleación o composición	Método de endurecimiento	Rangos de resistencia a la tracción	
			MPa	ksi
1xxx	Al	Trabajo en frío	70–175	10–55
2xxx	Al-Cu-Mg (1–2.5% Cu)	Trat. Térmico	170–310	25–45
2xxx	Al-Cu-Mg-Si (3–6% Cu)	Trat. Térmico	380–520	55–75
3xxx	Al-Mn-Mg	Trabajo en frío	140–280	20–40
4xxx	Al-Si	Trabajo en frío	105–350	15–50
5xxx	Al-Mg (1–2.5% Mg)	Trabajo en frío (algunas con trat. Térmico)	140–280	20–40
5xxx	Al-Mg-Mn (3–6% Mg)	Trabajo en frío	280–380	40–55
6xxx	Al-Mg-Si	Trat. Térmico	150–380	22–55
7xxx	Al-Zn-Mg	Trat. Térmico	380–520	55–75
8xxx	Al-Zn-Mg-Cu	Trat. Térmico	520–620	75–90
9xxx	Al-Li-Cu-Mg	Trat. Térmico	280–560	40–80

Fuente: Davis, 2001

Realizado por: Cayancela, 2021

2.2.2 Aleaciones de Aluminio para Fundición

Este tipo de aleación comprende más del 90% de todas las fundiciones de aluminio a nivel general, pero respecto a la fabricación de piezas automotrices fundidas se estima que solo está entre el 20 al 30% en la producción usando este método para obtener estos elementos, de los productos de aluminio fabricado por este método, se mantiene hasta la fecha por su excelente capacidad de moldeo, resistencia a la fisuración y otras propiedades tecnológicas que son aplicables para casi todos los métodos de fundición. (Zolotarevsky, 2007)

El Sistema de designación de cada uno de los dígitos vienen dados según (Davis, 2001), de la siguiente manera:

- El primer dígito representa el principal componente de la aleación.
- El segundo y tercer dígito representan la designación de la aleación.
- El cuarto dígito indica la forma del producto, 0 para fundición, 1 y 2 para lingote.
- Variaciones de la composición de una aleación se representan con las letras A, B, C.

Las aleaciones para fundición se clasifican de la siguiente manera según la (Davis, 2001):

- 1xx.x Aluminio Puro (99% o más)
- 2xx.x Aleaciones de Al-Cu, principalmente usado para la construcción de aeronaves.
- 2xx.x Aleaciones de Al-Cu, principalmente usado para la construcción de aeronaves.
- 3xx.x Aleaciones de Al-Si más Cu y/o Mg, son uno de los más utilizados debido a la flexibilidad proporcionada por el alto contenido de silicio.
- 4xx.x Aleaciones de Al-Si, es principalmente usado para Piezas de fundición intrincadas, de paredes delgadas, a prueba de fugas y resistentes a la fatiga.
- 5xx.x Aleaciones de Al-Mg, adecuadas para componentes expuestos al agua de mar u otros ambientes corrosivos similares.
- 7xx.x Aleaciones de Al-Zn, usado solamente en excelentes características de acabado y maquinabilidad.
- 8xx.x Aleaciones de Al-Sn, pocos comunes y son empleados en la construcción de bujes.
- 9xxx Aleaciones de Al-Otros elementos (Fe-Sn), usados principalmente para dar ciertas características puntuales en el proceso de fundición.
- 6xx.x No asignada

Dentro de cada una de las series de las aleaciones es importante su rango de resistencia a la tracción, el cual se muestra en la tabla 2-2 (Davis, 2001).

Tabla 2-1 Rangos de resistencia de algunas Aleaciones de aluminio de fundición

Sistema de designación de aleaciones (AA)	Rangos de resistencia a la tracción	
	MPa	Ksi
Aleaciones fundidas en arena tratadas térmicamente		
Al-Cu (201-206)	353-467	51-68
Al-Cu-Ni-Mg (242)	186-221	27-32
Al-Cu-Si (295)	110-221	27-32
Al-Si-Cu (319)	186-248	27-36
Al-Si-Cu-Mg (355; 5%Si; 1,25%Cu; 0,5% Mg)	159-269	23-39
Al-Si-Mg (356; 357)	159-345	23-50
Al-Si-Cu-Mg (390; 17%Si; 4,5% Cu; 0,6%Mg)	179-246	26-40
Al-Zn (712, 713)	241	35
Aleaciones fundidas en dado no tratables térmicamente		
Al-Si (413; 443; F temple)	228-296	33-43
Al-Mg (513; 515; 518; F temple)	276-310	40-45

Fuente: Davis, 2001

Realizado por: Cayancela, 2021

2.2.3 Sistema de designación de temple

Según (Davis, 2001) el tratamiento puede ser mecánico, térmico o ambos y la designación de temple para aleaciones de forja y fundición consta de una letra mayúscula que indica su tratamiento al cual ha sido sometido el producto, seguido de un número que describe información más proceso, en la Tabla 3-2, se indica el sistema de designación de temple.

Tabla 3-2: Sistema de designación de temple

Sistema de designación AA	Especificación
F	Según lo fabricado
O	Material recocido
H	Endurecido por deformación (solo para productos forjados)
W	Solución tratada Térmicamente
T	Tratado térmicamente para producir temperamentos distintos de F, O, H (generalmente solución tratada térmicamente, templada y endurecida por precipitación)

Fuente: Davis, 2001

Realizado por: Cayancela, 2021

2.2.4 Aleaciones de Aluminio – Silicio

Las aleaciones de Aluminio – Silicio (Al – Si), se los denomina también como aleaciones binarias siendo este el más común en un 90% del total de partes producidas de aleación de aluminio por fundición, estos prestan propiedades tales como: excelente fluidez, capacidad de fundición, resistencia a la corrosión y una fácil capacidad de moldeo, de tal modo que es importante para el desarrollo en el área automotriz para la fabricación de partes como: pistones, cajas de cambio, cabezotes, bloques de motor, desalojando a las fundiciones tradicionales de hierro (Nayak & Karthik, 2001, pp. 3-5).

El incremento de silicio aumenta la dureza reduciendo la maquinabilidad, porcentaje de elongación, la expansión térmica e incrementa la resistencia última a la tracción (UTS), pero para adquirir ciertas propiedades específicas en el ámbito automotriz se suele añadir otro elemento aleante como el hierro, magnesio, cobre, manganeso entre los principales para dicho propósito, otra característica importante es la baja densidad del silicio que es (2.34 g/cm^3), este aporta la reducción al peso total de la aleación. Mediante el sistemas de designación de la Asociación de Aluminio, las aleaciones se hallan en la serie 4xxx que corresponde al caso de aleaciones de forja y en el 3xx.x para aleaciones de fundición que son el objeto de estudio del presente trabajo (Nayak & Karthik, 2001, pp. 3-5).

2.2.4.1 Diagrama de fase de Al-Si

Los diagramas de fase permiten conocer: qué fases se forman, a qué temperatura se forman las fases, las cantidades relativas de cada fase, la composición de las fases y cómo se distribuyen los elementos solutos entre las fases y cuán difícil o fácil será colocar un elemento de aleación específico en aluminio, las mismas que están descritas mediante gráficas del estado físico de una o más sustancias bajo diferentes condiciones de presión y temperatura. Estos diagramas permiten conocer: las fases que se forman a determinadas condiciones, la temperatura de formación de las fases, la cantidad relativa de cada fase, la composición de cada fase y su solubilidad a diferentes temperaturas (Sigworth, 2013, p. 1)

“El sistema aluminio-silicio es un eutéctico binario simple con solubilidad limitada de aluminio en silicio y solubilidad limitada de silicio en aluminio. Solo hay una reacción invariante en este diagrama, a saber, $L \rightarrow \alpha + \beta$ (eutéctico)” (Nayak & Karthik, 2001, p. 8)

En la gráfica 1-2 se representa el diagrama de fase del sistema Al-Si, donde se pueden destacar los siguientes puntos según :

- Para la fusión de Al y Si se encuentran a una eutéctica, con una composición de 12.6 por ciento en peso de Si y una temperatura de 577 °C.
- La solubilidad máxima es 1,65 por ciento en peso a la temperatura eutéctica, el silicio se disuelve en aluminio.

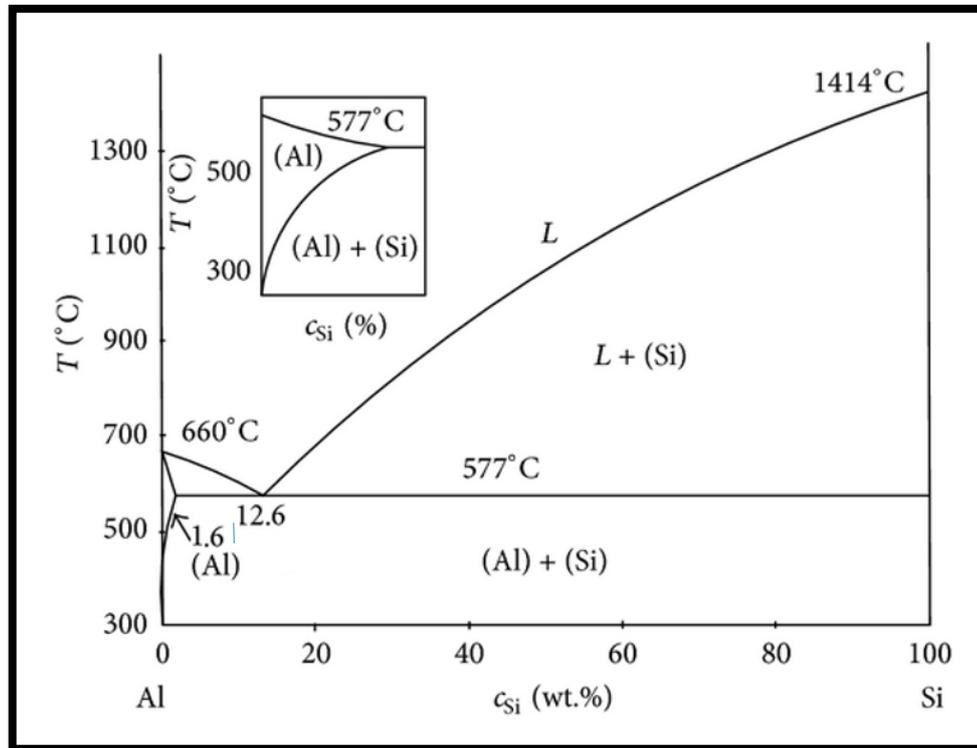


Gráfico 1-2: Diagrama de fase del sistema binario Al-Si

Fuente: Brown, 1999

Hay tres clases de aleaciones de fundición, que se agrupan en función de su contenido de silicio (Sigworth, 2013, p. 2).

2.2.4.2 Aleaciones hipoeutécticas

Estas aleaciones tienen un contenido de silicio menor que la composición eutéctica. La mayoría de las aleaciones hipoeutécticas comunes tienen entre 5% y 9-10% de silicio, estas aleaciones están diseñadas principalmente para aplicaciones de alta resistencia donde también se requiere buena ductilidad (Sigworth, 2013, p. 2).

2.2.4.3 Aleaciones eutécticas

Estas aleaciones tienen entre 10 y 13% de silicio, y consisten principalmente en Al-Si eutéctico en la estructura del molde. Tienen un rango de congelación estrecho, excelente fluidez y son fáciles de moldear. También tienen buena resistencia al desgaste y son bastante dúctiles cuando no están aleados y tratados térmicamente con alta resistencia. Este tipo de aleaciones son usadas para la fabricación de pistones, muchos de ellos cuentan con otros elementos aleantes como: Cu, Mg o Ni, que da las características específicas del pistón (Sigworth, 2013, p. 2).

2.2.4.4 Aleaciones hipereutécticas.

Estas aleaciones tienen entre 15 y 20% de silicio, por lo que su estructura de fundición está compuesta de partículas de silicio primarias incrustadas en una matriz de Al-Si eutéctico. Estos materiales tienen una resistencia al desgaste notable y se usan donde se desea esta característica: para pistones, bloques de motor sin revestimiento y piezas de compresores (Sigworth, 2013, p. 2).

2.2.4.5 Microestructura del sistema Al-Si

La matriz de la aleación representa una solución sólida de aluminio (α -Al) representa, que cristaliza en forma de dendritas durante el proceso de solidificación. La estructura cristalina pertenece a una Cúbica Centrada en Cara (FCC, Figura 1.2(a)). Una red cristalina posee características tales como: número de coordinación igual a 12, que es la cantidad de átomos vecinos a un átomo, un factor de empaquetamiento atómico de 0,74 que es uno de los más elevados, familia de planos de empaquetamiento compacto $\{111\}$ y familia de direcciones de empaquetamiento compacto $\langle 110 \rangle$. Dichas deformaciones de los metales tienen preferencia en los planos y direcciones de empaquetamiento compacto, puesto que posee una menor cantidad de energía sobre la superficie, dando como resultado la reducción del esfuerzo necesario para causar una deformación plástica de la red cristalina, esta está representada por la Ecuación 1 (Sigworth, 2013, p. 2).

$$\sigma_{max} = \left(\frac{2ET_s}{\pi b} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad

r_a : Energía libre de la superficie

b: Diámetro atómico.

Según la Figura 1.2(b), se aprecia que el silicio tiene una estructura diamante cúbica, con ocho átomos en su celda unitaria, un factor de empaquetamiento de 0,34; y una familia de planos de empaquetamiento compacto en {111} con baja energía de superficie, que puede ser planos de fractura (WarmuzeK, 2004).

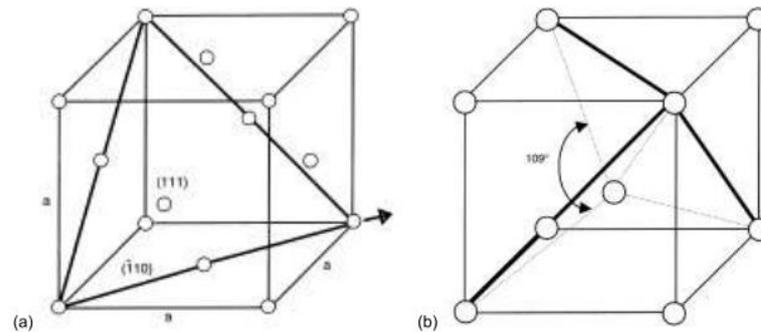


Figura 1-2: (a) Estructura cristalina (FCC), (b) Estructura Cristalina de Silicio

Fuente: WarmuzeK, 2004

En la tabla 4-2 Se resumen las características de los dos elementos del sistema eutéctico simple Al-Si.

Tabla 4-2: Parámetros generales de la red cristalina de AL y Si.

Elemento	Tipo de red	Dimensión de la celda unitaria mm	FEA	Número de coordinación	Numero s de átomos
Al	A1 (FCC)	0.403	0.743	12	4
Si	A4 (D.C.)	0.543	0.340	4	8

Fuente: WarmuzeK, 2004

Realizado por: Cayancela, 2021

Las aleaciones pueden ser: hipoeutécticas, eutécticas e hipereutécticas; de acuerdo al porcentaje en peso de silicio que poseen una microestructura. En el caso de aleaciones hipoeutécticas, la solidificación inicia con la formación de dendritas primarias ricas en aluminio, estas aumentan mientras la temperatura disminuye y se aleja de la línea *liquidus* acercándose a la línea eutéctica, una vez que la temperatura desciende por debajo de la temperatura eutéctica se da la formación del aluminio eutéctico (Dahle et al., 2005) y del silicio eutéctico, el cual tiene una forma de placas delgadas de características frágiles (Askeland et al., 2010) como se muestra de acuerdo a la Figura 2-2 (b). A pesar de ello, la forma del silicio eutéctico puede ser modificada a nodular figura 2-2.(a)

por agentes químicos como el sodio y estroncio, sobrecalentamiento y altas tasas de enfriamiento, otorgando mejores características a la aleación (CHEN et al., 2013, pp. 1645-1652).

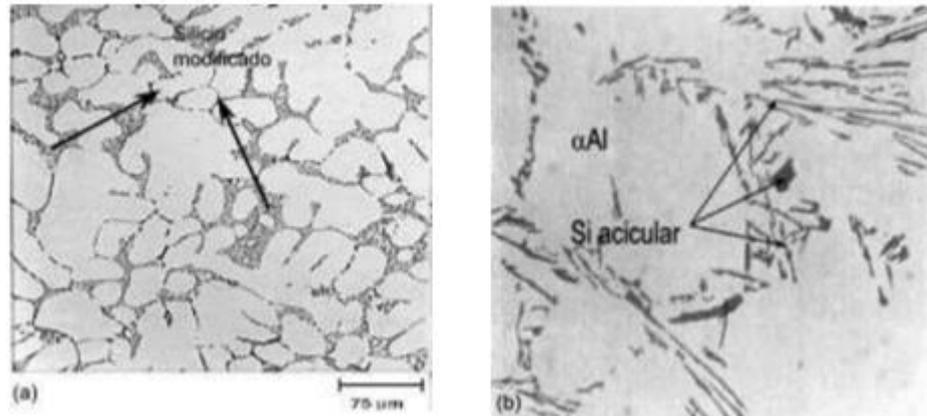


Figura 2-1: Aleaciones Al-Si hipoeutéticas, (a) silicio eutéctico nodular modificado a 150X, (b) silicio eutéctico acicular

Fuente: WarmuzeK, 2004

Por otra parte, se pueden formar cristales de silicio primario en las aleaciones hipoeutéticas de Al-Si. Dichos cristales poseen una morfología predominante de octaedros regulares o irregulares como se observa en la Figura 3-2. Esta formación de cristales va depender en gran medida de la tasa de enfriamiento, reduciéndose su cantidad y tamaño a altas tasas de enfriamiento (S. R. Wang et al., 2012, pp. 1264-1269). Mediante experimentos con una aleación A 356 han permitido demostrar que el uso de vibración ultrasónica de alta intensidad durante el proceso de solidificación, permite la formación de silicio primario en aleaciones hipoeutéticas Figura 4-2, principalmente cerca del emisor ultrasónico (Jian & Han, 2013).

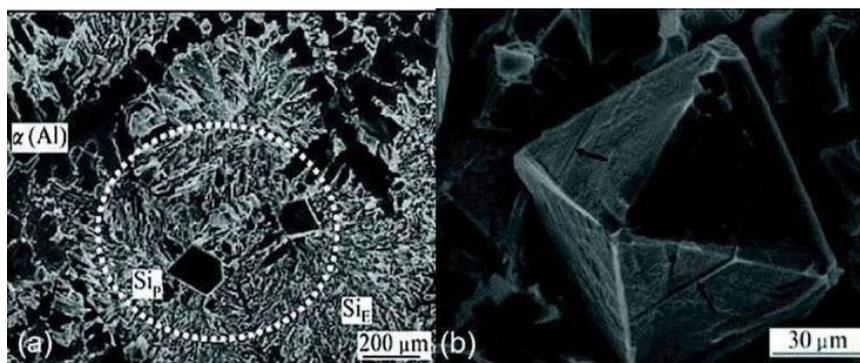


Figura 3-2: Silicio primario en aleaciones hipoeutéticas Al-10 % Si, (a) silicio primario en 2D, (b) silicio primario en 3D.

Fuente: S. R. Wang et al., 2012, pp. 1264-1269



Figura 4-2: Silicio primario formado por vibración ultrasónica

Fuente: Jian & Han, 2013

“Para la composición eutéctica (aproximadamente 12,2-12,6 % Si) no se forma aluminio primario ni silicio primario, únicamente una estructura eutéctica laminar en forma de plaquetas como se muestra en la Figura 5-2, en el caso de las aleaciones hipereutécticas, la solidificación comienza con la formación del silicio primario, este posee diferentes morfologías tales como: poligonal, hojuelas, esféricas, bloques, o forma de estrella, siendo la más común el silicio poligonal” (Askeland et al., 2010), como se muestra en la Figura 6-2.

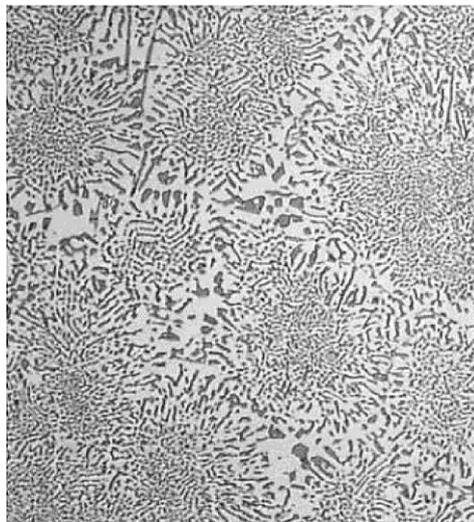


Figura 5-2: Microestructura de aleación eutéctica de Al-Si a 400X.

Fuente: WarmuzeK, 2004

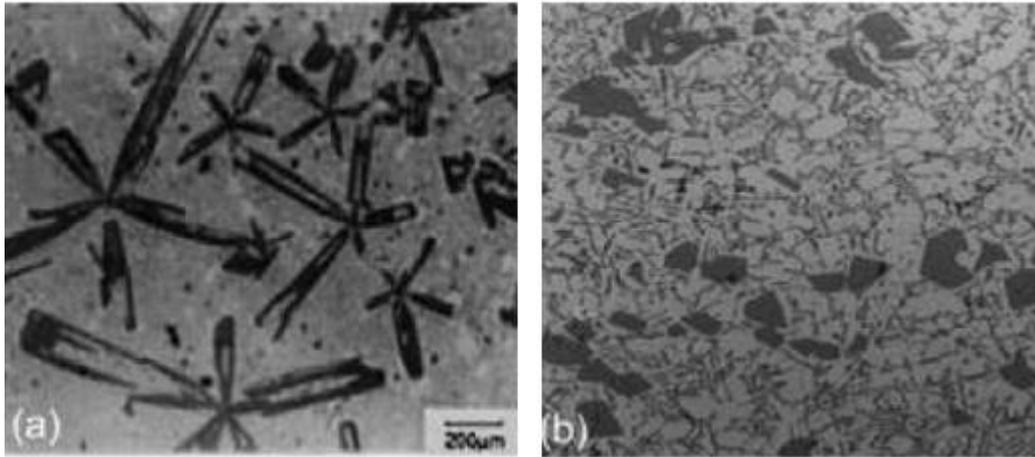


Figura 6-2: Micrografía de aleaciones hipereutéticas de Al-Si, (a) forma de estrella, (b) forma poligonal

Fuente: WarmuzeK, 2004

2.3 Aleación liviana de Aluminio A356

De acuerdo al sistema unificado de designación UNS creado por ASTM y ANSI, “*La aleación liviana de Aluminio A 356 o A13560 según, corresponde al grupo 3xx.x de las aleaciones de fundición*”, con sus principales componentes el silicio y el magnesio, que otorgan propiedades como: incremento de dureza y alta resistencia, bajo nivel de expansión térmica y alta resistencia a la corrosión. Se puede emplear en principales aplicaciones como (WarmuzeK, 2004):

- Aros de automóviles y camiones.
- Carcasas para compresores.
- Pistones.
- Cajas de cambios
- Blogs de motor.
- Conectores de alta tensión

2.3.1 Composición de la aleación A 356

Según la norma ASTM B26/B26M-14, la composición de la aleación A 356, la cual es “*una especificación estándar para aleaciones de aluminio en molde de arena*”, indica que el silicio y el magnesio son principales elementos aleantes, por otra parte, el hierro representa la impureza más representativa en la aleación. En la tabla 5-2. se indica los límites de composición para cada elemento de la aleación A 356.

Tabla 5-2: Límites de composición química de la aleación A 356

Elementos	% de Composición en Peso
Si	6,500-7,500
Fe	0,200
Cu	0,200
Mn	0,100
Mg	0,250-0,450
Zn	0,100
Ti	0,200
Al	Equilibrio

Fuente: ASTM B128, 1999

Realizado por: Cayancela, 2021

En el caso de exceder los límites de las impurezas produce consecuencias que son, en el caso del cobre y el níquel un decremento de la ductilidad y la resistencia a la corrosión, mientras que, el exceso de hierro reduce la resistencia y ductilidad (Handbook, 1990).

2.3.2 Propiedades de la aleación A 356

Las propiedades físicas de la aleación liviana de Al-Si A 356, donde se aprecia su baja densidad y buenas características térmicas se presenta en Tabla 6-2.

Tabla 6-2: Propiedades físicas y térmicas de la aleación A 356

Propiedad	Valor
Densidad	2,685 [g l cml (20°C)]
Calor de fusión	389 [l/y]
Conductividad térmica	151 [W ImK]
Punto de fusión	555-615 [°C]
Temperatura de Solidus	555 [°C]
Temperatura de Liquidus	615 [°C]

Fuente: Handbook, 1990

Realizado por: Cayancela, 2021

Las principales propiedades mecánicas de la aleación A 356 y la 356 para el caso de fundición en arena (S), y en molde permanente (PM) se muestran en la tabla 7-2, además, se muestra para el caso en que se realice un tratamiento de envejecimiento artificial (T6) y para un producto sin tratamiento posterior (F).

Tabla 7-2: Propiedades mecánicas de la aleación A 356 y 356.

Aleación	Proceso de fundición y temple	Resistencia Esfuerzo de				Elongación (%)	Dureza Brinell (500 kg de carga, esfera de 10 mm)
		Ultima		Fluencia			
		ksi	MPa	ksi	MPa		
356	S-F	19	130	9,5	65	2	55
356	S-T6	34	234	24	165	3,5	80
A 356	PM-T6	38	262	26	179	5	80-90
A 356	PM-F	27	186	13	90		

Fuente: ASTM B128, 1999

Realizado por: Cayancela, 2021

2.4 Diagramas de fase Al-Fe y Al-Fe-Si

2.4.1 Diagrama de Al-Fe

Las aleaciones basadas en Al-Fe tienen un alto potencial para aplicaciones estructurales a altas temperaturas considerando que el hierro representa la impureza más común en las aleaciones de aluminio, el cual generalmente se añade de manera no intencional, estas aleaciones dan como resultado una excelente resistencia a la corrosión. De aquí se obtiene herramientas de acero, crisoles de hierro, adición de elementos aleantes, fundición de chatarra con hierro y refundición de metales. el diagrama de fase del sistema binario Al-Fe de Kattner and Burton así se demuestra en la gráfica 2-2 (Kattner & Burton, 1993, p. 12).

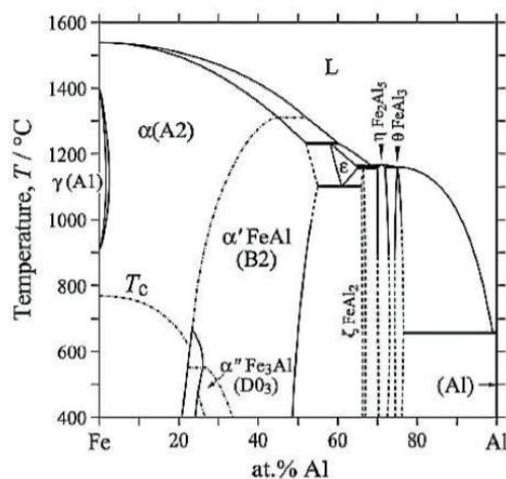


Gráfico 2-1: Diagrama binario Al-Fe

Fuente: Kattner & Burton, 1993, p. 12

Para analizar el comportamiento durante la solidificación a un contenido determinado de un elemento se lo realiza con diagramas de una sección vertical como en la gráfica 4-2. la sección vertical de un diagrama Al-Si-Fe para un contenido de 0,8% de silicio. Se puede visualizar la formación de la fase β tanto en una etapa primaria y como resultado de la reacción eutéctica a una temperatura — 570°C, para contenido en peso mayores al 0,5% (Mondolfo, 1976).

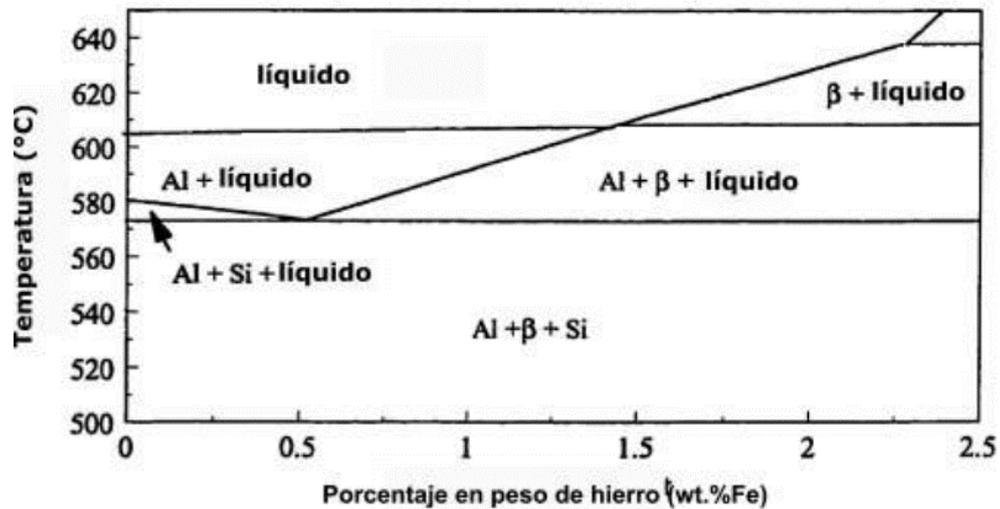


Gráfico 4-2: Sección vertical de un diagrama Al-Si-Fe para un contenido de 0,8% Si.

Fuente: Mackay, 1997

2.5 Fase intermetálicas de hierro

Para producir una nueva fase con su propia composición, estructura cristalina y propiedades se emplea fases intermetálicas contienen dos o más elementos metálicos. Estos compuestos intermetálicos son en general muy duros y quebradizos, similares a los materiales cerámicos en términos de sus propiedades mecánicas (Askeland et al., 2010).

También se conoce que posee una baja solubilidad en estado sólido pero el hierro es altamente soluble en el aluminio líquido y sus aleaciones, en el sistema binario Al-Fe la solubilidad del hierro en equilibrio sólido es de 0,03 a 0,05 % en peso a la temperatura eutéctica de 655°C y una solubilidad menor a temperatura ambiente, dando como resultado que el hierro tiende a formar fases intermetálicas con el aluminio y otros elementos presentes en la aleación, como el silicio, magnesio, manganeso o cromo tabla 9-2. *“El tamaño, cantidad y morfología de estas fases intermetálicas depende de la composición de la aleación, la tasa de enfriamiento y los tratamientos posteriores a la fundición”* (Mbuya et al., 2003).

Las fases dominantes son Al_3Fe y Al_6Fe en los sistemas binarios Al-Fe, mientras que, se pueden formar fases intermetálicas con diferentes composiciones y morfologías en sistemas Al-Fe-Si, las principales fases que contienen son:

- Fase α — Al_3Fe_2Si (31,6% Fe; 7,8%Si) con morfología de escritura china (Chinese Script), donde el hierro (Fe), este puede ser sustituido por elementos como: manganeso (Mn), cromo (Cr), formando nuevas fases como: $Al_{15}Mn_2Si_2$ y $Al_{13}Cr_4Si_4$, que en ocasiones poseen una forma poligonal o de estrella si solidifican como fases intermetálicas primarias (Mbuya et al., 2003). Además, ciertos autores en cuyas investigaciones han mencionado que la fase α con estructura cúbica de cuerpo centrado, de estequiometría $Al_{19}Fe_4MnSi_2$ (Kral, 2005).
- Fase β — Al_5FeSi (25,6%Fe; 12,8%Si) con morfología de plaquetas, representa la fase intermetálica más perjudicial por sus efectos en las propiedades mecánicas (Mbuya et al., 2003).
- Fase γ — Al_3FeSi (33,9%Fe; 16,9%Si) se forma en aleaciones con alto contenido de hierro y silicio (Mbuya et al., 2003).
- Fase δ — Al_4FeSi_2 (25,4%Fe; 25,5%Si) se presenta en aleaciones con alto contenido de silicio y posee una morfología de plaquetas y estructura tetragonal (Mondolfo, 1976). En estudios realizados por (Kral et al., 2006) “en una aleación con 11 % de Si se define a la fase β como Al_3FeSi_2 de estructura tetragonal”.
- Fase π — $Al_8Mg_3FeSi_6$ es común en aleaciones con alto contenido de magnesio (-0,5% en peso), posee una morfología de escritura china conectándose o formándose generalmente cerca de la fase β (Taylor, 2004). Misma que en la Figura 7-2. se presenta la morfología característica de las principales fases intermetálicas presentes en las aleaciones Al-Si-Mg.



Figura 7-2: Principales fases intermetálicas en las aleaciones Al-Si-Mg, (a) fase β , (b) fase α , (c) formación de la fase π a partir de la fase β , (d) fase π

Fuente: Taylor, 2004

Tabla 9-2: Principales fases intermetálicas del hierro en Aleaciones de aluminio.

Morfología	Fases	Morfología
fi -Plaquetas	Al8FeSi (eutéctico)	0,05% < Fe < 0,7%
fi -Plaquetas	Al8FeSi (primario)	Fe > 0,7%
a -Escritura China	Al15(Fe, Mn)3Si2	Mn > 0,2% Cuando hay presencia de Fe
Forma de estrella, poliédrica	Al13(Fe, Cr)4Si7	Cr > 0,1% Cuando hay presencia de Fe
Forma de estrella, poliédrica	Al2(Fe, Cr)5Si8	Cr > 0,1% Cuando hay presencia de Fe
ir -Escritura china	Al8FeMg3Si6	Fe > Mg
Escritura China	Al9FeMg3Si5	Cuando Sr y Mg (-0,7%) están presente
Escritura China	Al9(Fe, Co)2	Co > 0,1% Cuando hay presencia de Fe
Partículas agrupadas	Al9FeNi	Ni > 0,1% Cuando hay presencia de Fe
Agujas	Al8CuMg8Si5	Cu > 0,1%, Mg > 2Cu

Fuente: Mbuya et al., 2003

Realizado por: Cayancela, 2021

“Dentro de las aleaciones hipoeutécticas las fases dominantes son: α, β, π siendo la fase β la más perjudicial de las fases intermetálicas del hierro” (Mbuya et al., 2003). Según (Gustafsson et al.,

1986) en su estudio expresa que se obtiene experimentalmente la composición química de las principales fases intermetálicas para la aleación A356 que se muestra mediante la tabla 10-2

Tabla 10-2: Estructura y composición experimental de las principales fases intermetálicas en la aleación A 356 (% en peso).

Fase	Mg	Si	Cr	Fe	$\frac{Cr + Fe}{Si}$	Referencia
β		12-15		25 – 30	2.2	Mondolfo [30]
		13.80-14.9		26.7– 27.3	1.9	Pratt [40]
(Monoclínica)		17		29	1.7	Gruzleski [19]
Al ₅ FeSi		18 19		16 -25	1.2	Gustafsson [39]
π (HCP)	15.6	33.8		12.1	0.3	Mondolfo [30]
Al ₈ FeMg ₃ Si ₆	13	28		10	0.3	Gruzleski [19]
	13 – 16	25 – 28		8 – 9	0.3	Gustafsson [39]
α (BCC)		6-8	8 - 9	27 – 35	4.2	Mondolfo [30]
A113(Fe,Cr) 4514		10 -11		16 – 29	2.2	Gustafsson [39]

Fuente: Gustafsson et al., 1986

Realizado por: Cayancela, 2021

2.6 La fase β en las aleaciones Al-S

Las fases intermetálicas más comunes de hierro que se forman en las aleaciones de base Al-Si en el transcurso del proceso de solidificación, es lo conoce como fase β — $AlFeSi$ (ASM, 1693). Por otra parte muchos autores definen a la fase β como monoclínica de estequiometría $Al_{4.5}FeSi$ (Romming et al., 1994), mientras que (Carpenter & Le Page, 1993) enuncian a la fase β como $Al_{15}Fe_2Si$ de estructura ortorrómbica centrada en cara.

Pero a pesar como se defina a estas fases monoclínica/ortorrómbica de estequiometría Al_5FeSi (Shabestari & Gruzleski, 1995), cuyas propiedades son: ser de naturaleza frágil, dura y baja cohesión con la matriz de aluminio esta afecta las propiedades mecánicas de la aleación, dando como resultado aumento de dureza y reducción de la ductilidad. En la Figura 8-2. Se muestra la morfología de la fase β , además posee plaquetas gruesas en forma de agujas (Gustafsson et al., 1986).



Figura 8-2: Fase β (a) Intermetálicos β (C), matriz de aluminio(A) y silicio acicular (B) en una aleación Al-11, 6Si-037Mg, (b) fase β en aleación A 413 con 1.1% Fe, (c) fase β de aleación 356 atacada con hidróxido de sodio, (d) fase β en aleaciones hipoeutécticas.

Fuente: Miller et al., 2006

En varias investigaciones como de (Dinnis et al., 2005), la morfología tridimensional de la fase β realizaron una reconstrucción en tres dimensiones de la fase β y α , esto en secciones pulidas con un contenido de 9% de Si y 1% de Fe, y se puede observar en la Figura 9-2. Dichos resultados.



Figura 9-2: Reconstrucción 3D de un grupo de plaquetas $\beta - Al_5FeSi$ mostrada en tres orientaciones.

Fuente: Dinnis et al., 2005

Mediante un análisis detallado durante el proceso de solidificación de la nucleación y crecimiento de las fases eutécticas de $\alpha - Al$ y la fase $\beta - Al_5FeSi$, se puede apreciar la formación de 4 plaquetas mismos que los puntos de nucleación tienen un origen en los óxidos de la superficie externa, como se observa en la figura 10-2 (Dinnis et al., 2005).



Figura 10-2: Volumen de muestra completamente reconstruido donde aparecen 4 plaquetas $\beta - Al_5FeSi$.

Fuente: Dinnis et al., 2005.

2.6.1 *Parámetros y condiciones de formación de la fase*

Los parámetros que depende en la formación de la fase β son: el contenido de hierro, la tasa de enfriamiento y la composición química. De estas condiciones va depender que las fases de hierro pueden solidificar como intermetálicos primarios, pre-eutécticos, esto tras la formación de las dendritas de aluminio, co-eutécticos, y post-eutécticos, a través de reacciones pre-dendríticas primarias, eutécticas y peritéticas (Cao & Campbell, 2004).

Según (Mascrè, 1995) “la fase β tiene efectos negativos cuando se forma en la fase primaria, mientras que, cuando es parte del eutéctico sus efectos son imperceptibles y hasta beneficiosos”.

Mediante la ecuación 2 se puede establecer el contenido crítico de hierro el cual es función del porcentaje en peso de silicio de la aleación.

$$\%Fe_{crítico} = 0,075(\%Si) - 0,05 \quad (2)$$

“La aleación A 356 el porcentaje de silicio oscila entre 6,5% y 7,5%; para lo cual, los niveles críticos de hierro son 0,44% Fe y 0,51% Fe, estableciéndose un porcentaje crítico de -0,5% Fe” (Mackay, 1997).

2.6.2 Nucleación y crecimiento de los intermetálicos β

Los fenómenos de nucleación y crecimiento de la fase intermetálica β han sido coligados a diferentes mecanismos, siendo uno de ellos, la doble capa de óxido (bifilm). Este mecanismo vincula la nucleación de partículas intermetálicas β a partir de una doble capa de óxido, por lo que, se forma de la película de óxido superficial (Al_2O_3) que se pliega, fragmenta y queda atrapada en la colada fundida por efecto del vertido del metal. La fragmentación y plegado de la capa de óxido se valida por números de Weber siendo este una relación entre la inercia del fluido y la tensión superficial, siendo este valor mayores a la unidad, por lo que a la vez al ser mayor las fuerzas inerciales llegan a superar la tensión superficial produciendo la fragmentación (Cao & Campbell, 2004).

Estas películas de óxido plegadas poseen dos partes: las superficies externas que se humedece por el contacto con la colada fundida y provienen de la película de óxido original, misma que se formó por el contacto con el aire y tiene su parte inferior aún en contacto atómico perfecto con el líquido, tal que, al ser plegada en la masa, esta superficie mojada se convierte ahora en la superficie externa de la película doblada y las superficies internas no se humedecen, ya que son las superficies originales del líquido que estaba en contacto con el aire, y que se plegaron en el líquido por el efecto del vertido y arrastre (Cao & Campbell, 2004).

La superficie mojada proporciona un sitio preferencial de nucleación de los intermetálicos de hierro como la fase β (Cao & Campbell, 2003), mientras que en ciertas investigaciones han reportado la formación de intermetálicos de hierro en las fases α y β , a partir de óxidos de aluminio ($MgAl_2O_4$ y Al_2O_3) introducidos durante el colado como se muestra en la Figura 11-2(a). Por otra parte en la Figura 11-2(b) algunas plaquetas β mostraron grietas posiblemente por la presencia de óxidos. (Miller et al., 2006)-

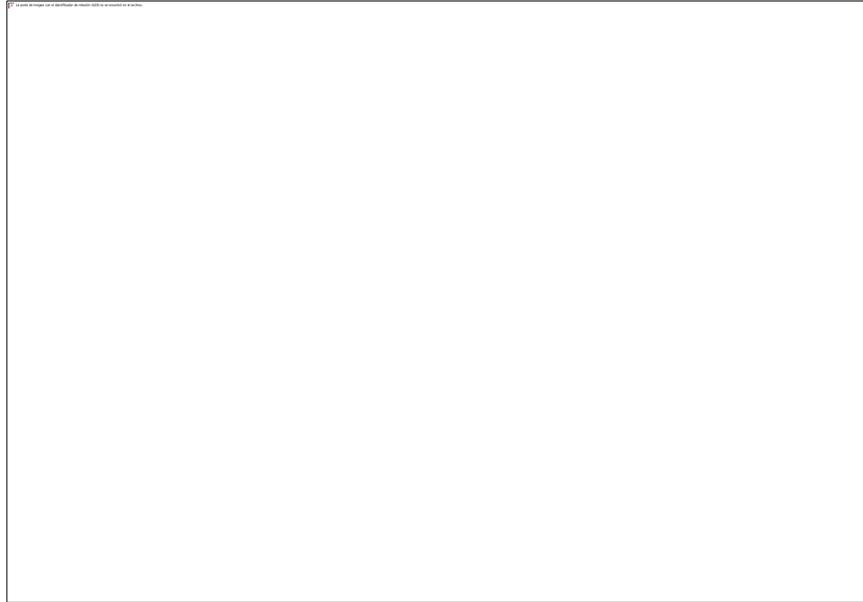


Figura 11-2: Formación de intermetálicos de hierro, (a) nucleación de fase β a partir de $MgAl_2O_4$, (b y c) plaquetas β que tiene un defecto de grieta.

Fuente: Cao & Campbell, 2004

Una brecha en la superficie interna de una película de doble óxido atrapada en el metal fundido es producto de la formación de grietas en los intermetálicos de hierro dando como resultado de la precipitación de la fase β en ambos lados de la película de óxido (Cao & Campbell, 2003).

Se realizó un estudio de la cristalización de la fase β en una aleación 319 determinando que los óxidos $\gamma - Al_2O_3$ correspondiente a estructura cúbica que son puntos de nucleación de la fase β , mientras que para los óxidos $\alpha - Al_2O_3$ que corresponde a una estructura cristalina romboédrica, misma no se muestra registro de la nucleación en la fase (Narayanan et al., 1994).

2.6.3 Influencia de la fase β en la porosidad

El acabado superficial de las aleaciones fundidas puede verse perjudicado por la porosidad que es un defecto que afecta las propiedades mecánicas en cambio la porosidad interna produce una reducción del área efectiva, producto de ello se genera concentradores de esfuerzo en los vacíos producidos por los poros dando paso posiblemente a una falla prematura. Debido a la precipitación de hidrógeno la porosidad en las aleaciones generalmente tienen forma esférica, por contracción durante la solidificación o por efecto de ambas, tornando la porosidad por contracción más perjudicial (Kaufman & Rooy, Elwin L., 2004).

La gran solubilidad del hidrogeno en las aleaciones de aluminio da como resultado a porosidad, además se conoce que las fuentes comunes de contaminación por hidrógeno se hallan en la

atmósfera, recubrimientos de componentes de carga, refractarios húmedos, herramientas de fundición y turbulencia en el vertido. (Kaufman & Rooy, Elwin L., 2004)

Los parámetros que determinan la solubilidad del hidrógeno son directamente proporcionales con la temperatura y el cuadrado de la presión, mientras que la porosidad por contracción resulta de las diferencias volumétricas entre el estado líquido y sólido, provocando que el metal líquido no pueda alcanzar ciertas áreas interdendríticas durante el proceso de solidificación produciendo vacíos de formas irregulares (Kaufman & Rooy, Elwin L., 2004).

La alimentación del líquido de la aleación se ve afectado por los intermetálicos, por lo que, los canales interdendríticos durante la solidificación se bloquean durante el flujo de metal líquido, razón por la cual, el contenido de hierro en una aleación de aluminio está asociado con mayores niveles de porosidad como se muestra en la Figura 12-2. Otro dato que considerar es que el aumento del contenido de hierro reduce la susceptibilidad al desgarro en caliente, Sin embargo aumenta el hundimiento general de la superficie de las piezas fundidas (Lu & Dahle, 2005).

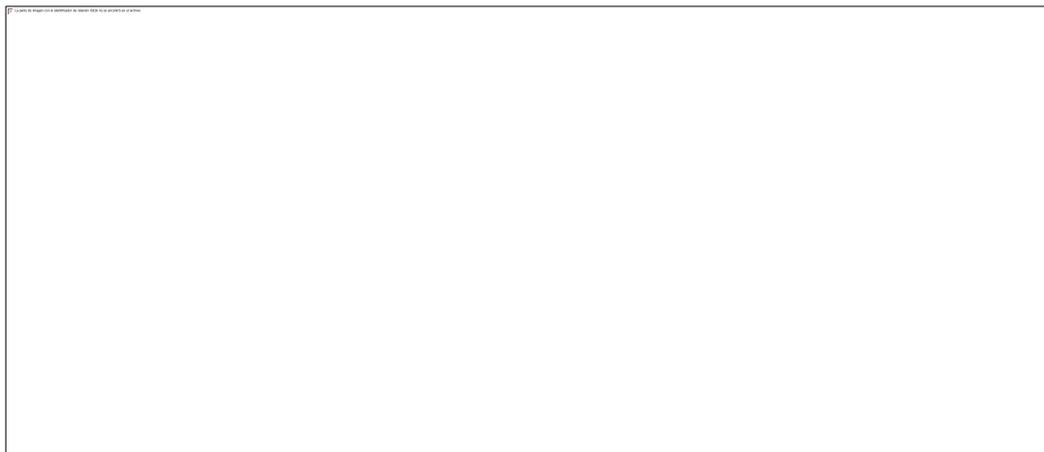


Figura 12-2. Porosidad por contracción generada en las cercanías de la fase intermetálica β

Fuente: Lu & Dahle, 2005

Otras teorías concuerdan con lo mencionado enunciando que las partículas intermetálicas beta son lugares muy activos para la nucleación de poros, además de que la adición de manganeso inhibe la formación de la fase β y neutraliza la nucleación de los poros (Roy et al., 1996). Además, la incapacidad del metal líquido para alimentar espacios entre plaquetas ramificadas, precipitación de las plaquetas β es lo que produce cavidades por contracción (Samuel et al., 2001).

2.6.4 Influencia de la fase β en las propiedades mecánicas

Los defectos bidimensionales se debe por la baja fuerza de cohesión existente con la matriz de aluminio, debido a que la fase β por sus características de naturaleza dura y quebradiza, bordes afilados, alto radio de aspecto o relación entre la longitud máxima y mínima, causando que estas partículas se comporten como defectos bidimensionales (Vorren et al., 1984).

Las propiedades mecánicas se ven afectadas por los efectos secundarios producidos como la formación de porosidad por contracción, adicional, las partículas de hierro son más fáciles de fracturar bajo cargas de tensión que la matriz de aluminio y las pequeñas partículas de silicio siempre y cuando existe modificación eutéctica. Por ello, las microgrietas tienden a iniciarse en estas partículas β y dando paso vías fáciles de propagación de fisuras (Cáceres et al., 2003).

Basado en estudios (L. Wang et al., 2012) descubren un ligero aumento en el módulo de elasticidad para porcentajes en peso de Fe de $\sim 0,7$ a $\sim 1,6$ %. Por otro lado, el hierro reduce la resistencia a la fatiga y aumenta ligeramente la maquinabilidad. Numéricamente por cada 1% de Fe añadido se registra una disminución de $\sim 0,0023\%$ del módulo de Poisson (Mondolfo, 1976).

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

La metodología de la investigación de acuerdo a las posibilidades del investigador y según el tema de investigación elige la metodología adecuada que conlleve a un enfoque claro, mediante un orden lógico y un procedimiento riguroso para dar solución a un problema planteado validando así la investigación.

3.1 Diseño CAD

Según (Domínguez y Espinosa, 2002; citado en Díaz 2013, p. 3) define que: *“el diseño asistido por ordenador” como un conjunto de herramientas informáticas que tienen por objetivo ayudar al técnico en la realización física de los planos de un proyecto o prototipo. Para la utilización óptima de estos sistemas es necesario tener conocimientos básicos de dibujo y diseño y además poseer conocimientos básicos de informática”*

El proceso diseño en la actualidad es fundamental para el diseño de partes y piezas que contribuyen al desarrollo automotriz, mediante herramientas que incorporan cierta ayuda en el proceso, facilita la elaboración de un diseño, además de ello también existe la posibilidad de realizar cálculos, simulaciones, etc. (Domínguez y Espinosa, 2002; citado en Díaz 2013, p. 3).

3.1.1 Herramientas CAD para el modelado

Las herramientas CAD empleadas comúnmente en el diseño en diferentes empresas, profesionales, formación educativa, entre otros se tiene las siguientes:

3.1.1.1 Autocad

Es uno de los primeros en aparecer en el mercado, es un software CAD que hoy en día, emplean la mayoría de diseñadores, arquitectos e incluso ingenieros que imparten cátedras relacionadas al campo del diseño, existen versiones que contiene paquetes de diseño en 2D y 3D (Díaz, 2013).

3.1.1.2 Catia

Permite la modelación en 3D empleado en compañías aeronáuticas, automovilísticas y de construcción, por otra parte, existe la posibilidad de relacionar en el contexto de su comportamiento en la vida real (Díaz, 2013).

3.1.1.3 Solidworks

Permite realizar planos en 2D, modelar piezas en 3D y el ensamblaje respectivo de las piezas modeladas, también cuenta con herramientas adicionales para obtener datos de una simulación, este software posee un abanico de formatos de extensión para los archivos que genera que facilita la interacción entre uno o varios softwares CAD o CAM (Díaz, 2013).

3.1.1.4 Nx de siemens

Es un software que está enfocado más a la simulación de elementos, sin embargo, ofrece también la posibilidad de diseñar, este cuenta con herramientas sofisticadas, que permite optimizar el tiempo de diseño en sí, es empleado en el sector automotriz por la gran precisión de datos que ofrece en su simulación (Siemens, 2020).

En el presente trabajo de titulación se emplea el software SOLIDWORKS para la modelación 3D respectiva como se indica en la Figura 1-3 y posteriormente NX para determinar el código ISO para la impresión del prototipo, además de obtener datos que se exponen en el capítulo correspondiente de Resultados.

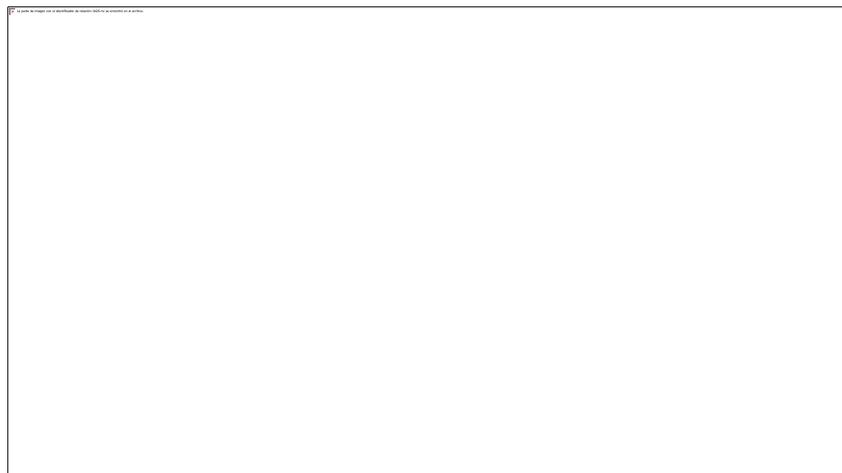


Figura 1-3: Modelado de pistón en software SolidWorks

Realizado por: Cayancela, 2021

3.1.2 Prototipo del pistón mediante Impresión 3D

La impresión 3D se conoce como manufactura aditiva, el cual permite obtener de manera física un modelo que previamente ha sido elaborado mediante software CAD, empleando el material adecuado que soporte la impresora genera capa a capa de forma muy precisa para construir un objeto en tres dimensiones. Al conseguir materializar el diseño es una ventaja ya que, al tener un prototipo, se puede determinar las falencias, tomar alternativas de diseño, garantizando tener un producto final optimo en lo posterior al ser fabricado.

3.1.2.1 Materiales de impresión

En la impresión aditiva por deposición de material se emplea una gran variedad de insumos, gracias a esto se puede una mayor flexibilidad a la hora de producir objetos. Dichos insumos que utilizan estas impresoras se los conoce como filamentos y existe de dos diámetros estándar: 1,75 y 3 mm. Otra característica que se puede tener es una gran diversidad de colores (Bordignon & Iglesias, 2018, pp. 38-40).

Dependiendo de los insumos se tiene propiedades que aportan flexibilidad o resistencia, en ocasiones, inclusive son capaces de conducir electricidad y formar circuitos. En la actualidad existen dos productos que se destacan en el mercado para la obtención del prototipo, siendo los más conocidos y fáciles de emplear (Bordignon & Iglesias, 2018, pp. 38-40).

ABS

Proviene de la sigla en inglés de acrilonitrilo butadieno estireno, termoplástico derivado del petróleo de uso muy común para el diseño de piezas de LEGO. Entre las características que se puede enunciar se halla en la Tabla 1-3 (Bordignon & Iglesias, 2018, pp. 38-40).

Tabla 1-3: Características del ABS

Característica	Denominación
Resistencia al calor	190 °C (punto de fusión)
Temperatura de extrusión recomendada	220 y 250 °C
Temperatura de cama	100 °C
Rigidez	Resistente y fuerte
Flexibilidad	Muy poca
Colores	Variado
Opacidad	Variable
Olores	No emiten

Fuente: Bordignon & Iglesias, 2018

Realizado por: Cayancela, 2021

Con las características mencionadas los productos o piezas elaboradas se pueden someter a altas temperaturas o que requieran cierto tratamiento posterior como: pintura, lijado, pulido, etc.

PLA

Del término en inglés, de ácido poliláctico, que es un plástico biodegradable derivado del almidón, material muy común en el mercado a costos accesibles por lo que tiene mucha popularidad en el ámbito educativo, para la elaboración de prototipos de proyectos, mecanismos, objetos que se requiera en el medio social, este tiene las características que se indican en la Tabla 2-3. (Bordignon & Iglesias, 2018, pp. 38-40).

Tabla 2-3: Características del PLA

Característica	Denominación
Resistencia al calor	70 °C.
Temperatura de extrusión recomendada	180-230 °C
Temperatura de cama	60 °C.
Rigidez	Resistente sin flexibilidad
Flexibilidad	Nula
Colores	Variado
Opacidad	Variable
Olores	No emiten

Fuente: Bordignon & Iglesias, 2018

Realizado por: Cayancela, 2021

3.1.2.2 Impresora 3D - ANET A8

A finales del año 2018 aparece la impresora 3D ANET A8, que a la fecha es la más usada por su interfaz muy sencillo y cómodo de usar, por otra parte, para poner en funcionamiento, no se requiere de cierto conocimiento profundo referente a impresiones 3D y es compatible con una gran cantidad de materiales y se puede modificar libremente. Otro punto muy importante es la accesibilidad de costos de adquisición siendo muy empleado en el medio para desarrollos de proyectos educativos, investigaciones entre otros, en tabla 3-3 se muestran las especificaciones de la misma. («Anet A8 - A8 Plus, análisis y características», 2018).

Tabla 3-1: Características de la impresora Anet A8

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACIÓN
Tipo	Kit
Pantalla	LCD2004
Color	Negro/transparente
Resolución	±0.1-0.2mm
Impr. Online/Offline	Ambos
Velocidad Movimiento	10~100mm/s
Velocidad Impresión	40-120mm/s
Temperatura Extrusor	250°C
Temperatura Cama	100°C
Filamento Recomendado	PLA
Material Marco	Acrílico
Volumen Impresión	220 x 220 x 240mm
Formato Archivo	STL, OBJ, JPG
Material Cama	Aleación de aluminio
Boquillas	1
Material Imprimible	ABS / PLA / HIPS / PRTG / TPU / Madera / Nylon / PP / ...
Diámetro Filamento	1.75 mm
Voltaje	110-220V
Potencia	240W
Tamaño Artículo	50 * 45 * 40cm
Peso	8Kg
Certificados	EMC, FCC, LVD, RoHs

Fuente: Anet A8 - A8 Plus, análisis y características», 2018

Realizado por: Cayancela, 2021

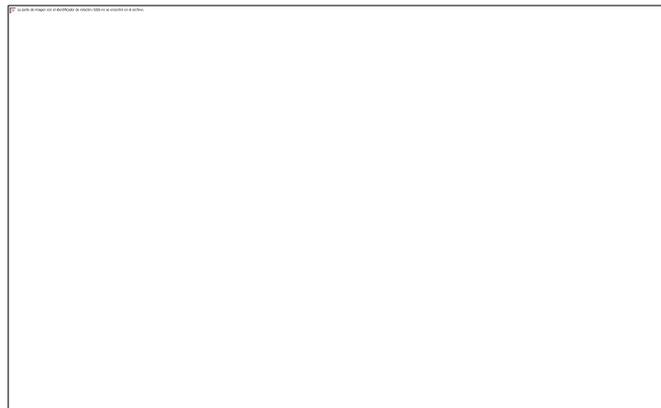


Figura 2-3: Impresora 3D ANET – A8

Fuente: Anet A8 - A8 Plus, análisis y características», 2018

Siendo la impresora más accesible, se decide emplear para el desarrollo de la presente investigación, con el modelado desarrollado previamente en el software enunciado en el apartado 3.1.1.3. se obtiene el prototipo en tipo de material PLA como se muestra en la Figura 3-3.



Figura 3-1: Pistón impreso en PLA

Fuente: Cayancela, 2020

3.2 Obtención de Materiales

3.2.1 *Aluminio – Silicio*

Para obtener materiales como el Aluminio y el Silicio, para disponer de materia prima para el proceso de fundición respectiva, se optó por reutilizar todos aquellos pistones que se encuentren fuera de servicio, comúnmente estos elementos tras haber cumplido la vida útil de funcionamiento pasan a un estado de obsoleto, por lo que es ideal para reutilizarlo, además, se conoce que el Silicio como elemento químico es difícil de conseguir en el medio, sin embargo está presente como aleaciones con otros elementos, pero comúnmente se puede hallar en cantidades significativos en los pistones antes mencionados.

No obstante, es concerniente conocer que no todos los pistones van a contener el mismo porcentaje de silicio presente, este varía según el tipo de pistones, como se ha mencionado en el capítulo anterior, se considera solamente los pistones de 2 tiempos para el presente estudio, como se muestra en la figura 4-3.

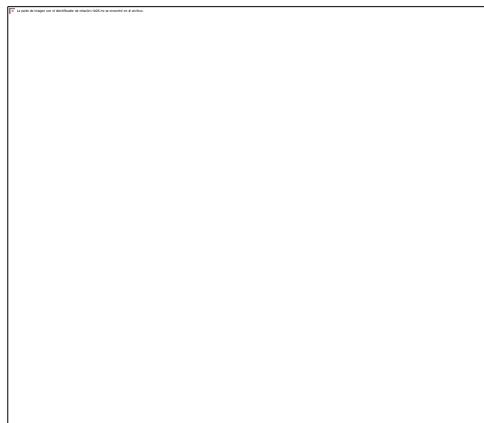


Figura 4-3: Pistón de dos tiempos

Fuente: Cayancela, 2020

3.3 Proceso de Fundición

3.3.1 Preparación de la Arena

Una de las características que debe tener la arena es que logre soportar altas temperaturas, es decir, debe tener buenas propiedades refractarias sin que se funda o sufra degradación de cualquier tipo, para ello es importante la granulometría o tamaño de grano de la arena que va entre 1/16 a 2 mm de diámetro, sin embargo, en ocasiones se realiza un proceso de cernido para obtener la arena mencionada mediante una zaranda de malla metálica de inter - espaciado máximo de 2 mm. Con esta arena, para el proceso de fundición se mezcla de tal modo que contenga (en volumen) 90% arena, 3 – 5 % de agua y 7 – 9 % de arcilla, esperando tener humedad homogénea, de aquí donde aparece las clasificaciones del tipo de arena para fundición (Torres, 2019).

3.3.1.1 Arena verde

Consiste en la mezcla previa descrita de arena, arcilla y agua, este término de arena verde hace referencia a que el molde contiene humedad al momento del vaciado de la colada (Torres, 2019).

3.3.1.2 Arena seca

Se usa un soplete a una temperatura aproximada de 200a 300 °C. apropiado para eliminar la humedad, es decir, previo al vaciado de la colada este no presentara humedad alguna (arena seca y compacta), se torna más compacto y se evita desmoronamiento en las diferentes cavidades del molde (Torres, 2019).

3.3.2 Moldes de Arena

El molde de arena más empleado para la elaboración de pistones es de tipo dividido, conocido también como molde desechable, con cierta característica de que se puede volver a reutilizar la arena que fue empleada durante la obtención de la pieza, este tipo de molde es común para una producción media de elementos, siendo ampliamente usado de muchas maneras según sea la necesidad del medio (Valverde, 2012).

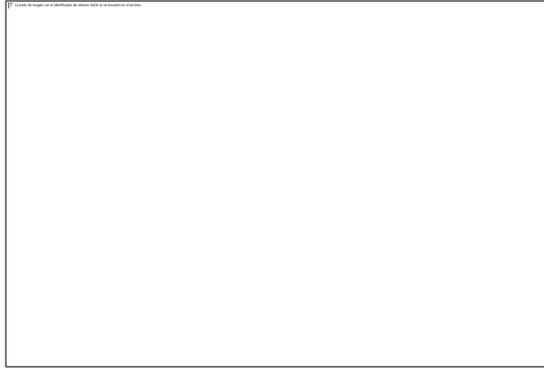


Figura 5-3: Molde de arena

Fuente: Valverde, 2012

La configuración de la caja para elaborar el molde debe de acuerdo al tamaño del elemento que se va a fundir, sin embargo, hay dimensiones comunes que van de 315 x 315 x 100 mm con un espesor que oscila entre 10 – 12 mm y serán por lo tanto dos cajas una base y una tapa, para generar un molde dividido, como se muestra en la figura 6-3 (Valverde, 2012).

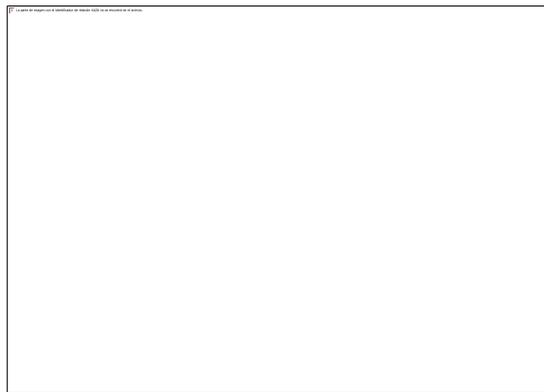


Figura 6-3: Dimensiones del molde de arena

Fuente: Valverde, 2012

3.3.3 Colada

Con la materia prima lista se dispone a someter a altas temperaturas, sobre los 900 °C. se lo realiza en un horno especialmente diseñado para realizar esta acción, en el presente caso se tiene a disposición pistones desechados que son previamente cortados en pequeños pedazos para obtener la colada como se muestra en la figura 7-3. Esta colada debe estar completamente en estado líquido para que pueda tener facilidad de ingreso por el conducto de alimentación en el molde y cubrir absolutamente las cavidades que conforma el elemento, en este punto es importante mencionar que las paredes de las cavidades deben estar completamente sólidos para evitar desmoronamientos y por otro lado reducir la probabilidad de generar porosidad en el elemento (Montano, 2011, pp. 44-50).

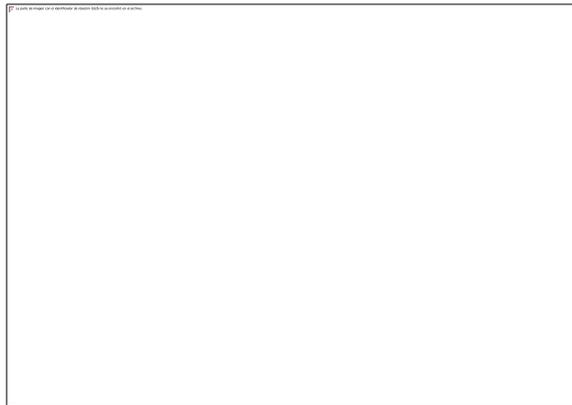


Figura 7-3: Pistones cortadas en secciones pequeñas

Realizado por: Cayancela, 2021

3.3.3.1 Los sistemas de colada

Este sistema consta de un conjunto de canales que conducen la aleación líquida hacia la cavidad del molde para su posterior llenado de la colada, dependiendo de su configuración del molde, así pueden ser: colada por la línea de partición del molde, colada por el fondo o sifón, colada escalonada o por etapas y colada directa o por lluvia, siendo este último empleado en el presente estudio (Serrano, 2011).

3.3.4 Drenaje de la colada en el molde de arena

Tras haber preparado la arena y disponer de la caja para el molde, se procede al llenado del mismo con arena verde, este es compactado o apisonado fuertemente, para lograr conseguir la forma externa de la pieza, posteriormente la pieza modelado es retirado, consiguiendo de esta manera la cavidad donde se alojará la colada al verter, las dos mitades del molde deben alinearse correctamente, en la parte superior va a tener de manera perpendicular un conducto por el cual se vierte la colada con la ayuda de la cuchara de vaciado para que la pieza quede geométricamente en condiciones de diseño. (Valverde, 2012).

Una consideración importante es la configuración del vertedero, este tendrá una manera cónica con la intención de que no atrape gas natural durante el vaciado, es decir, las secciones transversales se deben reducir, esto haciendo referencia al teorema de Torricelli que menciona “*la velocidad de salida de un líquido por un desagüe inferior, es directamente proporcional al nivel del líquido en el recipiente*”(Mott, 2006, p. 179), es decir, que durante el descenso de la colada hacia la base del bebedero, este aumentara su velocidad y al tener paredes verticales existe la probabilidad de que absorba partículas de gases y genere el fenómeno de la porosidad (Montano, 2011, pp. 44-50).



Figura 8-3: Molde con la colada vertida

Realizado por: Cayancela, 2021

3.3.4.1 Mazarota

Una mazarota es una prolongación de la pieza cuya función es de mantener una reserva aleación líquida, mismo que se emplea en el proceso de solidificación puesto que debe compensar las pérdidas de volumen que resulten de las diversas contracciones que experimenta la aleación (Kalpakjian & Schmid, 2008).

En una fundición se considera la implementación de una o más mazarotas en función del tamaño del producto a obtener y el sistema de colada aplicado, sin embargo, en fundiciones pequeñas el bebedero cumple la función de mazarota si su sistema de colado es directa sobre la cavidad de vaciado (Serrano, 2011).

3.3.4.2 Bebedero

El bebedero es un canal cónico vertical mediante el cual se realiza el vaciado de la colada del metal fundido que fluye hacia abajo por acción de la gravedad en el interior del molde. Este se conecta hacia los canales de alimentación en caso de tenerlo caso contrario se conecta directamente con la cavidad de vaciado de la pieza a obtener y suple a la vez la función de una mazarota, y esta debe obedecer a la ecuación 3 (Kalpakjian & Schmid, 2008).

$$\frac{A_1}{A_2} = \sqrt{\frac{h_1}{h_2}} \quad (3)$$

Donde A es el área, h representa la altura, subíndice 1 es la parte superior y 2 la parte inferior.

3.3.4.3 Velocidad del metal fundido

La velocidad del metal fundido, considerando de que en la parte superior del bebedero sea una sección más grande, se puede determinar la velocidad con la que llega a la parte inferior del bebedero, se expresa mediante la ecuación 4 (Kalpakjian & Schmid, 2008).

$$v = \sqrt{2gh} \quad (4)$$

Donde g es la gravedad y h representa la altura.

3.3.4.4 Gasto Volumétrico

El gasto volumétrico obedece a la ley de la continuidad que enuncia que la tasa de flujo volumétrico va permanecer constante a través del líquido, por lo que va ser igual al producto de la velocidad y su área de la sección transversal del líquido que fluye, expresada así (Groover, 2007):

$$Q = v_1A_1 = v_2A_2 \quad (5)$$

Donde Q es el Gasto volumétrico, v representa el volumen y A es el área.

3.3.4.5 Tiempo de llenado

Es el tiempo que emplea para llenar tras haber cruzado la base inferior del bebedero por lo que el gasto volumétrico se mantiene constante a través del paso hacia la cavidad al igual que en la base, en consecuencia, se puede estimar el tiempo que se requiere para el llenado de la cavidad de un molde de volumen V , y se expresa así (Groover, 2007):

$$T_{MF} = \frac{V}{Q} \quad (6)$$

Donde T_{MF} es el tiempo de llenado del molde, [s]; V = volumen de la cavidad del molde, [cm³]; y Q = gasto volumétrico

3.3.5 Solidificación, enfriamiento y obtención del producto.

Tras vaciar el metal fundido por el canal de alimentación del molde (mazarota), este inicia el proceso de enfriamiento y solidificación. El tiempo que éste tarde en enfriar está relacionado directamente con la temperatura de fusión de los elementos que se funden, en el presente trabajo

se aplica un tratamiento térmico normalizado, es decir, tendrá un enfriamiento a temperatura ambiente en el interior del molde, posteriormente este será extraído del molde y la arena será reubicado para la reutilización, ya que no pierden características, para su reutilización.

3.3.5.1 *Tiempo de solidificación*

Puede tratarse de un fundido en metal puro o una aleación, el tiempo de solidificación es el aquel que se tarda desde su vertido, hasta su solidificación. El tiempo va depender del tamaño y forma del fundido, para su cálculo se puede basar en la regla de Chvorinov, que establece lo siguiente (Groover, 2007):

$$T_{TS} = Cm \left(\frac{V}{A} \right)^2 \quad (7)$$

Donde Cm es la Constante de molde [min/cm^2], V es el volumen de la pieza y A representa el área respectiva.

3.4 **Ensayos**

3.4.1 *Ensayo de micrografía*

Con el análisis metalográfico se puede determinar las fases de los metales, su estructura, los constituyentes y sus aleaciones sea mediante un microscopio electrónico de barrido o un microscopio óptico de luz, la microestructura es importante para conocer las propiedades mecánicas de los metales y aleaciones presentes, razón por la cual es importante su análisis para dar a conocer las características concretas del material. El presente trabajo está enfocado en identificar las fases intermetálicas del aluminio y silicio.

3.4.1.1 *Preparación de la muestra*

La muestra está en función de la norma ASTM E8, por lo que lo más recomendable en una fundición de una aleación debe ser un corte en una sección perpendicular a la superficie, esto permite visualizar de extremo a extremo su estructura, las dimensiones a considerar es el diámetro entre 12 a 25 mm y una altura que sea considerable para la facilidad del pulido de hasta 25mm, según el ejemplo que se muestra en la figura 9-3 (Mendoza Ventura, 2017).

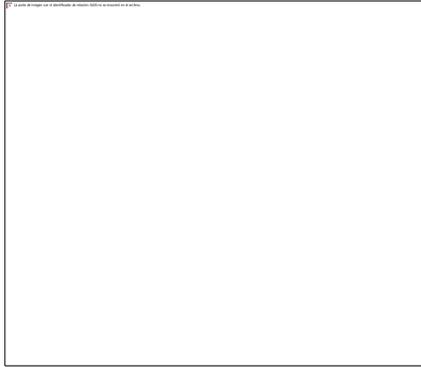


Figura 9-3: Esquema de la muestra para ensayos de espectrometría y dureza.

Realizado por: Cayancela, 2021

3.4.1.2 Preparación de la superficie de la muestra

Una vez que la muestra tenga las dimensiones adecuadas, es necesario preparar la superficie, con la ayuda del papel lija para lo cual se realiza en 4 etapas:

Desbaste Grosero

Es el primer desbaste que se realiza, el cual trata de reducir las desigualdades de la superficie, este proceso es a mano, como se indica en la figura 10-3, se usa como material de desbaste el papel de lija de carburo de silicio con granos de 240, sobre una superficie plana, la presión ejercida de la probeta sobre el papel lija no es fuerte, la finalidad es de no provocar excesivo rayado sobre la superficie o se genere distorsión (Mendoza Ventura, 2017).

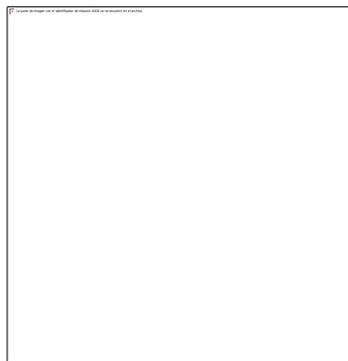


Figura 10-3: Papel de lija para desbaste

Realizado por: Cayancela, 2021

Desbaste Intermedio

Al igual que el desbaste grosero se lo realiza sobre una superficie plana o de preferencia sobre la lijadora de laboratorio, se usa papel de lija No. 320, 340 y 400 (Mendoza Ventura, 2017).

Desbaste Final

En esta fase la superficie quedara prácticamente sin rayaduras, el proceso es igual al que los anteriores, su usa papel de lija No. 600, en consideración para todos los casos de desbaste debe estar presente la refrigeración (Mendoza Ventura, 2017).

Para cada cambio de numero de lija usada en el proceso de desbaste, la muestra se gira 90 grados, se repite hasta cuando en la última fase la muestra no presente rayas sobre la superficie, una alternativa al proceso manual se puede emplear una pulidora de disco que usan lijas de carburo de silicio de igual manera, a una velocidad de rotación de 150 a 250 rpm optimizando el tiempo de preparación de la probeta (Mendoza Ventura, 2017).

Pulido

Para tener la superficie más optimo se realiza el último proceso que es pulido, este consiste en una rueda giratoria húmeda cubierta con un paño cargado con partículas abrasivas, generalmente se suele usar oxido de cerio para pulir aluminio, magnesio y sus aleaciones (Mendoza Ventura, 2017).

3.4.1.3 Observación micrográfica

Una vez que la muestra esté preparada, se utiliza un microscopio óptico, para determinar la microestructura que compone la aleación, para lo cual se sitúa la muestra sobre la platina del microscopio que mediante el ocular se muestra la figura respectiva.

3.4.2 Espectrometría

Mediante una espectrometría permite la identificación positiva de materiales presentes en una aleación principalmente de cobre, silicio, aluminio, hierro, entre otros, además es un proceso que permite desarrollar la ingeniería inversa siendo el presente caso de estudio, para obtener un nuevo producto con características propias y a la vez evaluar los resultados (Q2 ION, 2020, p. 2).

Se emplea el espectrómetro de emisión óptica por chispa marca BRUKERION como se muestra en la figura 11-3, la muestra prevista debe ser preparada para ser situada sobre cámara de chispeo para que el espectrómetro realice el análisis, y arrojar los resultados representados en porcentajes de cada elemento que conforma la aleación (Q2 ION, 2020, p. 2).

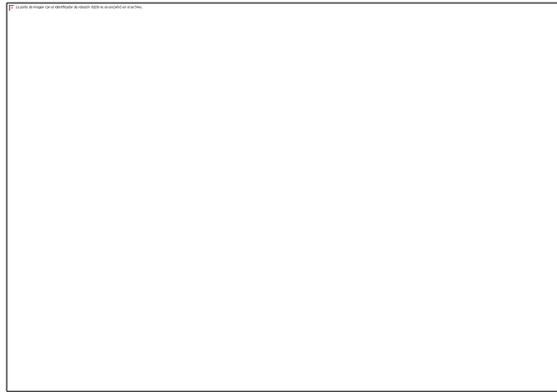


Figura 11-3: Espectrómetro de emisión óptica por chispa

Realizado por: Cayancela, 2021

Según la norma ASTM E 415 el tamaño de la muestra recomendado es de 10mm a 38mm estas dimensiones pueden variar dependiendo de la disponibilidad o en muchos casos del elemento que sea sometido a evaluación, mientras que para la preparación de la superficie de la muestra es la misma descrita para el ensayo de micrografía antes mencionado (Córdova, 2018).

3.4.3 Ensayo de Dureza

3.4.3.1 Dureza

Es una propiedad física que se basa en la unión firme de las moléculas, siendo la resistencia u oposición de un material a ser penetrado por otro.

3.4.3.2 Equipos de medición

Los equipos de medición son exclusivamente para determinar la dureza de los materiales. Para ello el equipo utilizado es un durómetro universal, modelo HBRV – 1875.5 de la compañía Laizhov Huaying Testing Instrument Co. Ltd, facilitado por el Laboratorio de Metalografía de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, este tiene la capacidad de utilizarse en escalas de Brinell, Rockwell A, B, C, y Vickers, sus especificaciones e encuentran detalladas en la tabla 4-3.

Tabla 4-3: Especificaciones Técnicas del Durómetro

Fuerza de Prueba	Brinell	1839; 612.9; 306.5N
	Rockwell	Prueba menor: 98.07N (10kgf) Prueba total: 1471; 980.7; 588.4N
	Vickers	980.7; 294.2N
Penetrador de Bola de Acero	Diámetro 1586; 2.5; 5 mm	
Penetrador de Cono de Diamante	Angulo del cono del vértice $120^\circ \pm 30'$ Radio esférico del vértice 0.20 ± 0.01 mm	
Penetrador de Pirámide de Diamante	Angulo de fase $136^\circ \pm 30'$ Unión entre caras opuestas ≤ 0.002 mm	
Máximo ancho de espécimen	200 mm	
Profundidad de Garganta	160 mm	
Energía:	AC 220V, 50/60HZ	

Fuente: Handbook, 1990

Realizado por: Cayancela, 2021

3.4.3.3 Ensayo de Dureza Brinell

Esta denominada como dureza a la resistencia a la penetración, abrasión, deformación o destrucción superficial de un material, al estar sometido a esfuerzos externos de otro cuerpo con una superficie más dura. También se puede definir a la capacidad de un material de absorber energía de un esfuerzo antes de la ruptura.

El número de la dureza de Brinell está relacionado a la carga P que ejerce el indentador de un diámetro determinado D, al área superficial de la huella.

$$HBS \text{ ó } HBW = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi D}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (8)$$

Donde:

D: Es el diámetro del indentador en mm

d: es el diámetro medio de la indentación

F: es la fuerza aplicada sobre la probeta.



Figura 12-3: La esfera penetra dejando una marca

Fuente: Tecnimetal, 2015

La normativa que regula el ensayo de dureza Brinell es la ASTM E 10 (Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials), que lo define de dos maneras, en el caso de utilizar un indentador de bola de acero se denomina HBS y en el caso de utilizar un indentador de bola de carburo de tungsteno se denomina HBW.

El diámetro de la huella impregnado por el indentador en la probeta se mide a través de un Microscopio micrómetro de marca Mutitoyo, tipo TM-100 con una tolerancia de 0,005 mm, en cuanto a su grado de libertad en el desplazamiento de la mesa es de forma horizontal y vertical.

3.4.3.4 Procedimiento del ensayo

- **Probeta:** la muestra que se utiliza será la que se obtuvo en el ensayo de micrografía.
- **Selección del tamaño del indentador:** Esta selección se hace en función al tipo de material de la probeta y al diámetro de la misma. Siendo de 10 mm para aceros duros y de 2,5 o 5 mm para materiales con una menor dureza. Para el caso de la probeta aluminio-silicio se selecciona 2,5 mm.
- **Carga a aplicarse:** La carga que se aplica en la muestra depende de la escala Brinell, está en función al diámetro del indentador, que corresponde en este caso de 187,5 kg.

- Distanciamiento entre huellas: Según la Norma ASTM E 10, el espacio entre el borde y las huellas debe ser mayor a tres veces el diámetro de la huella.

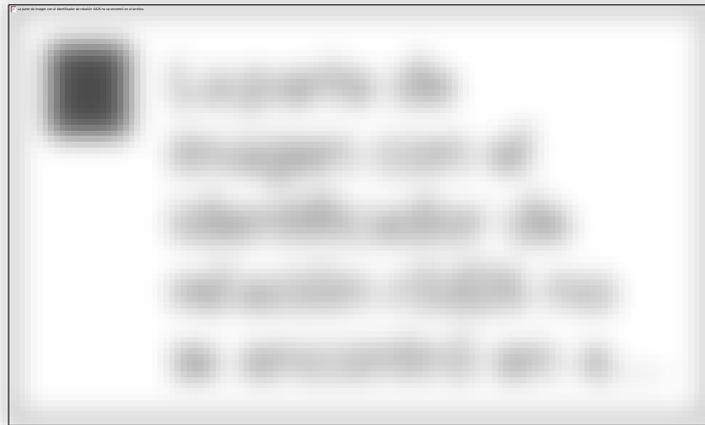


Figura 13-2: Espacios entre bordes de las huellas

Fuente: ASTM E 10

Gráfica 3-1: Espacio mínimo entre huellas

- Aplicación de carga. Se pone en contacto el indentador con la probeta, luego se aplica una fuerza inicial de referencia por unos segundos, se encera el equipo y se aplica la carga preliminar F por 10 segundos, que entregará la máxima profundidad de la huella.

3.4.3.5 Lectura de huella en el micrómetro

Se coloca la probeta en la mesa del equipo microscópico, las lecturas se obtienen desplazando el plato en diferentes posiciones, obteniendo así, la distancia de la huella. La Dureza Brinell está en función de la carga aplicada, diámetro de la huella y del indentador.

3.4.4 Ensayo de tracción

En la Ingeniería mediante el ensayo de tracción se puede obtener información referente a las propiedades mecánicas, para el desarrollo de un ensayo de tracción se requiere de una probeta normalizada, que es sometido a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la ruptura de la probeta. Mediante este ensayo se determina la resistencia de un material aplicada lentamente por la Máquina Universal o a una fuerza estática, estas deformaciones suelen ser muy pequeñas, así como las velocidades de deformación durante el ensayo.

3.4.4.1 Equipo Universal de ensayo

Los parámetros y velocidades empleados para el desarrollo de ensayo de tracción se definen en la tabla 5-3 y 6-3 respectivamente

Tabla 5-3: Parámetros del Equipo Universal

Parámetro	Valor	Unidad
Precarga	3000	N
Caída	100	%
Retorno Automático	0	
Limite Fuerza	1500000	N
Limite Desplazamiento	500	mm
Stop ext	1000	mm

Fuente: Carrocerías Ambato, 2020

Realizado por: Cayancela, 2021

Tabla 6-3: Parámetros del Equipo Universal

Velocidad	Valor	Unidad
Precarga	10	mm/min
Ensayo	10	mm/min
Retorno	100	mm/min
Posicionamiento	100	mm/min

Fuente: Carrocerías Ambato, 2020

Realizado por: Cayancela, 2021

3.4.4.2 Preparación de probetas

De acuerdo a la norma (INEN, 2009), se deben considerar las siguientes condiciones para que la probeta sea usada en la Máquina Universal, descritas en la tabla 7-3 y en la figura 14-3.

Tabla 7-3: Designación de dimensiones para la probeta

Referencia	Símbolo	Unidad	Designación
1	a^2	mm	Espesor de la probeta de ensayo plana o de la pared de un tubo
2	b	mm	Ancho de la longitud paralela de la probeta de ensayo plana o ancho promedio de una tira longitudinal tomada de un tubo o ancho de un alambre plano
5	L_o	mm	Longitud calibrada inicial
6	L_c	mm	Longitud paralela
7	L_t	mm	Longitud total de la probeta
9	S_o	mm^2	Área de la sección transversal inicial de la longitud paralela.
12	-	-	Superficie de agarre de la probeta para las mordazas

Fuente: INEN, 2009

Realizado por: Cayancela, 2021

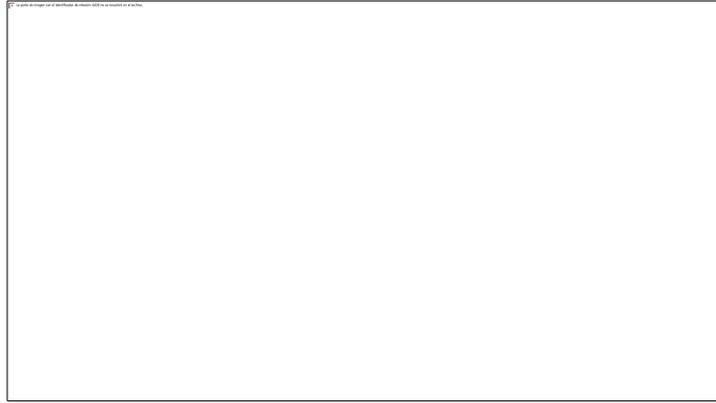


Figura 14-3: Configuración de la probeta para el ensayo de tracción

Fuente: INEN, 2009

3.4.4.3 Procedimiento

Mediante la tensión axial se produce un estiramiento al aplicar una fuerza, produciendo una deformación hasta el punto de la ruptura o fallo, es realizado en una máquina de tracción con características previamente mencionadas en la tabla 7-3, con los datos obtenidos se genera el diagrama esfuerzo – deformación como se muestra en el gráfico 3-4.

La manera apropiada de situar la probeta en la máquina de ensayo de tracción es colocar dentro de las mordazas la cual permite que se genere el efecto cuña evitando que la probeta se deslice y permita aplicar carga para extraer los datos y por ende el diagrama esfuerzo – deformación, De acuerdo a la calibración y características de la máquina de ensayos de tracción descritas en la tabla 5-3 y las velocidades en la tabla 6-3. El mecanismo de accionamiento puede ser neumático, hidráulico y en pocos casos manual, con la particularidad de que la velocidad es constante, así mismo la fuerza inicial no debe ser demasiado alto, puede causar un dato falso o generar deslizamiento de la probeta, El ensayo es de tipo destructivo, puesto que se deforma la probeta de manera permanente y finalmente se rompe, este proceso toma varios minutos en concluir.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS

En el presente capítulo se evidencia los resultados de los ensayos de: espectrometría, metalurgia, dureza y tracción, del pistón de aleación aluminio – silicio, obtenido mediante fundición presente en el pistón, objeto de estudio y comparación frente a uno original.

4.1 Diseño del pistón CAD

Mediante el software CAD (Solidworks) se realizó el modelado en función del pistón original para su dimensionamiento respectivo.

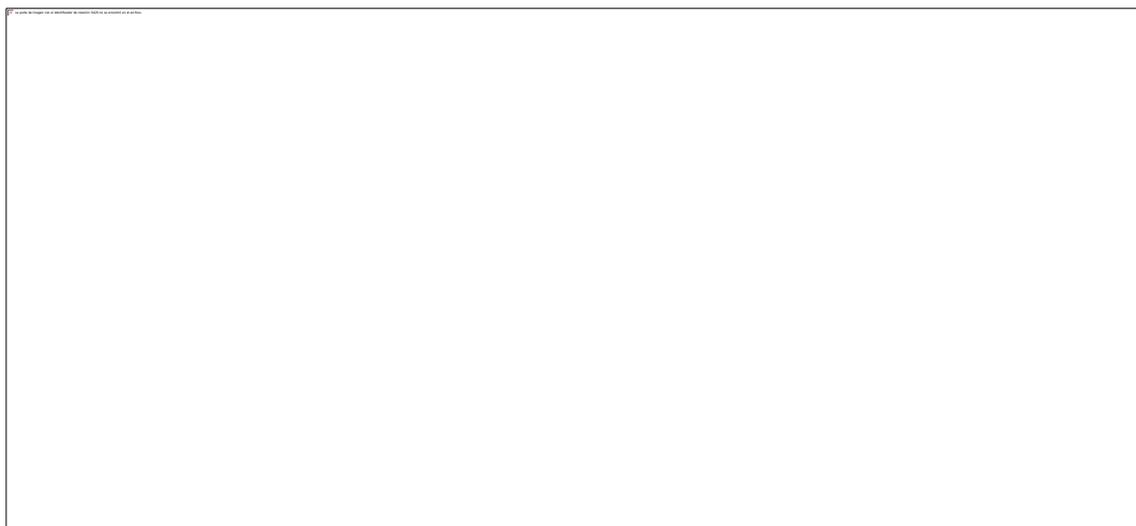


Figura 1-4: Software SOLIDWORKS

Realizado por: Cayancela, 2021

4.2 Impresión 3D

Una vez modelado se imprimió a través de una impresora 3D con el tipo de material PLA por poseer resistencia a la deformación facilitando la elaboración del molde de arena que posteriormente se emplea en el proceso de fundición en sí.

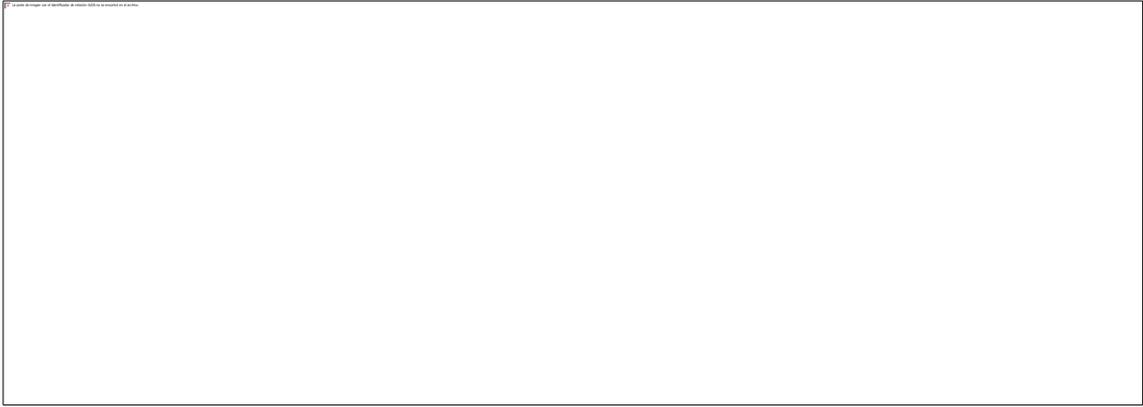


Figura 2-4: Pistón impreso con tipo de material PLA

Realizado por: Cayancela, 2021

4.3 Proceso de fundición

4.3.1 Obtención de la prima

Los principales elementos como materia prima para el presente estudio es el aluminio y silicio, que se puede encontrar en pistones reciclados, en este caso se opta por pistones de motocicletas y autos para el proceso de fundición, este a su vez es cortado por la mitad para facilitar el proceso de fundición

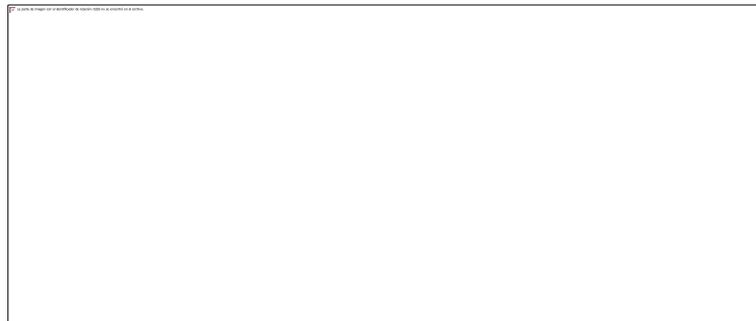


Figura 3-4: Pistones reciclados y seccionados

Realizado por: Cayancela, 2021

4.3.2 Preparación de la arena

La arena se preparó alcanzando las características de una arena verde para fundición que consta de 90% de arena 4% arcilla y 6 % de agua, de tal manera que permita elaborar el molde para fundición con el modelado impreso.



Figura 4-1: Preparación de la arena

Fuente: Cayancela, 2020

4.3.3 *Molde de arena*

El molde de arena está compuesto por dos partes, en la base se sitúa en el centro, el modelado impreso para posteriormente completarlo con arena de tal modo que quede cubierto absolutamente, a medida de que se añade la arena con la ayuda de la compactadora se procede a compactar la arena de tal modo que las partículas de arena verde quede solidificados para la posterior extracción del modelado impreso, quedando la cavidad de vaciado de la colada, para la obtención del pistón, como se muestra en la figura 5-4.

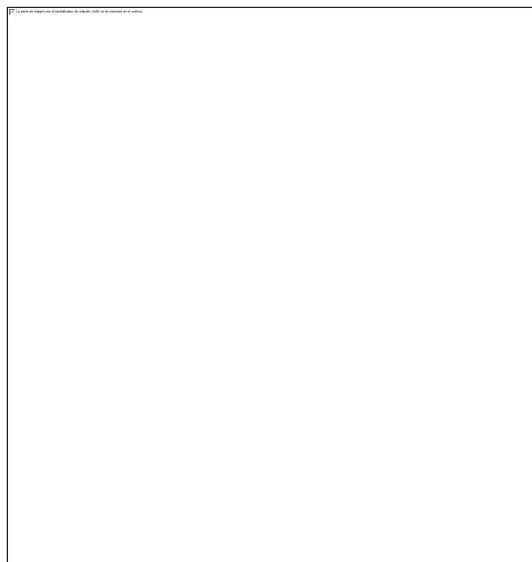


Figura 5-4: Elaboración del molde de arena

Realizado por: Cayancela, 2021

En la segunda parte del molde de arena (tapa) se procede a elaborar con el procedimiento anterior, el vertedero, por donde se vierte la colada para la fundición, como se indica en la figura 6-4.

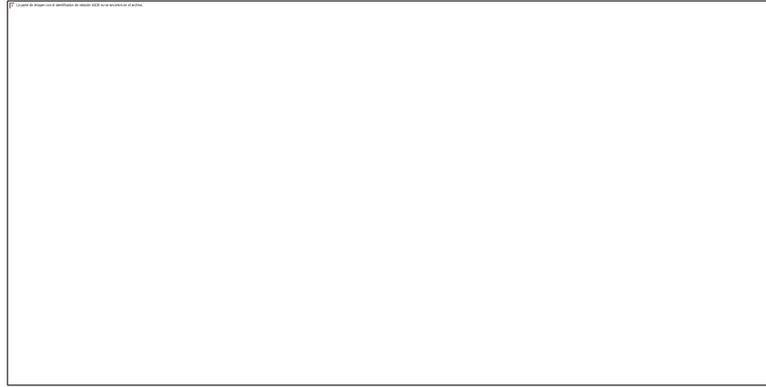


Figura 6-4: Parte superior del molde

Realizado por: Cayancela, 2021

4.3.4 Preparación y vertido de la colada

Con la materia prima lista se procede a elevar la temperatura de la materia prima en el interior del horno hasta alcanzar el estado líquido de la misma, supera aproximadamente los 900 °C de temperatura para alcanzar este punto, posteriormente con la ayuda de la cuchara de vaciado, se procede a vaciar en el molde de arena por el vertedero, como se muestra en la figura 7-4.

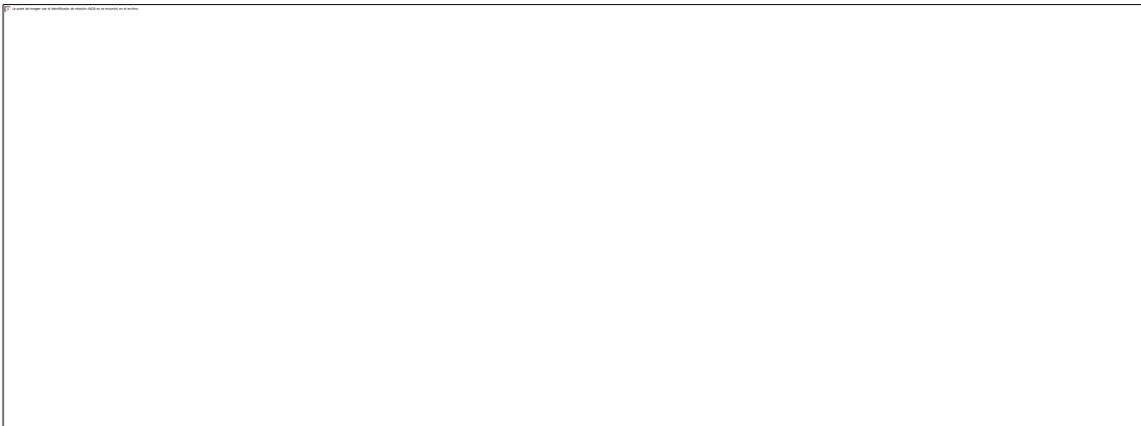


Figura 7-4: Preparación de la colada y su vertido en el molde de arena

Realizado por: Cayancela, 2021

4.3.5 Extracción del producto y mecanizado

El enfriamiento fue de tipo normalizado, al cabo de 25 minutos se retira del molde de arena quedando descubierto completamente el pistón como tal, posteriormente se procede al mecanizado respectivo con un torno CNC, sin embargo para determinar la calidad de fundición en el primer ejemplar se usa un torno convencional para obtener la forma final, mediante CNC se lo realizó una vez que se ha adquirido la técnica adecuada de vaciado de la colada en el molde de arena, así como se muestra en la figura 8-4.

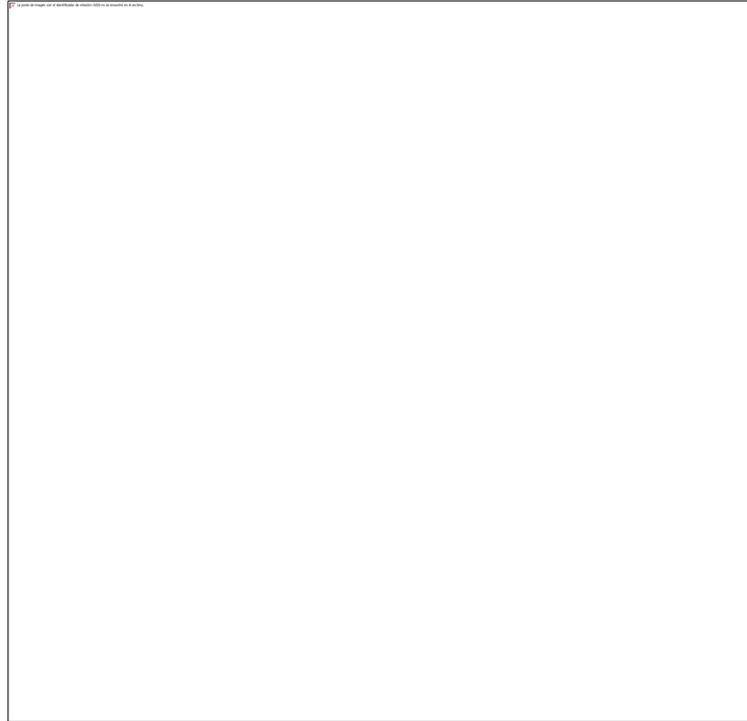


Figura 8-4: Extracción del pistón fundido y mecanizado

Realizado por: Cayancela, 2021

4.3.6 *Calculos aplicados durante el proceso de fundicion*

4.3.6.1 Consideraciones del molde

La pieza a obtener, al tener una configuración geométrica similar a un cilindro de dimensiones pequeñas, se emplea un molde sin mazarota puesto que el mismo bebedero cumple dicha función en este caso y además el sistema de colado es directo o por lluvia.

Por otra parte, el pistón obtenido presenta un volumen de $39,38 \text{ cm}^3$ y un área de sección transversal de $19,29 \text{ cm}^2$; además, la base inferior del bebedero tiene un diámetro de 2,2 cm y su altura de 15cm.

4.3.6.2 Tiempo de solidificación

Aplicando la ecuación 8 se puede estimar que:

$$T_{TS} = Cm \left(\frac{V}{A} \right)^2$$

$$T_{TS} = 2 \left(\frac{39,38}{19,29} \right)^2$$

$$T_{TS} = 8,33$$

Se requiere 8,33 minutos para la solidificación del pitón.

4.3.6.3 Bebedero

Al considerar en el presente trabajo de que el bebedero suplirá la función de mazarota es importante determinar que el tiempo de solidificación del bebedero que será un 40% adicional del tiempo de solidificación de la pieza, para disminuir el riesgo de contracción que ocurre en el proceso de solidificación de la aleación.

$$T_B = 1,4T_{TS}$$

$$T_B = 11,66$$

Por lo que el tiempo de solidificación del bebedero (T_B), se tarda 11,66 minutos, seguidamente se estima el volumen necesario que contendrá el bebedero mediante la ecuación 7, considerando que el diámetro de la base inferior es de 2,2 cm, y se tiene que:

$$T_B = Cm \left(\frac{V_B}{A} \right)^2$$

$$V_B = A \sqrt{\frac{T_B}{Cm}}$$

$$V_B = 3,80 \sqrt{\frac{11,66}{2}}$$

$$V_B = 9,17$$

Resultando un volumen necesario de $9,17 \text{ cm}^3$, por consiguiente, se tiende a calcular el Área superior del bebedero para lo cual se aplica la ecuación 4, de la manera que se tiene:

$$\frac{A_1}{A_2} = \sqrt{\frac{h_1}{h_2}}$$

$$A_1 = A_2 \sqrt{\frac{h_1}{h_2}}$$

$$A_1 = 3,80 \sqrt{\frac{21,31}{6,31}}$$

$$A_1 = 6,98$$

Se puede determinar que requiere una superficie de $6,98 \text{ cm}^2$, por lo que el diámetro del bebedero será de 2,98 cm.

4.3.6.4 Otros cálculos

Con los datos obtenidos se puede determinar la velocidad de vertido en el fondo del bebedero, que se limita a la ecuación 5, y se tiene:

$$v = \sqrt{2gh}$$
$$v = \sqrt{2 * 9,81 * 0,15}$$
$$v = 1,72 \text{ m/s}$$
$$v = 10320 \text{ cm/min}$$

El gasto volumétrico cumple la ecuación 6 y se obtiene que:

$$Q = v_1 A_1$$
$$Q = 10320 * 3,80$$

Se determina que el gasto volumétrico es de $39216 \text{ cm}^3/\text{min}$, y mediante el dato obtenido se puede determinar el tiempo de vaciado que esta sujeta a la ecuación 7, que se expresa.

$$T_{MF} = \frac{V}{Q}$$
$$T_{MF} = \frac{10320}{39216}$$
$$T_{MF} = 0,26$$

De esta manera se puede estimar que se ha empleado 0,26 minutos (15,79 segundos) en el proceso de vaciado de la colada.

4.4 Probetas de ensayos

Para cada uno de los ensayos se ha obtenido con el mismo proceso de fundición y se ha preparado de acuerdo a los diferentes procedimientos descritos en el capítulo anterior, las probetas elaboradas se muestran en la figura 9-4.

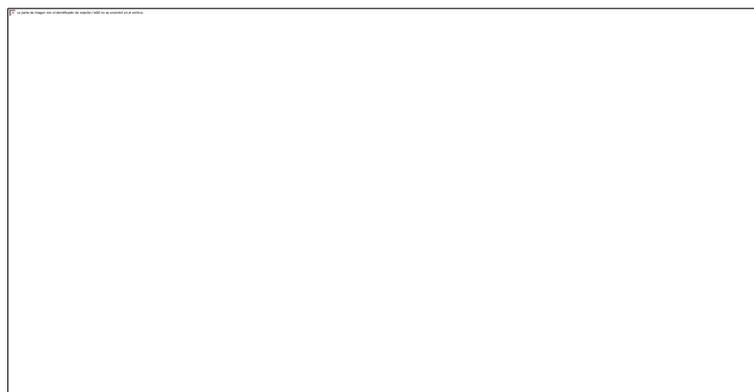


Figura 9-4: Preparación de probetas para los ensayos correspondientes
Realizado por: Cayancela, 2021

4.5 Ensayos

Los ensayos se realizan en base al procedimiento descrito en el capítulo anterior y se obtuvo los siguientes resultados que se describen a continuación:

4.5.1 Ensayos de espectrometría

4.5.1.1 Pistón original



Gráfico 1-4: Resultado de espectrometría del pistón original

Fuente: Laboratorio de Materiales ESPOCH, 2020

Como se observa en la gráfica 1-4 el ejemplar original contiene 54,32% de aluminio y 29,49 % de silicio, elementos que están presentes en la aleación y que son objetos del presente estudio, estos datos son los que generalmente se hallan con los pistones comercializados en el mercado, muy escasos hoy en día.

4.5.1.2 Pistón obtenido

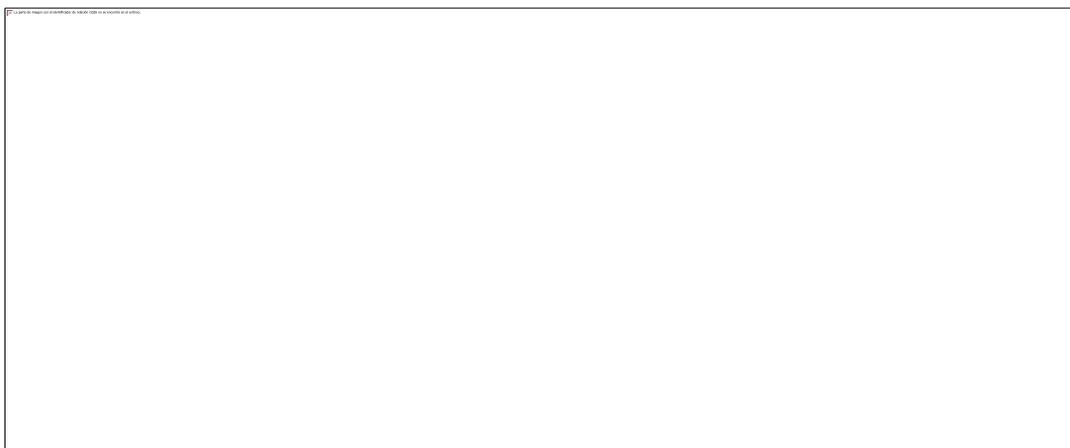


Gráfico 2-4: Resultado de espectrometría del pistón obtenido

Fuente: Laboratorio de Materiales ESPOCH, 2020

En la gráfica 2-4 se muestra un contenido en la aleación de 74,47% de aluminio y 13,64% de silicio, porcentajes en masa, que se generó en base a la materia prima reciclada, que se obtuvo en el pistón fundido.

4.5.2 *Ensayo de dureza*

Para el desarrollo del ensayo de dureza se realiza la toma de 5 datos para tener confiabilidad en el resultado final, a continuación, se describen para cada uno.

4.5.2.1 *Pistón original*

Tabla 1-4: Durezas obtenidas del pistón original

Nº.	Diámetro	Unidad	Dureza	Unidad
1	0,8	mm	363	Kg/mm^2
2	0,8	mm	363	Kg/mm^2
3	0,8	mm	363	Kg/mm^2
4	0,8	mm	363	Kg/mm^2
5	0,8	mm	363	Kg/mm^2

Fuente: Cayancela, 2020

Realizado por: Cayancela, 2021

El pistón original al tratarse de un material cuya dureza es homogénea en todos los puntos, en base a la tabla 1-4 se obtiene una dureza promedio de $363 Kg/mm^2$

4.5.2.2 *Pistón obtenido*

Tabla 2-4: Durezas obtenidas del pistón obtenido

Nº.	Diámetro	Unidad	Dureza	Unidad
1	1	mm	229	Kg/mm^2
2	0,975	mm	241	Kg/mm^2
3	0,950	mm	255	Kg/mm^2
4	1	mm	229	Kg/mm^2
5	0,975	mm	241	Kg/mm^2

Fuente: Cayancela, 2020

Realizado por: Cayancela, 2021

La dureza ha tenido una variación en las diferentes probetas obtenidas del proceso de fundición por molde de arena verde, sin embargo, según la tabla 2-4, con los datos obtenidos se tiene una dureza promedio de $239 Kg/mm^2$.

4.5.3 Ensayo de metalografía

De acuerdo a (Pere, 1990) el silicio cristaliza con el aluminio en forma de láminas relativamente grandes o en forma de agujas, indistintamente de las fases presentes, como se muestra en la figura 10-4. A continuación, en las figuras 11-4 y 12-4, se tiene las muestras cristalográficas pertenecientes al pistón original y al pistón obtenido en el presente trabajo, en donde se aprecia granos cristalográficos en forma de láminas alargadas o agujas, lo cual podría tratarse de silicio proeutectoide contenidas en una matriz de aluminio y silicio eutéctico.

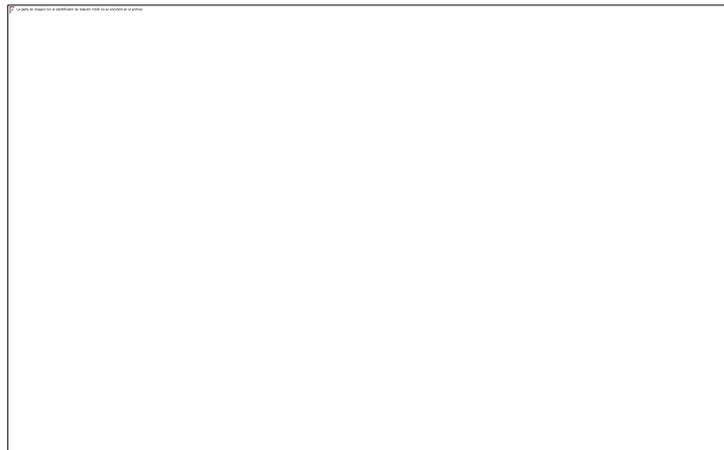


Figura 10-4: Microestructura del aluminio-silicio no modificado, 500X

Fuente: Pere, 1990

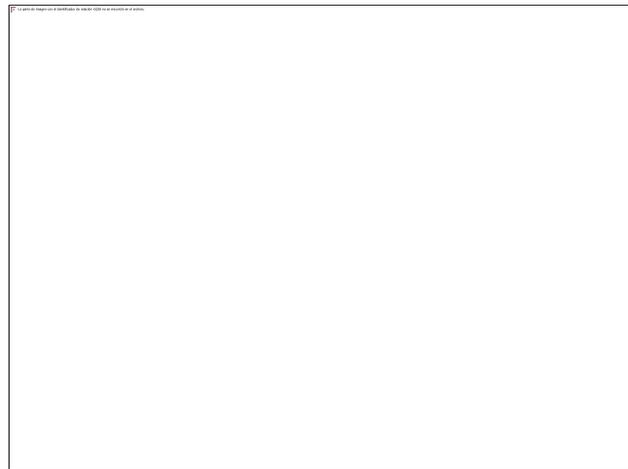


Figura 11-4: Observación microscópica pistón Original –
microestructura aluminio – silicio

Realizado por: Cayancela, 2021



Figura 12-4: Observación microscópica pistón obtenido –
microestructura aluminio – silicio

Realizado por: Cayancela, 2021

Para la interpretación del ensayo de metalografía se estimó los porcentajes de fase presentes en la aleación, tomando en cuenta que el porcentaje de Silicio se ubica hacia la derecha del punto eutéctico, por lo que se considera que en la muestra obtenida las fases presentes son silicio proeutectico rodeado de una matriz aluminio – silicio eutéctico.

Aplicando la regla de la palanca al diagrama de fases Al – Si de la grafico 1-2, la cantidad de fases presentes se aproxima como se muestra a continuación.

$$\% Si_{proeut} = \frac{23,64 - 12,6}{100 - 12,6} * 100 = 12,63\%$$

$$\%(Al + Si)_{eut} = 100 - 13,03 = 87,37\%$$

$$\%(Si_{eut} + Si_{proeut}) = \frac{23,64 - 1,6}{100 - 1,6} = 22,40 \%$$

$$Al_{eut} = 100 - 22,40 = 77,6 \text{ (Al Primario)}$$

$$Si_{eut} = \%(Si_{eut} + Si_{proeut}) - \% Si_{proeut} = 22,40 - 12,63 = 9,77\%$$

Con la ayuda de un software CAD, se procede a calcular la cantidad de fases presentes en función de las áreas que ocupan dentro de la muestra fotografiada, dando como resultado que el contenido de silicio proeutético es del 11.6999 %. Este valor se aproxima al valor calculado mediante regla de la palanca, con lo cual se verifica dicho resultado.

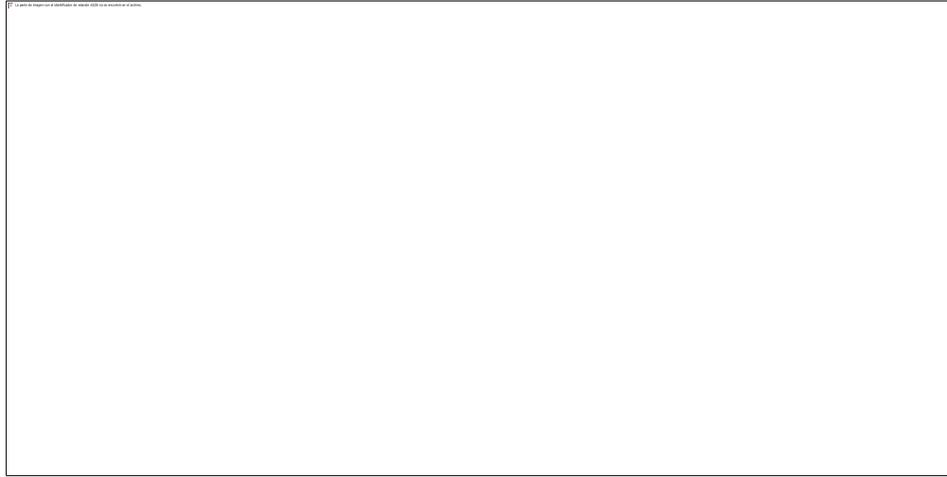


Figura 13-4: Calculo de fases en función de áreas

Realizado por: Cayancela, 2021

4.5.4 *Ensayo de tracción*

El ensayo de tracción se lo realizó solo con el material fundido mediante el proceso antes mencionado, para obtener el dato de límite de esfuerzo de la aleación resultante, la gráfica 3-4 proporciona información que se detallan en la tabla 3-4.

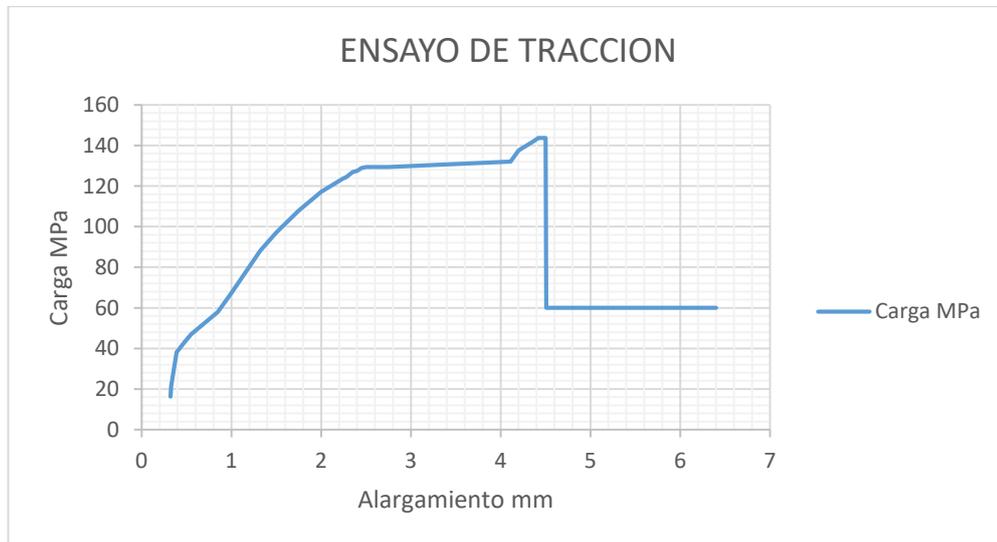


Gráfico 3-4: Ensayo de tracción de la probeta del material obtenido

Realizado por: Cayancela, 2021

Tabla 3-4: Resumen general de los resultados obtenidos

Ensayo	Pistón Obtenido	Pistón Original
Espectrometría	% Al = 74,57 % Si = 23,64 % Fe = 0,705 % Cu = 0,212	% Al = 54,32 % Si = 29,49 % Fe = 1,898 % Cu = 5,657
Dureza Brinell	239 <i>HB</i>	363 <i>HB</i>
Tracción	Desplazamiento: 1, 58 mm Límite de fluencia: 129,36 MPa Esfuerzo ultimo de tracción: 143,73 MPa	Desplazamiento: mm Límite de fluencia: MPa Esfuerzo ultimo de tracción: MPa -
Espectrometría	Se considera que en la muestra obtenida las fases presentes son silicio proeutéctico rodeado de una matriz aluminio – silicio eutéctico.	Se considera que en la muestra original se tiene varias fases intermetálicas en la matriz de aluminio silicio.

Fuente: Cayancela, 2020

Realizado por: Cayancela, 2021

CONCLUSIONES

En el modelado es importante considerar una sobremedida en las superficies externas como margen de seguridad, para contrarrestar efectos de contracción del metal cuando este solidifica y se enfría a temperatura ambiente, además con la intención de dar un buen acabado superficial en el proceso de mecanizado de la pieza obtenida, esto tras el proceso de fundición.

Mediante el empleo de los diferentes ensayos y tras conocer las aleaciones del ejemplar original, se determina que durante el proceso de fundición por molde de arena la acción de la temperatura sobre los elementos constituyentes tiende a evaporarse, así mismo, durante el vaciado de la colada en el molde de arena, las cavidades pueden generar pequeñas turbulencias mismo que se nota la presencia del fenómeno de la porosidad.

Caracterizando mediante los diferentes ensayos en el pistón obtenido, se determina que este presenta variación relativamente baja en las propiedades específicas, tales como una disminución en la dureza y un aumento en el coeficiente de fricción.

Con el proceso de fundición realizado se puede mencionar que la materia prima a partir del reciclado disminuye los costos de fabricación, puesto que se aprovecha la mayor parte de los elementos constituyentes, además, contribuye con el medio ambiente reduciendo el impacto ambiental y promoviendo a nuevas visiones.

RECOMENDACIONES

Hacer una revisión bibliográfica profunda con la finalidad de seleccionar una metodología apropiada y emplear en el proceso de fundición por molde de arena y aprovechar al máximo los recursos existentes.

Durante la adquisición de materia prima es necesario considerar que los pistones deberán ser de un solo tipo o modelo, siendo así solo pistones de cuatro tiempos, diésel o dos tiempos, puesto que cada una ofrece diferentes elementos en su constitución.

Para el proceso de fundición es importante cumplir con las medidas de seguridad industriales, así mismo, tener un grado de conocimiento en el uso de las diferentes máquinas y herramientas para garantizar la integridad personal.

Para la ejecución de las pruebas y ensayos es importante cumplir con las normas que rigen a cada una, para garantizar de que los datos obtenidos sean los esperados, por otra parte, también es vital cumplir a cabalidad con los procedimientos de laboratorio ya que dicho incumplimiento genera variación en la toma de datos y por ende una mala interpretación de resultados.

GLOSARIO

A 356: Es una especificación estándar para aleaciones de aluminio en molde de arena misma que indica que el silicio y el magnesio son principales elementos aleantes (ASTM B26/B26M-14).

ABS: Proviene de la sigla en inglés de acrilonitrilo butadieno estireno, termoplástico derivado del petróleo de uso muy común para el diseño de piezas de LEGO (Bordignon & Iglesias, 2018, pp. 38-40).

Arena verde: Consiste en la mezcla de arena, arcilla y agua, este término de arena verde hace referencia a que el molde contiene humedad al momento del vaciado de la colada (Torres, 2019).

Biela: Es una pieza generalmente de una aleación de aluminio que transmite la fuerza expansiva, que recibe del pistón", hacia el cigüeñal (Bohneret et al., 1985; citado en Escudero 2011).

CAD: Siglas correspondiente al diseño asistido por ordenador y es un conjunto de herramientas informáticas que tienen por objetivo ayudar al técnico en la realización física de los planos de un proyecto o prototipo (Domínguez y Espinosa, 2002; citado en Díaz 2013, p. 3).

Densidad: Es la relación que existe entre el peso o masa de un cuerpo y el volumen que ocupa, por norma general, la densidad de una sustancia se expresa en gramos por centímetro cúbico o en kilos por litros (Nayak & Karthik, 2001).

Diagrama de fase: Permite conocer qué fases se forman, a qué temperatura se forman las fases, las cantidades relativas de cada fase, la composición de las fases y cómo se distribuyen los elementos solutos entre las fases y cuán difícil o fácil será colocar un elemento de aleación específico en un elemento dominante (Sigworth, 2013, p. 1)

Fase intermetálica: Es la adición de un elemento a una aleación previa con una nueva fase con su propia composición, estructura cristalina, para obtener nuevas propiedades específicas requeridas por el autor (Askeland et al., 2010).

Fusion: Es el grado de calor, en que un cuerpo sólido se transforma en estado líquido (Brown, 1999).

Micrografía: Es la ciencia que estudia las características micro estructurales de metales o aleaciones, las cuales están relacionadas con las propiedades químicas y mecánicas. (Metalinspec, 2019)

PLA: Del término en inglés, de ácido poliláctico, que es un plástico biodegradable derivado del almidón, material muy común en el mercado a costos accesibles por lo que tiene mucha popularidad en el ámbito educativo, para la elaboración de prototipos de proyectos, mecanismos, objetos que se requiera en el medio social (Bordignon & Iglesias, 2018, pp. 38-40).

PMI: Es el punto más cercano al cigüeñal cuando el pistón desciende a lo largo del cilindro de un motor de combustión interna (Bohneret et al., 1985; citado en Escudero 2011).

PMS: Es el punto más próximo que alcanza el pistón en su movimiento de ascenso en el interior del cilindro de un motor de combustión interna (Bohneret et al., 1985; citado en Escudero 2011).

UTS: Es la abreviación de la resistencia última a la tracción, termino empleado en los ensayos de tracción en materiales (Nayak & Karthik, 2001, pp. 3-5).

BIBLIOGRAFÍA

ASKELAND, Donal; et al. *The Science and Engineering of Materials* [en línea]. 7ª ed. Boston-USA: Cengage Learning INC, 2016. [Consulta: 12 abril 2020]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=-KOaBAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=The+Science+and+Engineering+of+Materials&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKewjytbn1I_vAhUyo1kKHQ6MBIqQ6AEwAHoECAQQAg#v=onepage&q=The%20Science%20and%20Engineering%20of%20Materials&f=false

ASM INTERNATIONAL HANDBOOK COMMITTEE. *Metallography and Microstructures Handbook* [en línea]. 9ª ed. USA: ASM International, 2004. [Consulta: 15 abril 2020]. Disponible en: https://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/06044G_Frontmatter.pdf

ASM INTERNATIONAL HANDBOOK COMMITTEE. *Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials* [en línea]. 2ª ed. USA: ASM International, 1993. [Consulta: 07 mayo 2020]. Disponible en: http://sme.vimaru.edu.vn/sites/sme.vimaru.edu.vn/files/volume_2_properties_and_selection_nonf.pdf

ASTM B26 / B26M - 14e1, 2015. Standard Specification for Aluminum-Alloy Sand Castings. Part 7: Chemical Composition

ASTM E8 / E8M – 21, 2014. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. Part 6: Test Specimens

ASTM E10 – 18, 2017 Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials. Part 3: Terminology and Equations

ASTM E415 – 17, 2017. Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry. Part 9: Preparation of Specimens and Reference Materials

BARREIRO, Jenifer. *Eutectic modification of Al-Si casting alloys* [en línea]. Sweden- Suecia: Lyu tryck, 2019. [Consulta: 26 abril 2020]. Disponible en: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1351010/FULLTEXT01.pdf>

CAO, Xinjin & CAMPBELL, John. “The nucleation of Fe-Rich phases on oxide films in Al11.5Si0.4Mg cast alloys”. *Metall mater trans a* [en línea], 2003, (Canada). [Consulta: 20 agosto 2009]. ISSN 1090-7807. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/248131734_The_nucleation_of_Fe-Rich_phases_on_oxide_films_in_Al115Si04Mg_cast_alloys

CHEN, Rui; et al. “Effect of cooling rate on solidification parameters and microstructure of Al-7Si-0.3Mg-0.15Fe alloy”. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* [en línea], 2014, (China). [Consulta: 20 agosto 2009]. ISSN 1090-7807. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/264085735_Effect_of_cooling_rate_on_solidification_parameters_and_microstructure_of_Al

DAVIS, Joseph. *Aluminum and Aluminum Alloys* [en línea]. 6ª ed. USA: ASM International, 2007. [Consulta: 22 abril 2020]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=Lskj5k3PSIcC&printsec=frontcover&dq=Aluminum+and+Aluminum+Alloys&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjrvK-U3I_vAhXDq1kKHWhrD_UQ6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q=Aluminum%20and%20Aluminum%20Alloys&f=false

DINIIS, C; et al. “As-cast morphology of iron-intermetallics in Al-Si foundry alloys”. *Pergamon-Elsevier Science Ltd* [en línea], 2005, (Oxford). [Consulta: 20 agosto 2009]. ISSN 1090-7807. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2005.06.028>

DINIIS, C; et al. “Eutectic modification and microstructure development in Al-Si Alloys. Materials Science and Engineering A, 413-414, 243-248”. *Pergamon-Elsevier Science Ltd* [en línea], 2005, (Oxford). [Consulta: 20 agosto 2009]. ISSN 1090-7807. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509305011147>

KALPAKJIAN, Serope & SCHMID, Steven. *Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials* [en línea]. 4ª ed. México: Pearson Education Company, 2002. [Consulta: 18 agosto 2020]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books/about/Manufactura_ingenier%C3%ADa_y_tecnolog%C3%ADa.html?id=gilYI9_KKAoC&printsec=frontcover&source=kp_read_button&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

KATTNER, Ursula & BURTON, B. “Phase Diagrams of Binary Iron Alloys, Al-Fe (Aluminum-Iron)”. *Revista Materia* [en línea], 2019, (Argentina). [Consulta: 20 agosto 2009]. ISSN 1090-7807. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/334684428_Phase_Diagrams_of_Binary_Iron_Alloys_AI-Fe_Aluminum-Iron

KAUFMAN, Gilbert & ROOY, Elwin. *Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications* [en línea]. USA: ASM International, 2004. [Consulta: 14 mayo 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=JM0u1vwrS5UC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

KRAL, M. “A crystallographic identification of intermetallic phases in Al–Si alloys”. *Elsevier* [en línea], 2005, (New Zealand). [Consulta: 20 agosto 2009]. ISSN 1090-7807. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167577X05002405>

KRAL, Milo; et al. “Electron microscope studies of Al-Fe-Si intermetallics in an Al-11 Pct Si alloy”. *Metall mater trans a* [en línea], 2006, (Canada). [Consulta: 20 agosto 2009]. ISSN 1090-7807. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/225838731_Electron_microscope_studies_of_AI-Fe-Si_intermetallics_in_an_AI-11_Pct_Si_alloy

MIKELL, Groover. *Fundamentos de manufactura moderna* [en línea]. 3ª ed. México: Mcgraw-hill/interamericana editores, s.a. de c.v, 2007. [Consulta: 05 mayo 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/33002366/Fundamentos_de_manufactura_moderna_3edi_Groover

MACKAY, R. “Quantification of iron in aluminium-silicon foundry alloys via thermal analysis”. *International Journal of Cast Metals Research* [en línea], 2016, (London). [Consulta: 20 agosto 2009]. ISSN 1090-7807. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13640461.1997.11819228>

PAZ, Guillermina & EUGENIA, María. *Metodología de la Investigación* [en línea]. México: Grupo editorial patria, 2014 [Consulta: 12 mayo 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=6aCEBgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Metodolog%C3%ADa+de+la+investigaci%C3%B3n+2014&hl=es->

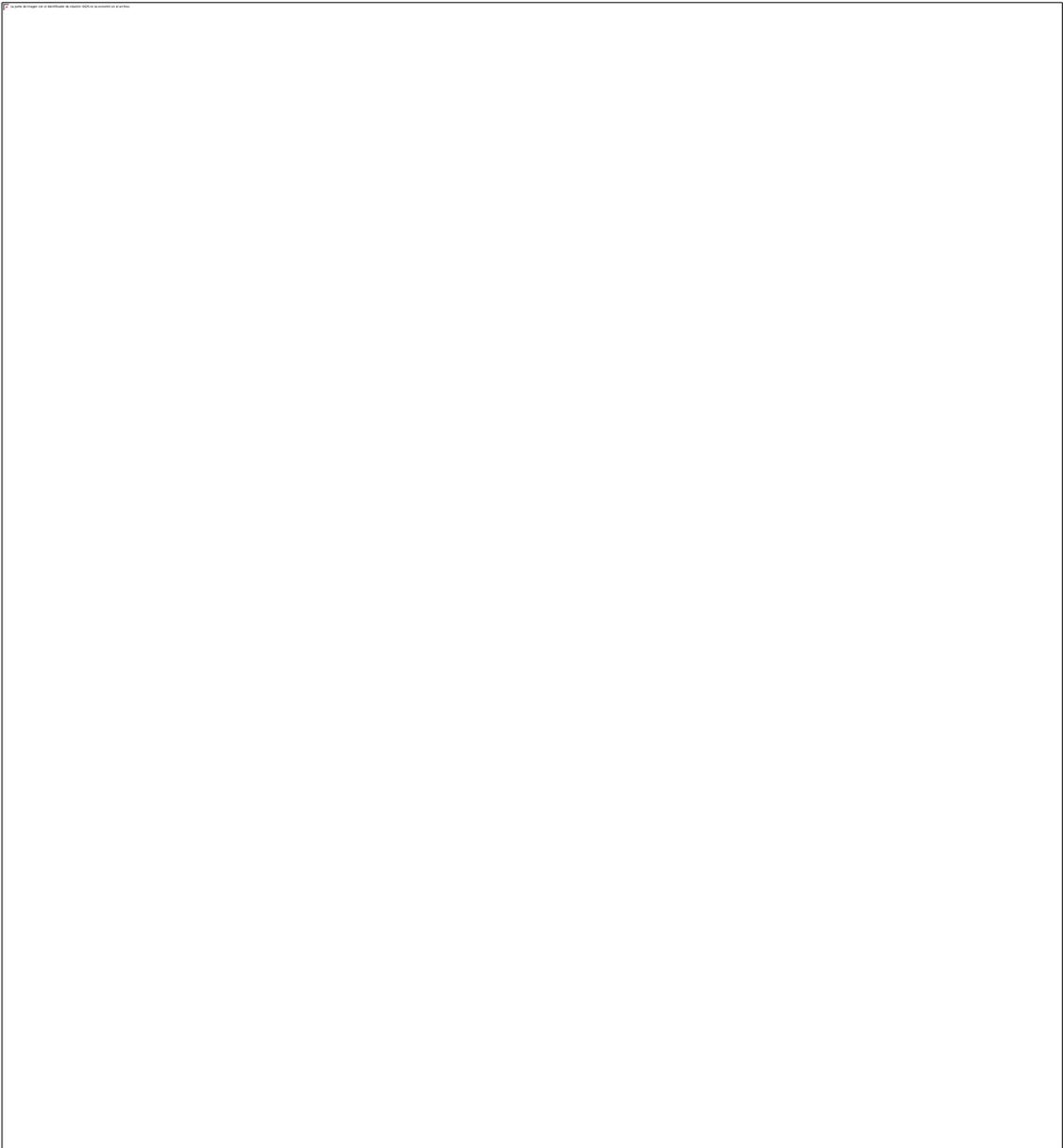
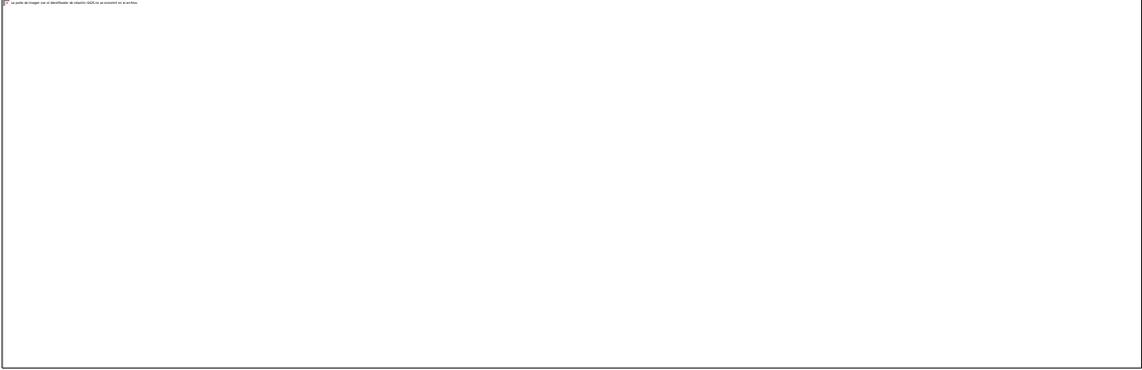
419&sa=X&ved=2ahUKEwj1gomErJDvAhXGxVvKHfjdA6QQ6wEwAHoECAMQAQ#v=onepage&q&f=false

ROMMING, C; et al. “Crystal structure of p-Al₄.5FeSi”. *Acta Crystallographica Section B* [en línea], 1993, (Great Britain). [Consulta: 20 agosto 2009]. ISSN 1090-7807. Disponible en: <http://scripts.iucr.org/cgi-bin/paper?S0108768193013096>

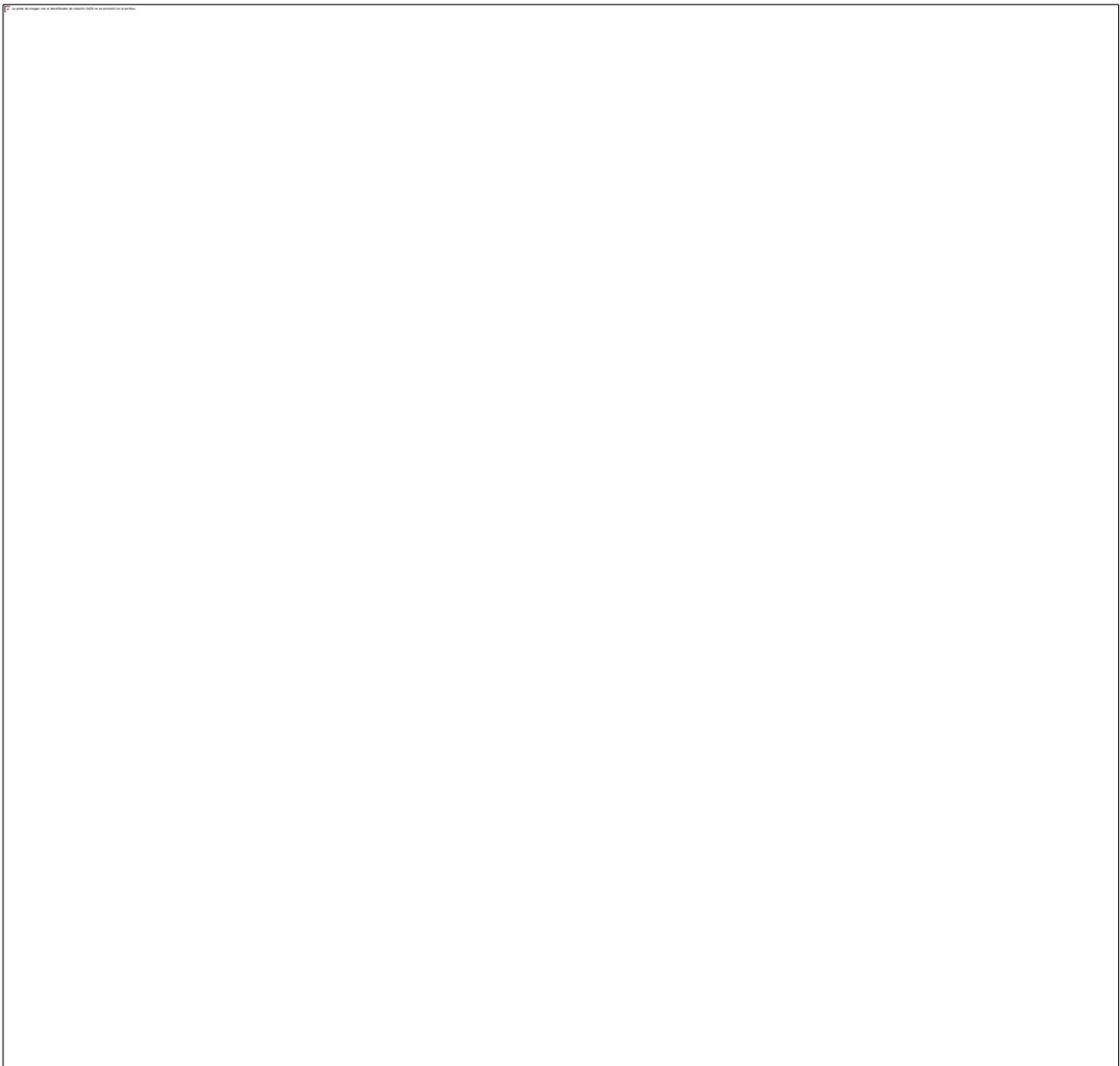
XIAOGANG, Jian & QINGYOU, Han. “Formation of hypereutectic silicon particles in hypoeutectic Al-Si alloys under the influence of high-intensity ultrasonic vibration”. *Oversas Foundry* [en línea], 2013, (USA). [Consulta: 20 agosto 2009]. ISSN 1090-7807. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/287429937_Formation_of_hypereutectic_silicon_particles_in_hypoeutectic_Al

ANEXOS

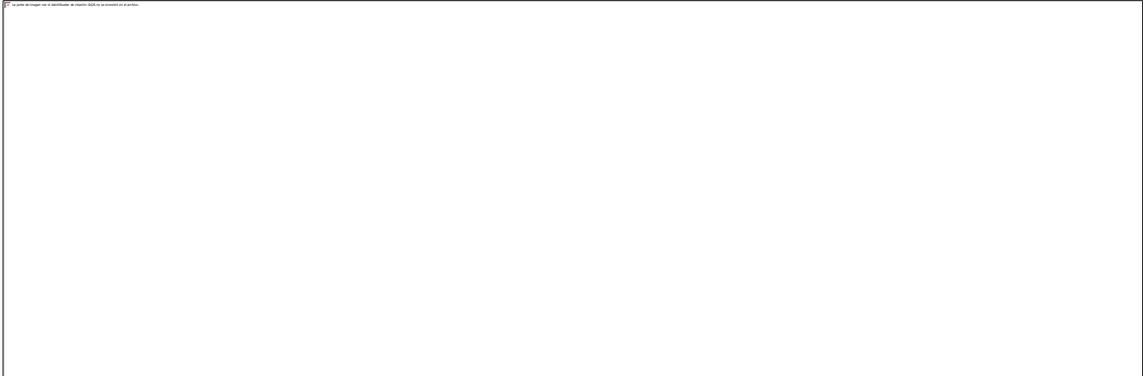
ANEXO A: ASTM E8/E8M “MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA PRUEBAS DE TENSIÓN DE MATERIALES METÁLICOS



ANEXO B: ASTM B26/B26M “MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA PRUEBA DE TENSIÓN DE MATERIALES METÁLICOS”



ANEXO C: ASTM E415 - 17 “MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL ANÁLISIS DE ACERO AL CARBONO Y DE BAJA ALEACIÓN MEDIANTE ESPECTROMETRÍA DE EMISIÓN ATÓMICA DE CHISPA”



9. Preparation of Specimens and Reference Materials

9.1 The specimens and reference materials shall be prepared in the same manner. A specimen cut from a large sample section shall be of sufficient size and thickness for preparation and to properly fit the spectrometer stand. A 10-mm to 38-mm thick specimen is normally most practical.

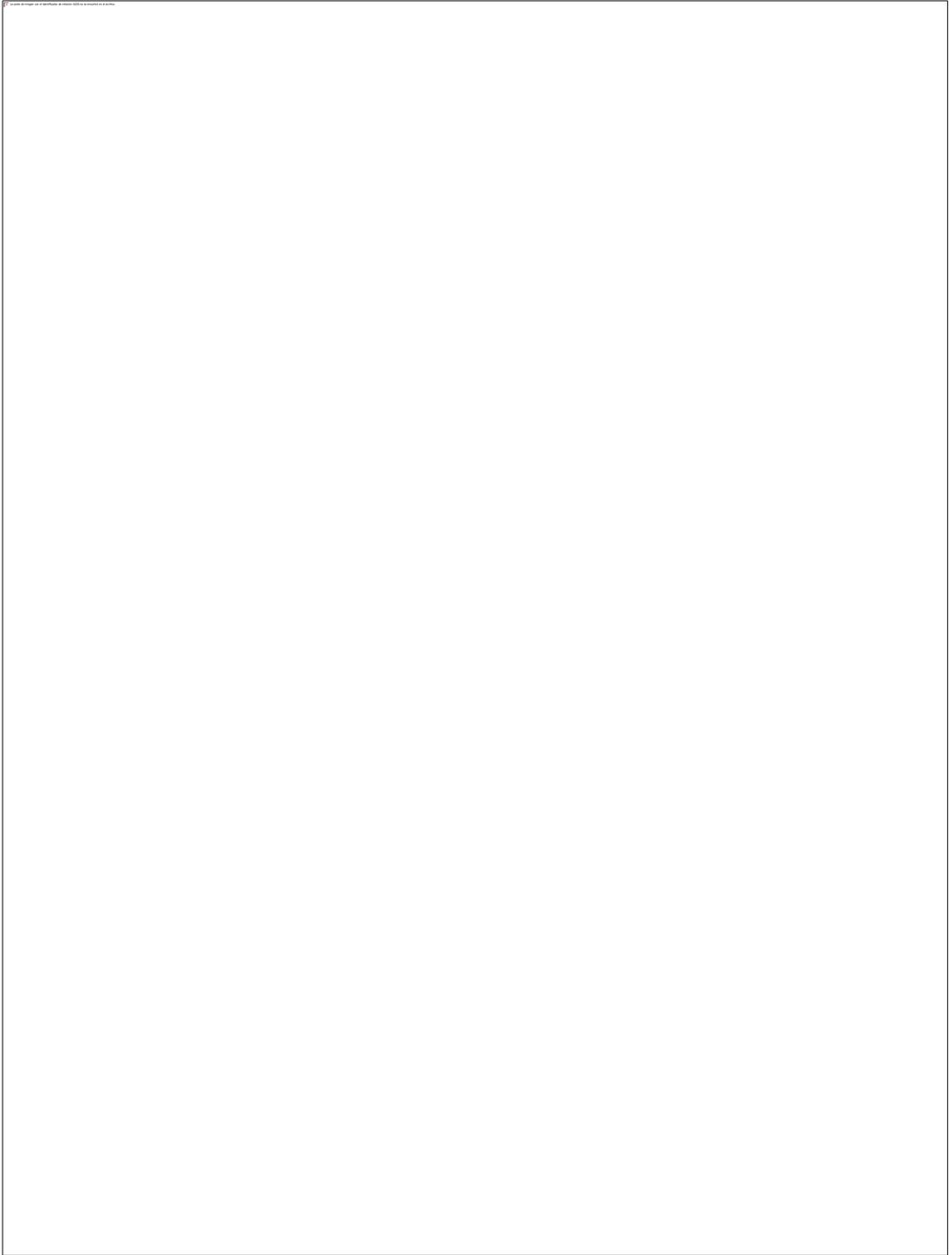
9.2 Ensure that the specimens are free from voids and pits in the region to be measured (Note 5). Initially, grind the surface with a 50-grit to 80-grit abrasive belt or disc (wet or dry) or mill the surface. If wet grinding, perform the final grind with a dry abrasive belt or disc. A finer abrasive grinding media (forexample, 120-grit) may be used for the final grind, but is not essential.

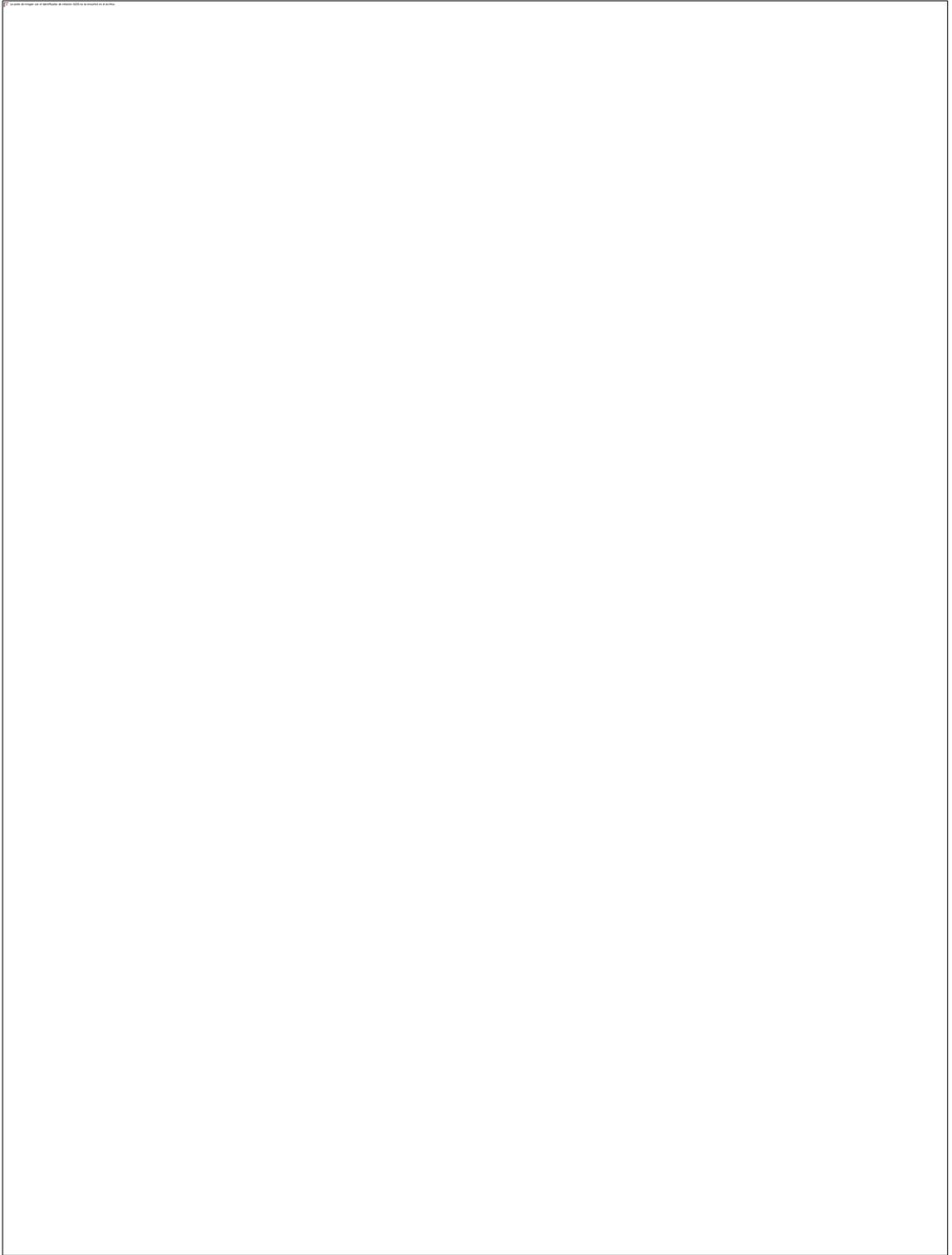
NOTE 5—Specimen porosity is undesirable because it leads to the improper “diffuse-type” rather than the desired “concentrated-type” discharge. The specimen surface should be kept clean because the specimen is the electron emitter, and electron emission is inhibited by oily, dirty surfaces.

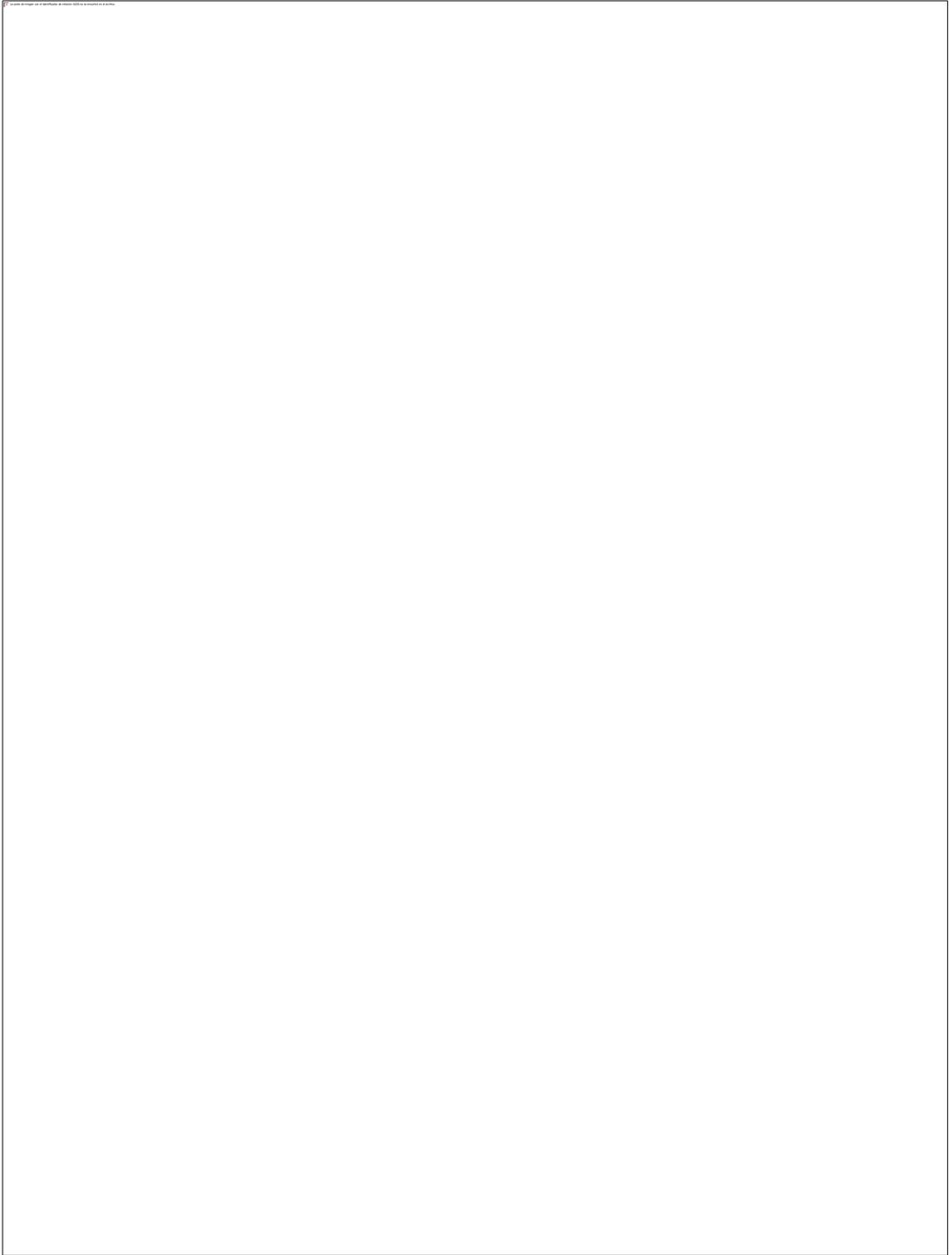
9.2.1 Reference materials and specimens shall be refinished dry on an abrasive belt or disc before being remeasured on the same area

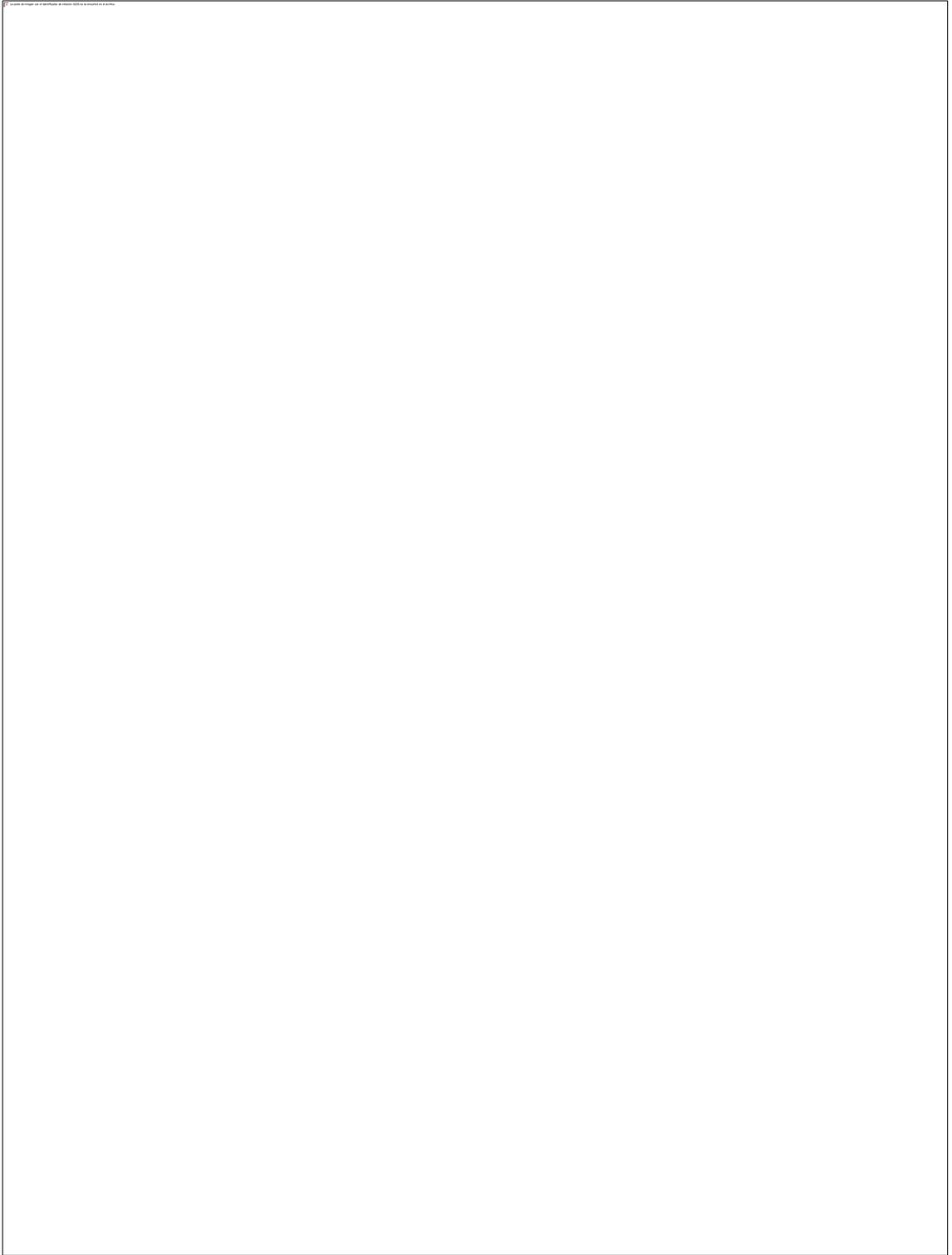
**ANEXO D: ASTM E10 - 17 “MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DUREZA
BRINELL DE MATERIALES METÁLICOS”**

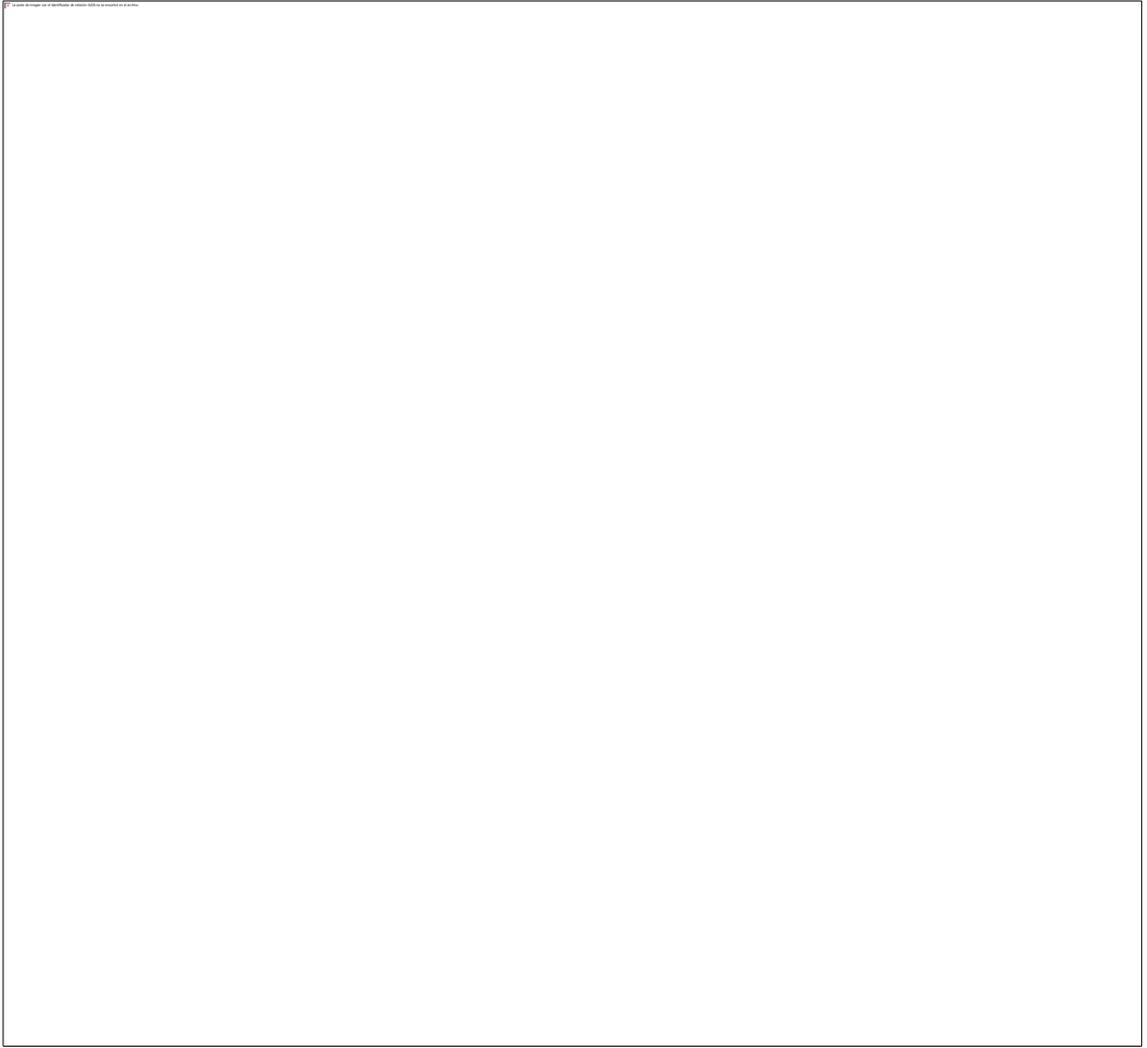






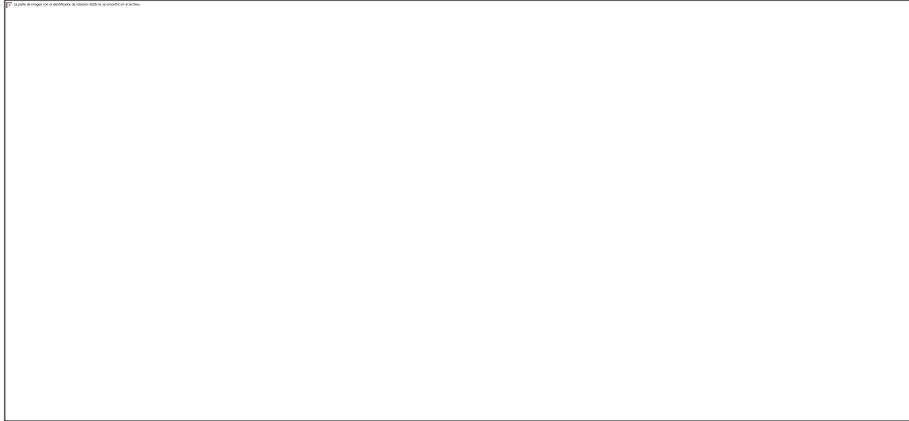




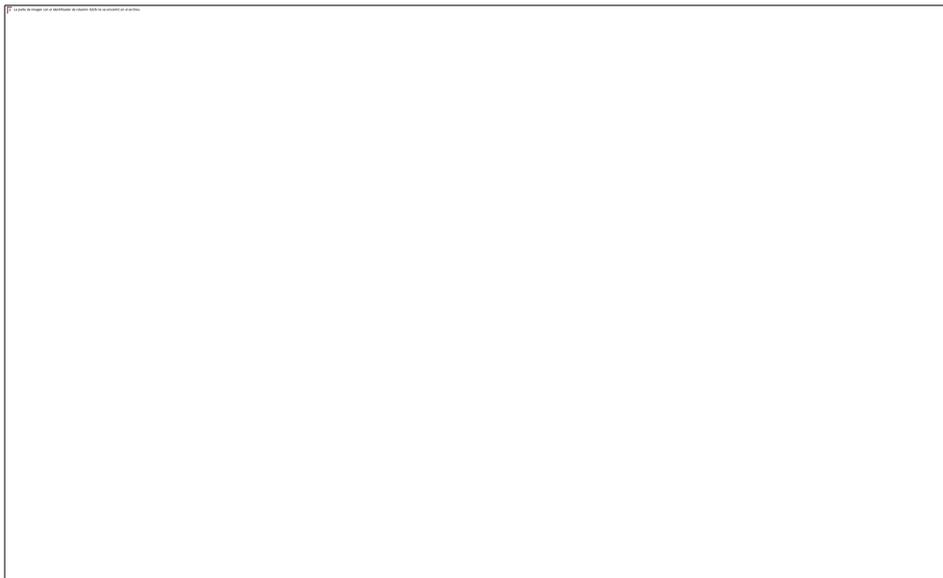


ANEXO E: FOTOGRAFÍAS

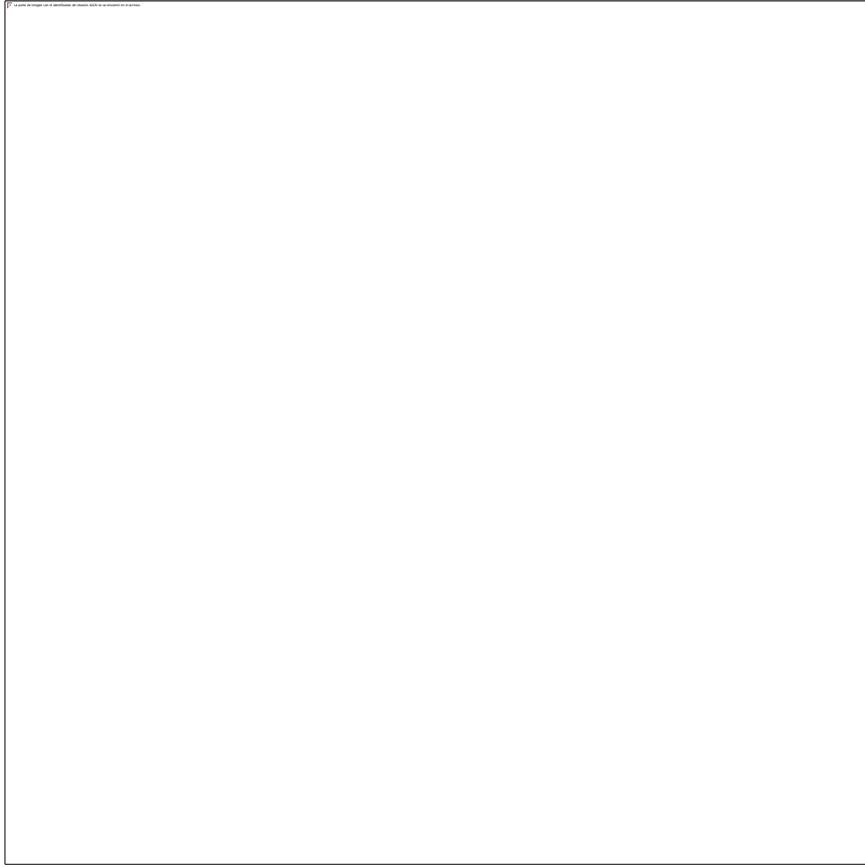
Diseño del pistón en SolidWorks



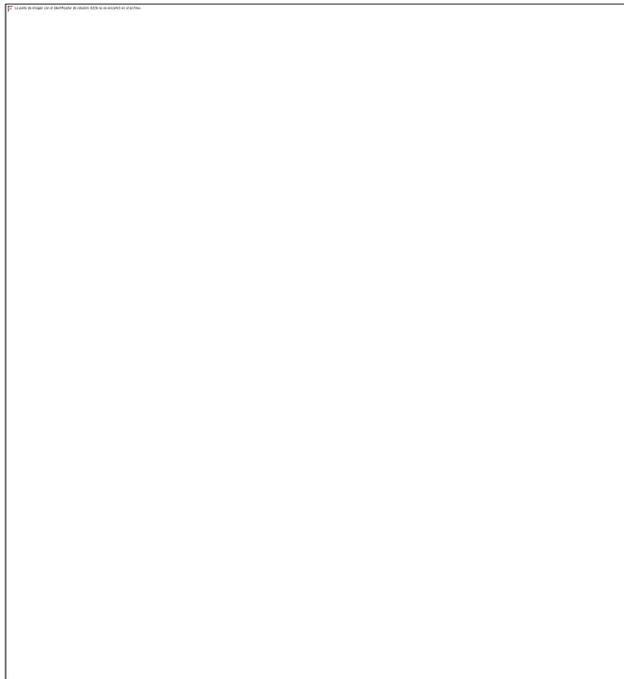
Impresión 3D del pistón modelado



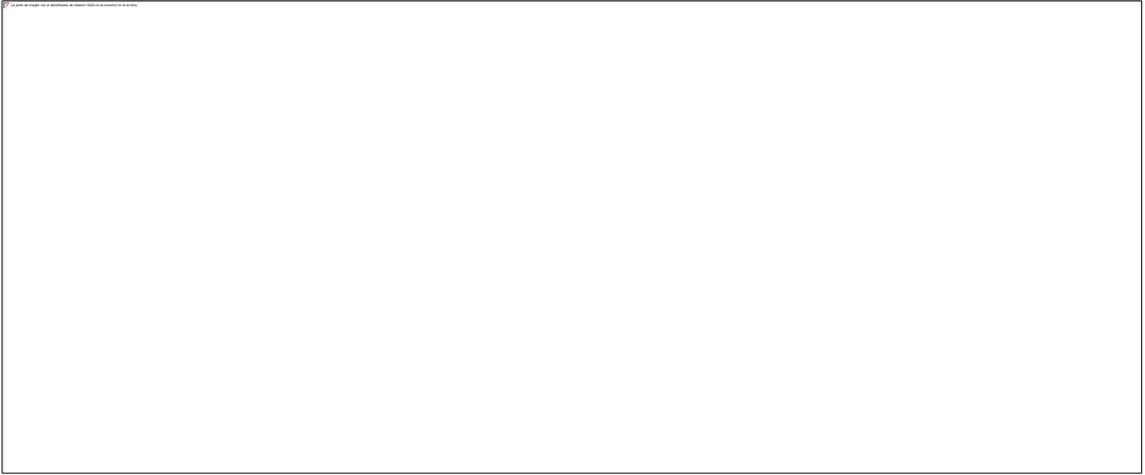
Elaboración del molde de arena



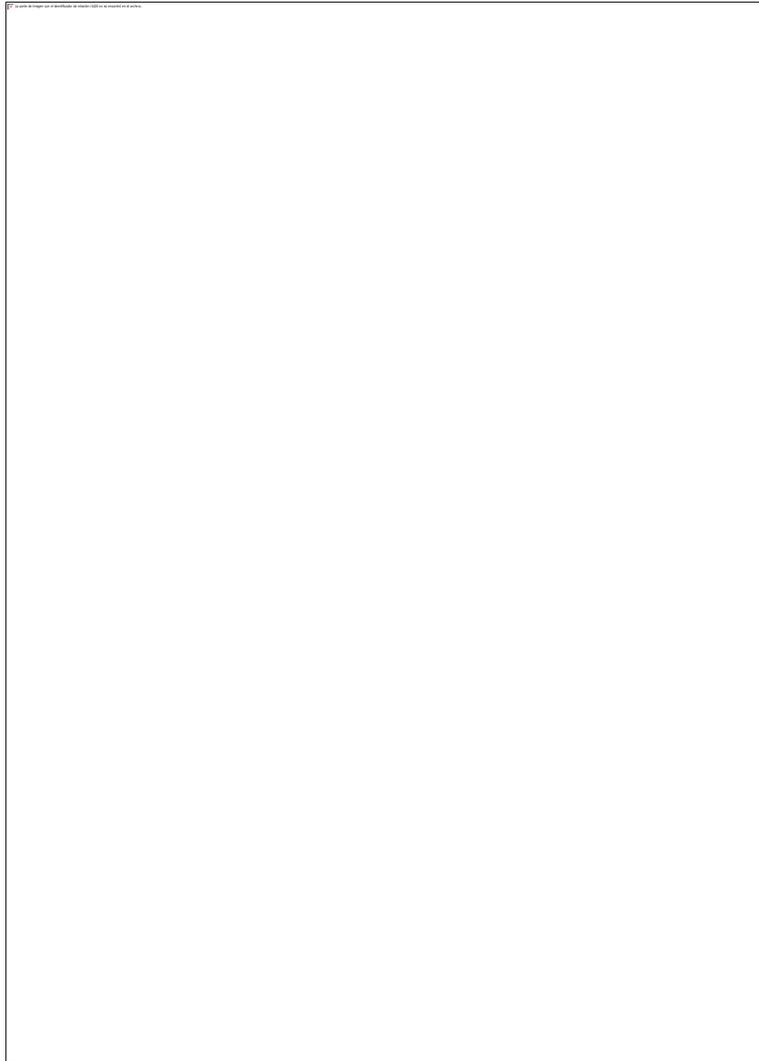
Vaciado de la colada y extracción del pistón fundido



Preparación de probetas para ensayos



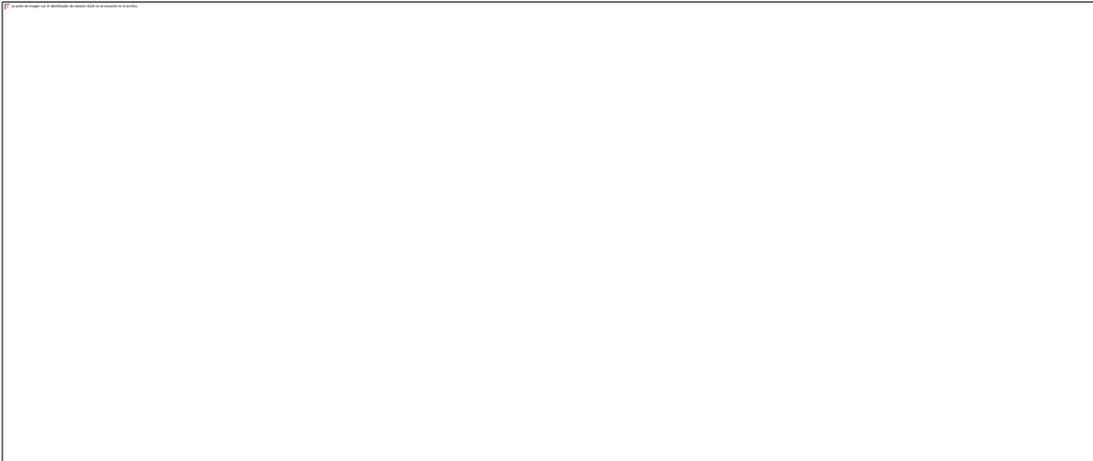
Desarrollo de ensayo de dureza



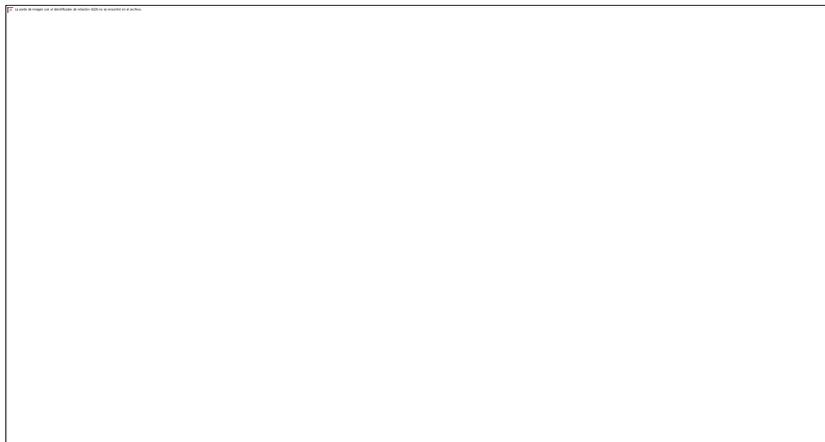
Espectrometría sobre el pistón original



Ensayo de tracción



Mecanizado del pistón obtenido



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA
EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 13/07/021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: José Luis Cayancela Achote
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Automotriz
Título a optar: Ingeniero Automotriz
f. Documentalista responsable: