



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TAPA DE CABEZOTE PARA UN  
MOTOR DE DOS TIEMPOS MEDIANTE INGENIERÍA INVERSA**

**AUTOR:**

**TERÁN ÁLVAREZ DENNIS ALEXANDER**

**DIRECTOR: ING. FAUSTO EDUARDO TAPIA GUDIÑO MSc.**

**Ibarra, 2024**

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

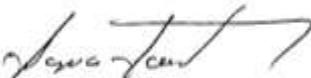
Ibarra, 16 de septiembre de 2024

Ing. Fausto Eduardo Tapia Gudiño MSc

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

  
(f) .....

Ing. Fausto Eduardo Tapia Gudiño MSc

*C.C.: 1002251351*



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	<b>DE</b>	100426164-8	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	<b>Y</b>	Terán Álvarez Dennis Alexander	
<b>DIRECCIÓN:</b>	Vía Universitaria Km 17, sector "El Chamanal"		
<b>EMAIL:</b>	dennisteran@gmail.com		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	N.A	<b>TELF. MOVIL</b>	0960641997

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	Diseño y construcción de una tapa de cabezote para un motor de dos tiempos mediante ingeniería inversa
<b>AUTOR (ES):</b>	Dennis Alexander Terán Álvarez
<b>FECHA:</b>	17/09/2024
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
<b>CARRERA/PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Fausto Tapia MSc

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por terceros.

Ibarra, a los 17 días del mes de septiembre del 2024

### EL AUTOR

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Terán Álvarez Dennis Alexander', written over a horizontal line.

Terán Álvarez Dennis Alexander

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto va dedicado principalmente a mi madre quien, con su cariño, apoyo y paciencia, me ha dado la fuerza en momentos difíciles, motivándome para mejorar cada día hasta cumplir con mis objetivos. A mi padre por sus enseñanzas y sabiduría, inculcándome valores para llegar a ser un buen hombre y excelente profesional.

**Terán Álvarez Dennis Alexander**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradezco a Dios por permitirme vivir un día más de gozo junto a mis seres queridos, brindándome la salud, la fuerza y la sabiduría para solucionar los problemas, permitiéndome mantenerme enfocado en mis objetivos.

A mi madre Marcia Álvarez que es mi mayor motivación, mi inspiración y quién ha sabido confiar en mí pese a todas las circunstancias que se han presentado en mi recorrido académico y del día a día. Así mismo, agradezco a los docentes de la UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, de la carrera de Ingeniería Automotriz que, con sus enseñanzas me han brindado herramientas que serán indispensables para solventar problemas en el ámbito laboral y social.

Agradezco a mi director Ing. Fausto Tapia por extenderme la mano, con su orientación he podido completar mi tesis de manera exitosa. Así mismo expresar mi gratitud al Ing. Fredy Rosero quien a manera de asesor y docente ha sido un excelente profesional siendo un gran ejemplo a seguir.

**Terán Álvarez Dennis Alexander**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>RESÚMEN</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xv</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
ALCANCE	3
JUSTIFICACIÓN	3
CONTEXTO	4
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>5</b>
<b>1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>5</b>
1.1. Fundamentos del motor dos tiempos	5
1.1.1. Ciclo de trabajo de un motor dos tiempos	5
1.1.2. Sistemas de refrigeración	6
1.1.3. Partes de un motor dos tiempos	8
1.1.4. Tapa de cabezote de un motor dos tiempos	10
1.2. Materiales utilizados en la automoción	11
1.2.1. Descripción de materiales	11
1.2.2. Descripción de normativas astm para el análisis de metales	13
1.3. Procesos utilizados para la manufactura de autopartes	15
1.3.1. Fundición	15
1.3.2. Manufactura aditiva	17
1.4. Ingeniería inversa	17

<b>CAPÍTULO II</b>	<b>20</b>
<b>2. METODOLOGÍA</b>	<b>20</b>
2.1. Caracterización del elemento	21
2.1.1. Instrumentación	21
2.2. Modelado de la culata mediante el software de diseño asistido en 3d	23
2.3. Material de estudio previo a la manufactura	25
2.3.1. Bronce	25
2.3.2. Aluminio 6063	26
2.3.3. Comparación de materiales seleccionados	27
2.4. Creación de probetas	28
2.4.1. Descripción de equipos	30
2.5. Simulación del prototipo	32
2.5.1. Variables de estudio para la simulación	32
2.5.2. Simulación	34
2.5.3. Tabulación y análisis de resultados de simulación	37
2.6. Pruebas piloto obtención del molde	37
2.6.1. Experimento 1: método de cera perdida con molde de yeso	38
2.6.2. Experimento 2.- método de cera perdida con molde de cascara	41
2.7. Proceso de fundición	49
2.8. Estimación de costos	51
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>55</b>
<b>3. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>55</b>
3.1. Resultados de ensayos	55
3.1.1. Ensayos de composición química	56
3.1.2. Comparación de composición química prototipo aluminio, bronce y culata original	57
3.1.3. Ensayos de metalografía	59

3.1.4.	Comparación de metalografía del aluminio 6063 y la del bronce	61
3.1.5.	Ensayos de tracción	62
3.1.6.	Comparación ensayo de tracción del aluminio 6063 y del bronce vs aluminio A390	65
3.2.	Análisis de simulación	68
3.3.	Rentabilidad del proyecto	70
3.3.1.	Cálculo de la rentabilidad de la manufactura de la tapa de cabezote	71
<b>CAPITULO IV</b>		<b>74</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>74</b>
CONCLUSIONES		74
RECOMENDACIONES		75
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>77</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>NÚM</b>	
1. 1 Clasificación de las aleaciones no ferrosas con base en la densidad	12
1. 2 Clasificación de fundiciones de hierro	13
2. 1 Herramientas para levantamiento de medidas	22
2. 2 Materiales para el moldeo	22
2. 3 Equipos para mecanizar los prototipos y ensayos de probetas	23
2. 4 Propiedades del bronce	26
2. 5 Propiedades del aluminio 6063	27
2. 6 Comparación de propiedades mecánicas del aluminio 6063 y del bronce	27
2. 7 Dimensiones de probeta de tensión según ASTM A370	29
2. 8 Parámetros del ensayo de composición química	31
2. 9 Parámetros del ensayo metalográfico	31
2. 10 Parámetros del ensayo de tracción	32
2. 11 Resultados de simulación térmica y estructural	37
2. 12 Ecuaciones aplicadas para el sistema de alimentación	45
2. 13 Resultados de ecuaciones para el sistema de alimentación	47
2. 14 Costos de materiales	52
2. 15 Costos de herramienta	53
2. 16 Impresión 3D	53
2. 17 Costos de ensayos	53
2. 18 Costos de Elaboración de probetas y mecanizado de prototipos	54
2. 19 Tabla de gastos totales	54
3. 1 Resultado de composición química del prototipo de aluminio	56
3. 2 Composición química del aluminio 6063 T5 según la norma EN 573-3	56
3. 3 Resultado de composición química del prototipo del bronce	57
3. 4 Composición química del bronce BP10	57
3. 5 Propiedades mecánicas de la tapa original con los prototipos de aluminio 6063 y bronce	66
3. 6 Comparación de las probetas ensayadas vs el material de la tapa original	67

3. 7	Parámetros aplicados en la simulación	68
3. 8	Datos obtenidos mediante el Software	70
3. 9	Flujo de caja del negocio durante 3 meses	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

### FIGURA

NÚM		PÁGINA
1. 1	Fases de un motor de dos tiempos de barrido por cárter	5
1. 2	Diagramas de distribución de un motor dos tiempos	6
1. 3	Motor de dos tiempos refrigerado por aire	7
1. 4	Motor refrigerado por líquido	7
1. 5	Principales elementos de un motor de dos tiempos	8
1. 6	Culata de motor dos tiempos refrigerada por aire	10
1. 7	Proceso de manufactura aditiva de una taza	17
1. 8	Diagrama de Flujo del Procedimiento Experimental	18
2. 1	Diagrama de Flujo para el desarrollo del proyecto	20
2. 2	Elemento mecánico a diseñar, culata de Yamaha Dt 125	21
2. 3	Uso del vernier para la toma de medidas	23
2. 4	Plano principal del diseño de la culata	24
2. 5	Vistas del diseño de la culata finalizada	24
2. 6	Olla de bronce	25
2. 7	Perfilería de ventanas	26
2. 8	Barras para la elaboración de probetas	28
2. 9	Diseño de probeta para ensayo de tensión según la norma ASTM A370	29
2. 10	Torneado de la probeta de aluminio	29
2. 11	Motor de explosión. Ciclo teórico	33
2. 12	Curva de Presión media efectiva en función de rpm	33
2. 13	Análisis térmico del prototipo de aluminio	34
2. 14	Análisis térmico del prototipo de bronce	35
2. 15	Simulación estructural	35
2. 16	Factor de seguridad del aluminio	36

2. 17	Tensión máxima en el bronce y factor de seguridad	36
2. 18	Flujograma de método cera perdida con molde de yeso	38
2. 19	Prototipo seccionado en formato STL.	39
2. 20	Impresión del prototipo seccionado	39
2. 21	Proceso de moldura con alginato	40
2. 22	Molde de cera parafina	41
2. 23	Diagrama de flujo del proceso de obtención del molde.	42
2. 24	Preparación de la matriz para obtener el molde	42
2. 25	Proceso de moldura para la obtención del negativo	43
2. 26	Molde negativo de caucho silicón	43
2. 27	Modelo mal conformado a) vs b) modelo con buen conformado	44
2. 28	Prototipo con bebederos y salidas de gases	47
2. 29	Proceso de inmersión en barbotina con cubierta de arena sílice	48
2. 30	Molduras con arena sílice terminadas	48
2. 31	Proceso de cocción de cera y sinterización	49
2. 32	Proceso de fundición a) y b) adición del silicio	50
2. 33	Obtención de prototipos de bronce y aluminio mediante molde de cascarilla	50
2. 34	Prototipos mecanizados	51
3. 1	Comparación composición química del prototipo de aluminio vs culata original	58
3. 2	Comparación prototipo bronce vs culata original	58
3. 3	Comparación de prototipos de aluminio y bronce	59
3. 4	Metalografía de la probeta de aluminio a 100X y 500X	60
3. 5	Metalografía de la probeta de bronce a 100X y 500X	60
3. 6	Formación de dendritas en ensayo metalográfico del aluminio 6063 y del bronce	61
3. 7	Metalografía de aleación 6063 T5 a 200x	62
3. 8	Probeta de aluminio antes y después del ensayo de tracción	63
3. 9	Diagrama de esfuerzo deformación de la probeta de aluminio	63
3. 10	Probeta de bronce antes y después del ensayo a tracción	64
3. 11	Diagrama esfuerzo-deformación de la probeta de bronce	64
3. 12	Curva de esfuerzo-deformación del aluminio y bronce	65
3. 13	Ensayo de tracción del aluminio A390	66
3. 14	Análisis térmico del prototipo de aluminio 6063 y de bronce	68
3. 15	Análisis estático del prototipo de aluminio 6063 y bronce	69

## ÍNDICE DE ANEXOS

### ANEXO

<b>NÚM</b>		<b>PÁGINA</b>
I	Levantamiento de datos característicos de la tapa de cabezote	82
II	Diseño en SolidWoks	83
III	Plano principal de la tapa de cabezote	85
IV	Elaboración de las probetas de aluminio y de bronce	85
V	Fabricación del molde en caucho silicón	87
VI	Informe emitido por el laboratorio ILPM Engineering	88

## ÍNDICE DE ECUACIONES

### ECUACIÓN

<b>NÚM</b>		<b>PÁGINA</b>
2. 1	Diámetro de la mazarota	46
2. 2	Módulo de enfriamiento	46
2. 3	Bebederos	46
2. 4	Diámetro base del bebedero	46
3. 1	Recuperación de inversión	71

## RESÚMEN

El proyecto presentado a continuación fué realizado con el objetivo del analizar metodologías y materiales utilizados para la manufactura de autopartes mediante ingeniería inversa cuya función principal consiste en reconstruir un elemento existente con la finalidad de comprender su diseño y mejorar sus características.

Para cumplir con el objetivo se partió desde el análisis inicial del prototipo de referencia con herramientas de medición (bernier), se documentó la geometría del elemento y por medio de un software de diseño asistido por computador (CAD) se recreó el modelo tridimensional, mismo que fue sometido simulaciones térmicas y estructurales cuyos resultados permitieron garantizar el desempeño en condiciones de trabajo del prototipo de la tapa de cabezote.

En la selección de materiales se enfoco en dos criterios importantes en las características que son la resistencia al desgaste y la capacidad de disipación térmica en la que resaltó el aluminio 6063 y el bronce adecuados para la creación de probetas, mismas que fueron llevadas al laboratorio acreditado ILPM Engineering ubicado en la ciudad de Quito, responsables de evaluar las probetas bajo normativas ASTM en las que se analizo la composición química, la resistencia a la tracción y metalografía para poder caracterizar los materiales seleccionados.

Investment Castin o fundición a la cera perdida mediante molde de cascarilla fue el metodo seleccionado para la manufactura de la tapa de cabezote perteneciente a la yamaha dt 125 cc, debido a la geometría tan delgada en las aletas del prototipo el modelado mediante cera en molde de caucho silicon permitieron obtener el molde cerámico cuyos resultados fueron aceptables en el proceso de manufactura.

Finalmente se compararon los resultados obtenidos del software (SOLIDWORKS) con los resultados emitidos por el laboratorio ILPM respecto al aluminio y el bronce en donde el bronce tiene mayor resistencia a la tracción que el aluminio sin embargo posee menor capacidad de disipación termica y el aluminio posee menor capacidad de resistencia a la tracción pero es un buen disipador térmico y resiste las cargas a las que será sometido en condiciones de trabajo.

## ABSTRACT

The project presented below was carried out with the objective of analyzing methodologies and materials used for the manufacture of auto parts through reverse engineering whose main function is to reconstruct an existing element in order to understand its design and improve its characteristics.

To meet the objective, the starting point was the initial analysis of the reference prototype with measurement tools (Bernier), the geometry of the element was documented and the three-dimensional model was recreated using computer-aided design (CAD) software. which was subjected to thermal and structural simulations whose results made it possible to guarantee the performance in working conditions of the head cover prototype.

In the selection of materials, two important criteria are focused on the characteristics: wear resistance and thermal dissipation capacity, in which 6063 aluminum and bronze stood out, suitable for the creation of probes, which were taken to the accredited laboratory. . ILPM Engineering located in the city of Quito, responsible for evaluating the probes under ASTM regulations in which the chemical composition, tensile strength and metallography are analyzed in order to characterize the selected materials.

Investment Castin or lost wax casting using a shell mold was the method selected for the manufacture of the head cover belonging to the Yamaha DT 125 cc, due to the very thin geometry of the fins of the prototype, modeling using wax in a mold. Silicon rubber allowed us to obtain the ceramic mold whose results were acceptable in the manufacturing process.

Finally, the results obtained from the software (SOLIDWORKS) were compared with the results issued by the ILPM laboratory regarding aluminum and bronze, where bronze has greater tensile strength than aluminum, however, it has a lower thermal dissipation capacity and aluminum has . lower tensile strength capacity but it is a good heat sink and resists the loads to which it will be subjected in working conditions.

## **LISTA DE SIGLAS**

**AEADE.** Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador

**ILPM.** Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales

**CAD.** Computer Aided Desing

**CAM.** Computer Aided Manufacturing

**CAE.** Computer Aided Engineering

**PMS:** Punto muerto superior

**PMI.** Punto muerto inferior

## INTRODUCCIÓN

El proyecto de integración curricular está enfocado en la investigación de procesos de manufactura de autopartes, que se efectuará mediante una metodología basada en la ingeniería inversa con el fin de obtener un prototipo de la tapa de cabezote para un motor de dos tiempos. A través del presente trabajo investigativo, experimental y comparativo se pretende determinar la fiabilidad de un elemento mecánico, así como el uso de herramientas CAD/CAM en su aplicación para la obtención de datos que serán clave para la preparación de los moldes prestos para la fundición.

Para obtener el prototipo de la tapa de cabezote se partirá de la caracterización del elemento original a través de la observación y la toma de medidas con instrumentos de medición como el vernier para diseñar en SOLIDWORKS. También se investigará materiales que se encuentran en el medio a un costo accesible y que tengan prestaciones como la resistencia al desgaste y buena capacidad de disipación térmica que son dos aspectos fundamentales a los cuales se somete el elemento en condiciones de trabajo.

Una vez se haya determinado los materiales se procederá a la ejecución de probetas obtenidas de un proceso de fundición y posteriormente ensayadas por parte del laboratorio ILPM Engineering ubicado en Quito, para poder caracterizar el material y pueda ser comparada con los resultados de la simulación para garantizar la fiabilidad del prototipo.

El método INVESTMENT CASTIN (fundición a la cera perdida) será la base para el proceso de moldura del prototipo de la cual, se obtendrá la tapa de cabezote en base al material que se obtenga mejores prestaciones.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Ecuador no cuenta con equipos ni materiales adecuados para llevar a cabo la construcción de elementos automotrices, además, la deficiencia de conocimiento en la aplicación de la ingeniería inversa para la manufactura de componentes y la falta de información en procesos de fabricación incluyendo el uso de herramientas CAD/CAM. Por otro lado, la alta competitividad que existe en el país es principalmente generada por las grandes empresas automotrices en relación a la importación de repuestos y componentes en gran escala desde otros países, ocasionan que decaigan las microempresas al no poder competir en precios ni en el procesamiento de la materia prima (Peralta Zurita & Molina Osejos, 2018, p. 139).

Para una microempresa empezar con la manufactura de componentes automotrices, en este caso con la elaboración de un componente para motocicleta como es la tapa de cabezote requiere de una serie de procedimientos que incluyen la elección del material para el diseño y la etapa de fundición. Además, del análisis del prototipo para conocer las propiedades que posee, de manera que, se conozca la fiabilidad del prototipo respecto a la pieza original.

## **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir una tapa de cabezote para un motor de dos tiempos perteneciente a la Yamaha Dt 125 cc refrigerado por aire, mediante ingeniería inversa.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un estudio bibliográfico sobre los diferentes tipos de procesos de construcción mediante ingeniería inversa realizados previamente, además de los diferentes materiales que contribuirán en el desarrollo de la tapa de cabezote para el motor de dos tiempos.
- Diseñar la tapa del cabezote mediante un software de diseño y simulación (SOLIDWORKS), aplicando cada uno de los dos materiales seleccionados.
- Realizar la simulación y pruebas físicas para identificar variantes que influyan en las condiciones de trabajo y su aceptación.

- Analizar los datos de los ensayos, referentes a la metalografía, composición química y de tracción, además de la simulación para comparar las propiedades de los prototipos con la pieza original.

## **ALCANCE**

Realizar el prototipo de una tapa de cabezote para un motor Yamaha Dt 125 cc de dos tiempos enfriado por aire, utilizando un software de diseño y simulación (SolidWorks) que facilite el desarrollo del modelo de forma rápida, óptima y eficiente para su respectiva impresión y obtener el molde. Posteriormente llevar a cabo un proceso de fundición en el que se utilizará un material ligero como el aluminio y un material ferroso como el hierro fundido que presentan propiedades físicas como alto grado de conductividad térmica, resistencia a la corrosión, flexibilidad, además de ser materiales dúctiles. A continuación, se someterá el componente a un proceso de maquinado que consiste en remover el metal sobrante con el objetivo de dar forma al elemento fundido. Además, generar datos de pruebas físicas en un laboratorio experimental, el cual generará condiciones similares a las que se somete el elemento para realizar una comparación del soporte que brinda cada uno de los materiales seleccionados, en relación a las propiedades mecánicas y definir el elemento hecho a base de la materia prima que resulte con mejores prestaciones en sus características para obtener el producto final, en consecuencia, de la aplicación de una metodología basada en ingeniería inversa con la finalidad de reproducirlo o mejorarlo (Bravo Morocho et al., 2021, p. 2).

## **JUSTIFICACIÓN**

En el Plan de Creación de Oportunidades, Eje Social, objetivo 7. Potenciar las capacidades de la ciudadanía y promover una educación innovadora, inclusiva y de calidad en todos los niveles. Se enfoca en mejorar la investigación e innovación, en consecuencia, en la política 7.2 pretende promover la modernización y eficiencia del modelo educativo por medio de la innovación y el uso de las herramientas tecnológicas (Secretaría Nacional de Planificación, 2021, p. 69). El presente proyecto se orientará en el diseño de una tapa de cabezote de una moto Yamaha Dt 125, poniendo en práctica la metodología de la ingeniería inversa y conocimientos adquiridos con respecto a métodos CAD/CAM, con la finalidad que se

identifique el procedimiento, desde el diseño hasta la fabricación de la tapa de cabezote del motor dos tiempos. En consecuencia, establecer un proceso de manufactura y se profundice la metodología a utilizar para la elaboración del mismo.

La deficiencia de procesos de manufactura en el Ecuador está presente principalmente en el desarrollo de piezas para elementos motrices, tanto que para obtener componentes pertenecientes a un modelo vehicular específico hace necesaria la importación. Mediante este proyecto se pretende incentivar a la localidad, a la manufactura de elementos automotrices mediante ingeniería inversa que sea de gran aporte para la obtención de componentes de iguales o mejores características que las originales y generar una industria manufacturera competente internacionalmente.

## **CONTEXTO**

En el tema de “Manufactura de un cabezote de un prototipo de motor de dos tiempos mono cilíndrico 100cc aplicando ingeniería inversa y el método CAD/CAM” Se pretende manufacturar un cabezote de un motor de dos tiempos aplicando la ingeniería inversa mediante el método CAD/CAM. Se procede a la investigación del material que se encuentra producido el cabezote, después se elabora el diseño del cabezote mediante la aplicación de un software (CAD) para posteriormente imprimir un molde en 3D que nos servirá para el proceso de manufactura mediante fundición de arena verde (Freire Bravo, 2021, p. 2).

La siguiente información tecnológica denominada” El diseño, la manufactura y análisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y otras técnicas de fabricación digital en el desarrollo de productos en América Latina” trata sobre la aceptación que tienen los procesos de diseño asistido, mediante el cual, se puede desarrollar una variedad de elementos en los diferentes ámbitos productivos, dando lugar al desarrollo (Erazo-Arteaga, 2022, p. 1).

En la tesis denominada” APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA INVERSA DEL DEPÓSITO DE ACEITE HIDRÁULICO Y SU MANUFACTURA POR MEDIO DE IMPRESIÓN 3D” se menciona sobre las fases de diseño de un depósito de aceite hidráulico, desde la caracterización del elemento hasta la manufactura, llevada a cabo mediante impresión 3D en base a la ingeniería inversa, Además se realiza probetas según la normativa de polímeros, para garantizar el funcionamiento del prototipo (Dibujes Bastidas Chistian Eduardo, 2023, p. 4).

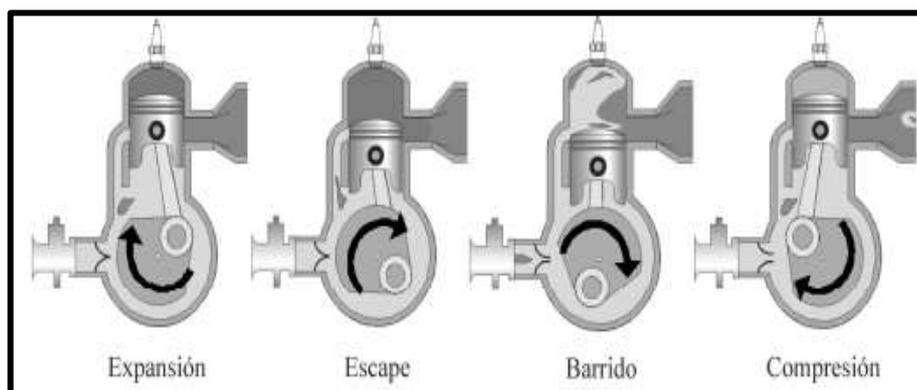
# CAPÍTULO I

## 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En el presente capítulo se indagará en fuentes bibliográficas como libros, revistas, tesis o artículos y se extraerá lo más esencial que será el punto de partida para la ejecución del proyecto del diseño y la construcción de la tapa de cabezote con base en todos los aspectos relevantes que se utilicen en la investigación del mismo.

### 1.1. FUNDAMENTOS DEL MOTOR DOS TIEMPOS

Se caracteriza por realizar el ciclo completo en dos carreras del pistón, es decir, realiza dos procesos al mismo tiempo los cuales son la admisión y escape. Al haber una diferencia de presión entre la mezcla entrante y los gases quemados, estos son barridos hacia el escape, también denominado lumbrera y enviados al exterior para comenzar un nuevo ciclo.



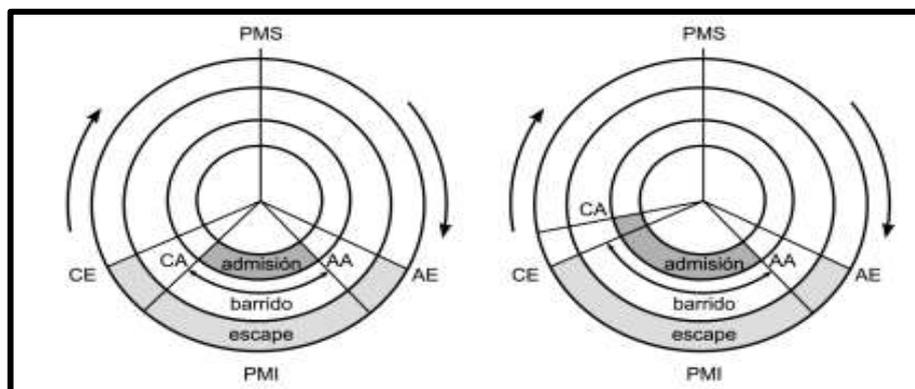
**Figura 1. 1** Fases de un motor de dos tiempos de barrido por cárter  
(Motores De Combustión Interna Alternativos, 2015, p. 30)

En la **Figura 1.1**, se ilustra las fases de trabajo que posee un motor de dos tiempos evidenciando el ciclo completo y cada una de las etapas desde que inicia a  $0^\circ$  y finaliza en  $360^\circ$ .

#### 1.1.1. Ciclo de trabajo de un motor dos tiempos

En un motor 2T la combustión se produce por cada vuelta del cigüeñal y en sus fases admisión-compresión, que es cuando el pistón se dirige del PMI al PMS y expansión-escape,

cuando el pistón se encuentra en carrera PMS a PMI, dando lugar a un nuevo ciclo de trabajo. Mediante movimientos lineales generados por el pistón-biela y transformados a movimiento rotacional por el cigüeñal, la potencia generada es superior a la del motor de cuatro tiempos, sin embargo, el consumo y la emisión de gases es elevada (Rafael Morales & Guzmán Hernández, 2014, p. 13).



**Figura 1. 2** Diagramas de distribución de un motor dos tiempos (Motores De Combustión Interna Alternativos, 2015, p. 31)

En la **Figura 1.2**, se muestra dos tipos de diagramas correspondientes al motor de dos tiempos el cual se puede diferenciar por ser simétrico y asimétrico

### 1.1.2. Sistemas de refrigeración

Los motores de combustión interna o también llamados motores térmicos necesitan sistemas de refrigeración con la finalidad de establecer límites que permitan que el motor no llegue a sobrepasar su capacidad de resistencia térmica o deformaciones debido a la temperatura (Bonilla et al., 2018, p. 2). Dentro de los sistemas de refrigeración existen los diferentes tipos explicados a continuación:

- **Sistema de refrigeración por aire**

Se basa en la conducción directa del flujo de aire, a través de aletas que forman parte de la estructura de la culata y cabezote, que además por diseño conduce al viento hacia el mismo. Sin embargo, este tipo de sistema no es muy eficiente por las propiedades pertenecientes al aire ya que este varía de acuerdo a las condiciones climatológicas, es decir, la temperatura ambiente (Vizcaí, 2020, p. 18).



**Figura 1. 3** Motor de dos tiempos refrigerado por aire  
(Wikimedia, 2006)

La refrigeración por aire está presente en las motos de dos tiempos, debido a que son motores pequeños y compactos como se puede apreciar en la **Figura 1.3** con una gran potencia y que, debido al diseño de las aletas tanto del cilindro como la culata, permiten direccionar el viento hacia la superficie del cilindro permitiendo la refrigeración.

- **Sistema de refrigeración líquida**

El método de enfriamiento por líquido o aceite son más eficientes respecto al sistema de refrigeración por aire, debido a que el líquido o refrigerante entra por cavidades que posee internamente la camisa entre el cilindro, de manera que permite la evacuación rápida de temperatura.

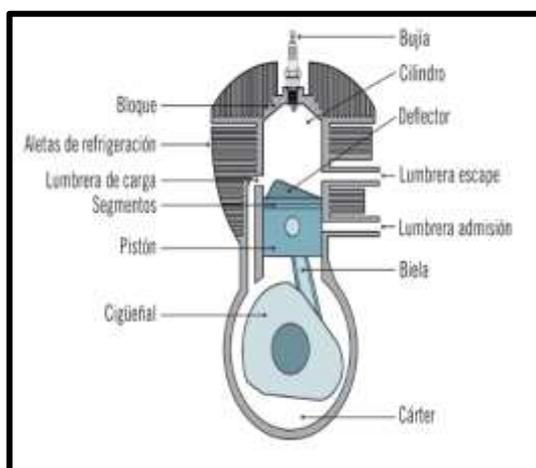


**Figura 1. 4** Motor refrigerado por líquido  
(Moto, 2017)

En la **Figura 1.4** se observa un motor cuyo sistema de refrigeración líquida, se transmite desde el radiador a través de mangueras resistentes a la temperatura del motor por acción de una bomba que hace que el líquido rote de radiador a cilindro. La estructura del radiador además del material por el cual está conformado, realiza una refrigeración más eficiente y rápida, comparado a los motores que no poseen este sistema, preservando la vida de las piezas.

### 1.1.3. Partes de un motor dos tiempos

La estructura está conformada por varios elementos mecánicos en los cuales se puede encontrar partes fijas y partes móviles, además que su configuración es sencilla, ya que posee menos componentes que un motor 4 tiempos.



**Figura 1.5** Principales elementos de un motor de dos tiempos  
(Sanchez Gutierrez, 2015, p. 37)

En la **Figura 1.5** se puede apreciar los componentes principales del motor de dos tiempos, cada uno de los elementos que conforman el motor cumple un papel importante que dan lugar a que el motor desarrolle una máxima potencia en menor tiempo a diferencia de un motor cuatro tiempos. Tanto las partes fijas como las partes móviles son susceptibles a mayor desgaste dentro de este tipo de sistema, debido a que no posee un sistema de refrigeración eficaz que limite las altas temperaturas que genera, en consecuencia, sufre de deformaciones térmicas, al no contar con un sistema de lubricación independiente como resultado mayor desgaste por fricción, entre otros factores. Sin embargo, las principales ventajas además del desarrollo rápido de potencia, es el peso ya que contiene menos elementos que otros motores, es decir, no tiene árbol de levas, válvulas y su dimensionamiento es más compacto.

A continuación, se exhibe las partes fijas y móviles dentro de un motor dos tiempos:

**a) Partes fijas**

- **Culata:** es la cabeza del motor cuya función es sellar el cilindro para evitar pérdidas de compresión, estos factores pueden darse principalmente por el desgaste. Además, soporta la bujía y conforma la última parte del cilindro en donde se comprimen los gases por acción del embolo dando paso a la combustión.
- **Bujía:** es un componente que forma parte del motor de combustión, se ubica en la parte superior del cilindro y su función es dar chipa para el encendido del motor. La bujía es un elemento sumamente importante en la combustión, debido a que depende de la calidad de chispa que esta entrega hacia los gases comprimidos estos pueden tener una combustión completa, es decir se quema toda la mezcla aire-combustible.
- **Cilindro:** es donde se alojan los pistones, el material suele ser de hierro o aluminio, en motores dos tiempos el cilindro es el componente que más desgaste sufre después del pistón.
- **Carter:** es una cámara de pre compresión, donde se aloja la mezcla aire-combustible próximo a la combustión y que debido a esta cámara se produce el efecto de barrido. Además, es donde se alojan las partes operativas del motor.
- **Lumbrera de admisión:** este es un orificio que permite el ingreso del aire-combustible, la lumbrera es controlada por el pistón para dar inicio al ciclo de trabajo que es la admisión.
- **Lumbrera de escape:** como su nombre indica permite la evacuación de los gases quemados, generalmente se ubica en el extremo del cilindro en la parte superior y al igual que la lumbrera de admisión es controlada por el pistón.

**b) Partes móviles**

- **Pistón:** es una pieza cilíndrica que se desplaza linealmente en el interior del cilindro permitiendo comprimir el combustible y realizar el movimiento, su material es generalmente de aleaciones de aluminio.

- **Biela:** es el elemento mecánico que se encuentra sometido a los esfuerzos de tracción y compresión, se encarga de transmitir el movimiento articulado del cigüeñal.
- **Cigüeñal:** transforma la fuerza generada por la combustión interna del motor de un movimiento rectilíneo en circular o a la inversa.

#### 1.1.4. Tapa de cabezote de un motor dos tiempos

La culata o cabezote es un elemento que va ubicado en la parte superior del motor, cuyo objetivo es formar la cámara de compresión con el cilindro.

La construcción de la culata generalmente se hace de materiales como el hierro fundido o aleaciones de aluminio las comúnmente llamadas “aleaciones ligeras”(Perea & Servicio Nacional de Aprendizaje, s/f, p. 7).

Cada culata posee distinta geometría de acuerdo al sistema de refrigeración que posea, en el caso de refrigeración por aire, el diseño de la culata tiene ramificaciones en la parte superior cuyo efecto será para disipar la temperatura que genere la cámara de combustión.



**Figura 1. 6** Culata de motor dos tiempos refrigerada por aire

La **Figura 1.6** ilustra el modelo de la tapa de cabezote (culata) de la Yamaha Dt 125 c.c. que será utilizada como referencia para el prototipo a diseñar y posteriormente llevar a cabo su manufactura.

## **1.2. MATERIALES UTILIZADOS EN LA AUTOMOCIÓN**

Existe una gran variedad de materiales de los cuales se efectúa componentes mecánicos entre ellos están los polímeros, el aluminio, hierro fundido, bronce etc. Cada uno tiene su aplicación, sin embargo, para realizar el proyecto se pretende utilizar aluminio y bronce debido a, que poseen buenas características y propiedades, pero ambos tienen variaciones en su capacidad de disipación de calor, la dureza y resistencia, además del peso (Galindo, 2016, p. 3).

### **1.2.1. Descripción de materiales**

A continuación, se exhibe la clasificación de los grupos a los que pertenecen los materiales de los cuales se seleccionarán dos, en función a las propiedades mecánicas y térmicas que poseen.

#### **a) Metales no ferrosos**

Los metales no ferrosos usualmente son utilizados para la elaboración de autopartes debido a la facilidad de obtención del mismo, el costo que es relativamente bajo y por las propiedades mecánicas que brinda.

Dentro de dicha categoría existen dos tipos:

- **Aleaciones ligeras**

En la actualidad las culatas son hechas a base de aluminio, aleaciones con magnesio y silicio lo que hace que el material en la fundición adquiera más resistencia y mejore las propiedades de la culata.

- **Aleaciones pesadas**

Las aleaciones con mayor densidad forman parte del proceso de fabricación de piezas utilizadas en la automoción debido a la buena maquinabilidad, resistencia a la salinidad, además, posee características similares a las de los metales ferrosos como, por ejemplo: los engranes, hélices de botes, motores eléctricos, entre otros.

A continuación, se presenta una **Tabla 1.1**, se observan las diferentes aleaciones, que tienen configuraciones de acuerdo al nivel de densidad y, a su vez, el metal adquiere diferentes características según el acabado y la aplicación que se lo dará después.

**Tabla 1. 1** Clasificación de las aleaciones no ferrosas con base en la densidad

<b>ALEACIONES LIGERAS</b>	<b>ALEACIONES PESADAS</b>
Base de aluminio	Base de cobre
Base de magnesio	Base de zinc
Base de titanio	Base de níquel
Base de berilio	Base de estaño
	Base de plomo

(Cujar & Deoro, 2016, p. 20)

#### **b) Metales ferrosos**

Los metales ferrosos se utilizaban en gran magnitud en la antigüedad debido al desconocimiento de los actuales metales denominados “aleaciones ligeras”, estos metales cuyas características respecto a la resistencia a la oxidación no era lo suficientemente apropiada requería de un recubrimiento de un material protector, por consiguiente, el peso es otro factor importante debido a la densidad del material como por ejemplo el hierro fundido.

En los metales ferrosos el principal material base es el hierro que en conjunto con otros materiales forman uno con mejores características como por ejemplo el acero, que es una formación entre el hierro más carbono en cierto porcentaje y dependiendo la utilización es fabricado. En la industria automotriz es muy utilizado el acero de baja aleación, mismo que es conformado por el acero junto a otros metales como níquel, el cromo y molibdeno dando lugar a la formación del acero de baja aleación, principal elemento para la fabricación de ejes y en el caso del hierro fundido la fabricación de blocks (Valle, 2010, p. 7).

La clasificación del hierro fundido como se observa en la **Tabla 1. 2** se debe al porcentaje de carbono se conforma la estructura, así como otros metales que favorecen al material, permitiendo adquirir diferentes características y por consecuencia otras utilidades (M. López, 2020, p. 9).

**Tabla 1. 2** Clasificación de fundiciones de hierro

a) Hierro fundido blanco. El carbono se encuentra en gran porcentaje, formando una red de Fe <sub>3</sub> C	+ matriz de acero (ferrita, perlita, martensita, etc)
b) Hierro fundido gris. El carbono se encuentra libre en la matriz, en forma de hojuelas de grafito	
c) Hierro dúctil o nodular. El carbono se encuentra libre en forma de nódulos o esferas	
d) Hierro maleable. El grafito se encuentra en forma de terrones o nódulos informes (carbono recocido)	
e) Hierros fundidos aleados	

(Fras, Edward et al., 1990, p. 7)

### 1.2.2. Descripción de normativas ASTM para el análisis de metales

La Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales es una organización de estándares internacionales que certifica bajo normativa ASTM, materiales, productos y procesos que fueron sometidos a una serie de pruebas asegurando el cumplimiento de normas técnicas para un buen desempeño y aumentando la fiabilidad del material.

Para efectuar la caracterización de un metal, es necesario cumplir condiciones establecidas dependiendo el tipo de prueba que se va a realizar con dicho material, por medio de ensayos normados por la ASMT (American Society for Testing and Materials) permiten el estudio de sus propiedades mecánicas (Bravo Morocho et al., 2021, p. 5).

Para el presente proyecto es indispensable indagar en las guías que permiten la preparación de los metales para efectuar los siguientes ensayos cuyas normas son las siguientes:

- **ASTM E3.- Guía para la preparación de muestras metalográficas**

La guía de preparación de muestras metalográficas contempla una serie de ensayos que permiten el estudio de un metal y cada uno de ellos tiene que regirse a ciertas normativas emitidas por la ASTM para la correcta elaboración de las probetas de manera que garantice la calidad y efectividad de las pruebas, así como el material a utilizar (Interanational, 2012, p. 2).

Entre los ensayos pertenecientes a la guía ASTM E3 están:

- La forma de corte
- El pulido
- El desbaste
- Forma de montaje
- El ataque químico
- El análisis metalográfico

Para efectuar el ensayo de metalografía se utilizará una muestra del prototipo cortando el bebedero de entrada, que tiene forma circular y con un espesor de 3 cm para poder efectuar el debido proceso que indica la guía respecto al pulido, desbaste, montaje y ataque químico.

- **ASTM E1621: Guía estándar para ensayo de composición química por fluorescencia de rayos x**

La presente guía sirve para efectuar una serie de pruebas para el desarrollo de procesos mediante análisis por medio de un espectrómetro cuya función es emitir una onda hacia un sólido en el que se identificará la composición química de su estructura e interpretará los resultados únicamente en el sistema internacional (SI).

- **ASTM E8.- Método estándar para ensayos de tracción en metales**

La norma ASTM E8 describe las dimensiones de las probetas requeridas para realizar el ensayo, incluyendo el proceso de diseño de la probeta, es decir, si la probeta fue realizada en un torno debe ser estrictamente revisada y estar libre de grietas o irregularidades en su estructura, debido a que puede ocasionar puntos críticos y como consecuencia fallos en el ensayo obteniendo datos erróneos (ASTM E8, 2010, p. 3).

Las dimensiones de la probeta están basadas en la guía ASTM A370, misma que describe a tres tipos de probetas, entre ellas, están las de sección circular, plana y con rosca, además de los equipos a utilizar para efectuar la medición de la tracción de la muestra.

### 1.3. PROCESOS UTILIZADOS PARA LA MANUFACTURA DE AUTOPARTES

La producción de repuestos para vehículos está conformada por una cadena de estructuras que en consecuencia permiten el desarrollo y manufactura de elementos mecánicos quienes son realizados mediante métodos de fundición en caso de metales, así como aleaciones, también la fabricación aditiva en caso de polímeros. Cada proceso de fabricación tiene diferente metodología debido al material a utilizar y el producto que se desea obtener.

En la industria automotriz el proceso de manufactura se efectúa para conformar elementos que se aplican en varias secciones, por ejemplo:

#### 1.3.1. Fundición

La fundición es un método que consiste en calentar un material metálico ferroso y no ferroso hasta el punto de fusión, en el que pasa de estado sólido a líquido y este es colado en un molde. Este método metalúrgico se ha practicado desde la antigüedad y mejorado con el paso de los años, sin embargo, sigue siendo fundamental para la obtención de piezas y herramientas en las industrias.

El proceso de fundición se efectúa dependiendo el material a fundir en consecuencia el molde a utilizar varía, entre los cuales se tiene tres tipos:

##### a) Molde Permanente

La fundición en molde permanente consiste en efectuar dicho proceso sobre moldes metálicos que se acoplan entre sí y estos pueden volver a ser utilizados, generalmente es utilizado para la producción en gran escala, además, se puede llevar a cabo diferentes tipos de procesos como:

- **Fundición por gravedad:** se efectúa de manera tradicional es decir se vierte la colada de metal fundido en el bebedero haciendo que esta fluya sobre la sección transversal hacia su interior llenando las cavidades del molde que se necesita obtener.

- **Fundición por inyección:** se lleva a cabo mediante maquinas que inyectan a presión la colada dentro del molde y ésta a su vez permite tener acabados sin exceso de porosidades debido a la rápida evacuación de gases generados al ingreso del metal fundido.
- **Fundición centrífuga:** es empleada para generar elementos cuyo diámetro es menor a su longitud en caso de ser horizontal, es decir, se la emplea para generar elementos radiales como tubos, tanques entre otros, por otra parte, existe la fundición centrífuga vertical esta suele utilizar molduras de silicón de alta resistencia térmica en la que es alimentada por el centro y la colada se distribuye por acción a la fuerza centrífuga.

#### **b) Molde y Modelo Destructivo**

Este tipo de proceso de fundición está ligado a la metodología de cera perdida ya que el modelo se ocupa una sola vez, el componente principal es la cera, misma que es derretida para crear el espacio de llenado dentro del molde y posteriormente destruido para obtener la pieza fundida.

Para la creación del molde se debe tomar en cuenta que tipo de material se va a fundir y la geometría del elemento a generar, debido a la resistencia a la temperatura en las molduras, para ello se tiene una variedad, entre ellas:

- Molde de yeso
- Molde de arena
- Molde de arcilla
- Moldes cerámicos
- Molde de cascarilla

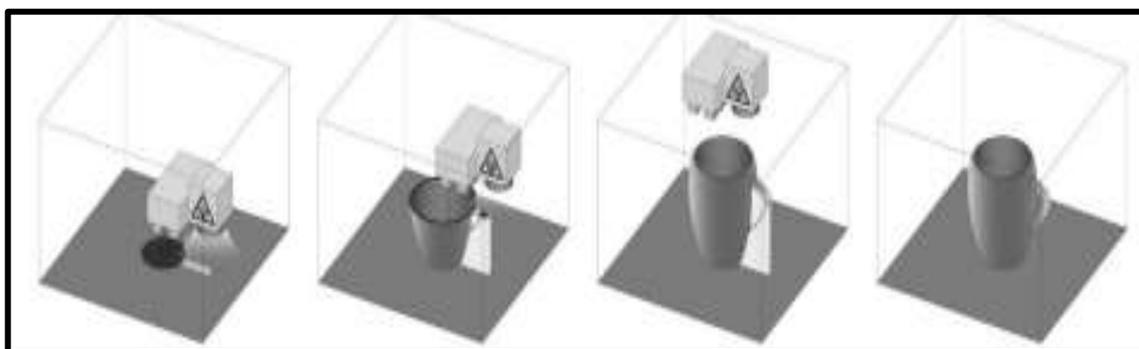
#### **c) Molde Destructible y Modelo Permanente**

Este tipo de fundición es la más utilizada debido que se utiliza un modelo permanente llamado así porque no pierde su forma al generar el molde en arena y una vez se lleva a cabo el vaciado se la recicla para volver a ser utilizada con el mismo u otro tipo de molde.

### 1.3.2. Manufactura aditiva

La manufactura aditiva es una metodología para elaborar piezas con geometrías complejas de manera tridimensional, permitiendo que tengan un nivel de detalle de mayor calidad, para ello es necesario un programa de diseño asistido por computador (CAD) que provee de las herramientas para efectuar el trabajo de manera más óptima. La principal ventaja de la AM es que permite la combinación de varios materiales polímeros para un solo conformado, cabe mencionar que la alimentación de la máquina de impresión es por medio de un filamento y posteriormente es calentado por la boquilla.

En la **Figura 1.7** se aprecia el proceso de impresión 3D de un modelo de taza, misma que parte desde una cama donde da lugar el inicio de la impresión, además de un punto de soporte del prototipo cuya manufactura es realizada capa sobre capa.



**Figura 1. 7** Proceso de manufactura aditiva de una taza  
(LaMonica, 2013, p. 5)

El tiempo de impresión depende de varios factores como el tipo de filamento a imprimir, capacidad de la impresora 3D, geometría del prototipo y el patrón de relleno, en el último aspecto se determinará el acabado del prototipo ya sea para adquirir una superficie lisa o rugosa y por consecuencia afectaría directamente al conformado.

## 1.4. INGENIERÍA INVERSA

Es un proceso que contribuye a la obtención de información de un elemento o componente para alcanzar un duplicado, con características iguales o mejores que el original. Requiere aplicar varias destrezas, como el conocimiento de la metrología, el diseño y la manufactura

de componentes. Para obtener información sobre tal elemento y transformarlo mediante dichas herramientas a un modelo (E. J. López et al., 2010, p. 1).

En el flujograma de la **Figura 1.8** se muestra el procedimiento que utiliza la ingeniería inversa para el prototipado de elementos mecánicos, mediante el que se puede replicar un objeto con iguales o mejores características.



**Figura 1. 8** Diagrama de Flujo del Procedimiento Experimental  
(Valerga et al., 2015, p. 2)

Esta metodología de desarrollo de elementos, no solo de carácter automotriz sino de varias industrias, se ha desarrollado permitiendo mejorar productos, en donde, el principal modelo que se pretende producir ya está conformado y a partir de él, se enfoca en replicar mejorando las características cubriendo las deficiencias de los elementos (Rodríguez, 2011, p. 6).

En cada etapa de la ingeniería inversa hay modelos a seguir para obtener el producto final, cada fase consiste en:

### **Fase 1: Selección del modelo**

En la presente etapa se elaborará una estrategia a seguir teniendo en cuenta materiales y herramientas que serán necesarias para el diseño o modelado que se efectúe para satisfacer la necesidad del cliente y optimizar el tiempo de producción (E. J. López et al., 2010, p. 3).

### **Fase 2: Digitalización**

Para efectuar el levantamiento de datos del elemento a producir se puede realizar de dos maneras según Borja (Borja-Ramírez et al., 1999)

- Dispositivos que permiten la toma de datos en 3D sin necesidad de hacer contacto físico como el escáner.
- La toma de datos mediante el tacto con instrumentos de medición como el vernier, entre otros instrumentos.

### **Fase 3: Tratamiento y rediseño**

En la presente fase ya se obtiene el elemento digitalizado en el que se puede aplicar técnicas de simulación y aplicación de parámetros para observar el comportamiento del objeto diseñado. Por otra parte, si el diseño realizado muestra deficiencias o no cumple con el objetivo pasa a un rediseño para mejorar sus características.

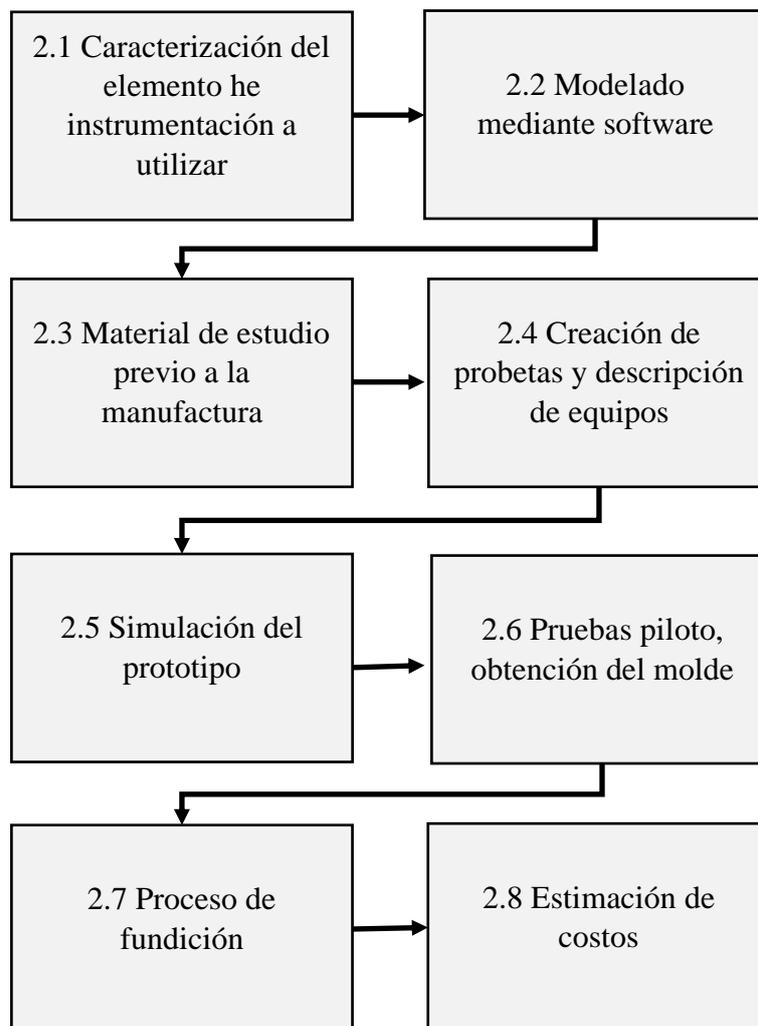
### **Fase 4: Manufactura**

En la fase final se valora todos los datos obtenidos del componente logrando duplicarlo y dándole uso para determinar la mejoría con el componente que se pretendía replicar.

## CAPÍTULO II

### 2. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto parte de la revisión bibliográfica en búsqueda de estrategias de manufactura mediante ingeniería inversa, incluyendo materiales usados en la industria automotriz, con la finalidad de seleccionar un proceso y material adecuado para la manufactura de la tapa de cabezote, en función de procedimientos experimentales, simulaciones y ensayos de laboratorio que permitirán determinar el nivel de aceptación del mismo mediante un análisis comparativo incluyendo costos. A continuación, se ilustra en la **Figura 2.1** el diagrama de flujo con la metodología utilizada:



**Figura 2. 1** Diagrama de Flujo para el desarrollo del proyecto

## 2.1. CARACTERIZACIÓN DEL ELEMENTO

En la primera etapa se identifica el camino a seguir para el diseño del prototipo, analizando que tipo de herramientas y procesos se utilizará para la generación del componente, además del orden secuencial que irá estructurado.



**Figura 2. 2** Elemento mecánico a diseñar, culata de Yamaha Dt 125

En la **Figura 2.2**, se ilustra el elemento a diseñar, mismo que, se caracteriza por la cantidad de aletas que sobresalen del cuerpo principal, además de una serie de redondeos, chaflanes, procesos de extrucciones salientes entre otros. A pesar de la importancia del software también es importante la parte del hardware, es decir, los instrumentos de medición que se va a utilizar y la escala de medición.

### 2.1.1. Instrumentación

En la actual sección se presentan los equipos, herramientas y materiales que serán utilizados para realizar el diseño, los ensayos de composición química, metalografía, así como los parámetros de los mismos y la manufactura de la tapa de cabezote.

- **Software**

El programa de diseño asistido por computador que se utilizará para efectuar el prototipo será el SolidWorks, debido a, que se puede utilizar con una licencia estudiantil a un bajo costo, además tiene una amplia utilidad en la industria del diseño, debido a que se logra crear elementos de maquinaria, a su vez, permitiendo ensamblarlas y simularlas con la aplicación de parámetros en condiciones de trabajo.

Para el diseño de la tapa de cabezote el software mencionado dará apertura a la simulación en dos diferentes estudios los cuales serán en base a la presión y el otro a la temperatura.

- **Herramientas de medición**

La tapa de cabezote para la Yamaha Dt 125 al ser un motor de refrigeración por aire la geometría de la tapa es bastante compleja, debido a, que cada aleta posee un ángulo diferente y dimensiones diferentes. Por consiguiente, las herramientas a utilizar para el diseño se exponen en la **Tabla 2.1**.

**Tabla 2. 1** Herramientas para levantamiento de medidas

Herramientas para el diseño
Bernier de 150 mm, Century, modelo G246021
Juego Geométrico

- **Materiales para la elaboración de moldes**

Se realizarán dos experimentos, el primero consiste en elaborar el modelo de cera utilizando alginato, en donde, se moldearán seis secciones del prototipo impreso en polímero y el segundo se elaborará el modelo de cera con el molde de caucho silicón a partir del prototipo original. En la **Tabla 2.2**, se exponen los materiales requeridos para efectuar el proceso de modelado de la culata, mismo que se divide en dos experimentos.

**Tabla 2. 2** Materiales para el moldeo

Material	Cantidad
Alginato	4 lb
Cera Parafina	2 bloques
Refractario 1300	12 kg
Sílice Coloidal	10 kg
Caucho silicón	2 kg
Estireno	1 kg
Resina	1 kg
Carbonato de calcio	5 lb

- **Equipos**

A continuación, se presenta la **Tabla 2.3** con los equipos requeridos para la mecanización de las probetas y del material que no forme parte del modelo del prototipo original que se obtendrá por fundición, así como, la instrumentación para la ejecución de los ensayos.

**Tabla 2.3** Equipos para mecanizar los prototipos y ensayos de probetas

Equipo
Torno
Fresadora
Horno industrial de resistencias eléctricas
Horno de fundición
Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos x ENS-37
Microscopio Metalográfico ENS-07
Máquina de ensayo de tracción ENS-09

## 2.2. MODELADO DE LA CULATA MEDIANTE EL SOFTWARE DE DISEÑO ASISTIDO EN 3D

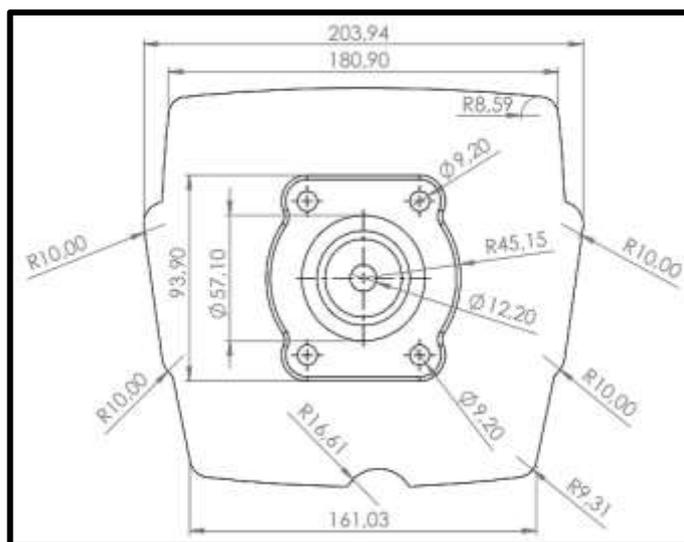
La tapa de cabezote de la Yamaha Dt 125 c.c de refrigeración por aire, es un elemento cuya estructura posee un grado de complejidad bastante significativo. En consecuencia, requiere un programa de diseño como “SolidWorks”, que permite realizar el modelado 3D de un componente y admite la utilización de una gran variedad de herramientas, que permitirán detallar el prototipo de manera más exacta.



**Figura 2.3** Uso del vernier para la toma de medidas

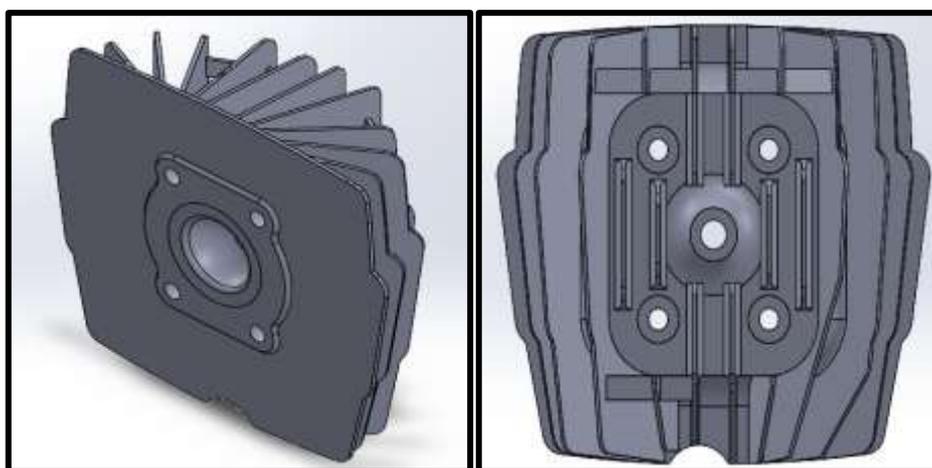
Para sacar las dimensiones del componente a diseñar se utilizó el calibrador pie de rey, que se puede observar en la **Figura 2.3**, instrumento que permite tomar diámetros, longitudes lineales y profundidades. Las mediciones se las realizó en milímetros.

Para realizar el diseño de la culata en 3D, se partió generando un croquis en el plano alzado, que conllevará el cuerpo principal del prototipo, de donde se estructurarán las geometrías salientes de la culata, usando las herramientas que tiene al alcance el programa, determinando el detalle en los acabados del elemento.



**Figura 2. 4** Plano principal del diseño de la culata

En la **Figura 2.4**, se observa la estructura principal de la culata, en la cual se acoplan una variedad de aletas de distintas formas y dimensiones que en conjunto cumplen la función de guiar el viento hacia el cilindro y posteriormente contribuya disipar la temperatura.



**Figura 2. 5** Vistas del diseño de la culata finalizada

En la **Figura 2.5** se observan las vistas isométrica y frontal del diseño terminado de la tapa de cabezote de la Yamaha Dt 125 mediante SOLIDWORKS, que permitió realizar el prototipado de la culata de manera eficiente y detallada. Además, contiene varios procesos que le dan un terminado agradable y que aporta al diseño en términos de resistencia.

### **2.3. MATERIAL DE ESTUDIO PREVIO A LA MANUFACTURA**

La tapa de cabezote de la Yamaha Dt 125 está elaborada a base de aluminio, silicio magnesio, cobre entre otros, lo cual hace de él, un elemento de gran resistencia al desgaste, además, de poseer buenas propiedades en cuanto a la disipación térmica. Para la selección del material que será utilizado para efectuar el prototipo, se realizará una comparación de las propiedades entre el aluminio y bronce, para posteriormente elaborar probetas cuyos resultados de los ensayos permitirán determinar el material para la manufactura del modelo.

#### **2.3.1. Bronce**

Uno de los materiales más utilizados para la manufactura de autopartes es el bronce, dado que, es una aleación entre el cobre y el estaño, entre otros, y puede variar las propiedades en base a la adición de otros elementos de acuerdo a las necesidades requeridas.



**Figura 2. 6** Olla de bronce

En la **Figura 2.6**, se observa una olla de bronce destinada para ser fundida y obtener las barras para la manufactura de la probeta. Posteriormente a la fundición será mecanizada en un torno para darle forma según las dimensiones que establece la norma ASTM A370.

A continuación, se ilustra en la **Tabla 2.4** las propiedades mecánicas que generalmente presenta un bronce dependiendo de la composición química, para determinar si es factible o no el uso del mismo para la elaboración del proyecto, sin embargo, el peso es un factor importante que no será tomado en cuenta para el fin de investigación.

**Tabla 2. 4** Propiedades del bronce

Tipo	Área	Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		Elongación
	mm <sup>2</sup>	KSI	MPa	KSI	MPa	%
Bronce	-	21	150	43 130	300 900	< 65

(Bravo Lazaro, 2011, p. 13)

### 2.3.2. Aluminio 6063

El aluminio es un material cuyo costo no es tan representativo, sin embargo, la fundición del mismo requiere una serie de habilidades y elementos para poder efectuar un buen vaciado. En la **Figura 15** se observa El aluminio proveniente de perfilería de ventanas, que pertenece al grupo 6XXX lo que significa que es aleado con magnesio y silicio, además de un tratamiento.



**Figura 2. 7** Perfilería de ventanas

El aluminio de arquitectura se caracteriza por tener alto grado de pureza, es decir, es una aleación con porcentajes bajos de silicio y magnesio, razón por la cual lo hace ideal para realizar una adición de silicio para comparar las propiedades originales con las que se

obtengan mediante los ensayos a realizar en el laboratorio anteriormente mencionado y poder caracterizar el material. A continuación, se presenta la **Tabla 2.5** con las propiedades mecánicas del aluminio estructural:

**Tabla 2. 5** Propiedades del aluminio 6063

Tipo	Área	Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		Elongación
	mm <sup>2</sup>	KSI	MPa	KSI	MPa	%
Aluminio 6063	-	21	145	27	185	12

(Ayres E & Quintero G, 2009, p. 7)

### 2.3.3. Comparación de materiales seleccionados

Para seleccionar el material se indagó en fuentes bibliográficas de productos utilizados para la manufactura de autopartes y que se encuentran abundantes en el medio, de los cuales se seleccionaron 2 diferentes tipos de materiales ilustrados en la **Tabla 2.6**, con algunas de sus características, factores clave para la elaboración del proyecto.

**Tabla 2. 6** Comparación de propiedades mecánicas del aluminio 6063 y del bronce

Tipo	Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Punto de fusión
	MPa	MPa	°C
Aluminio 6063	145	185	600
Bronce	150	300	1020

El aluminio se seleccionó el de uso en perfilería, debido a que, el porcentaje de pureza es alto y no contiene otros elementos agregados en proporciones significativas, lo cual lo hace ideal para la realización de aleaciones, además, en sus propiedades se advierte que posee un límite de fluencia de 145 MPa y 185 MPa de resistencia a la tracción a comparación del bronce se utilizó una olla hecha del mismo material descartando el peso, puesto que al ser un proyecto experimental se pretende analizar el conformado mediante un proceso de

fundición y comportamiento del mismo en las condiciones de trabajo que ejerce la Yamaha Dt 125. Por otra parte, lo que lo hace al bronce un material competente ante el aluminio es la resistencia a la tracción que es de 300 MPa lo cual se debe a la densidad y la resistencia a la fluencia es de 150 MPa, el cual no es muy superior al aluminio.

Cabe mencionar que las características de los materiales anteriormente mencionados varían según el porcentaje de elementos aleados y las propiedades del aluminio y del bronce se tomaron de manera general de cada tipo, para la elaboración de las probetas y en base a los ensayos se podrá evidenciar el valor exacto, además, del porcentaje de los elementos que lo conforman.

#### 2.4. CREACIÓN DE PROBETAS

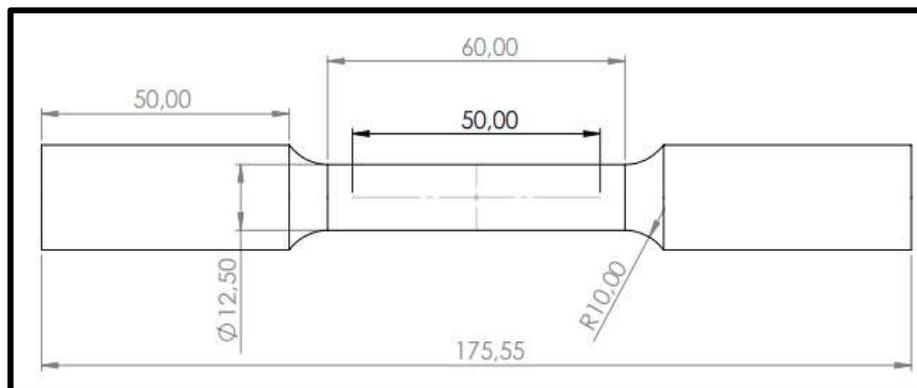
En el presente estudio se efectúa dos probetas cuyo material de origen es el aluminio y el bronce, que serán fundamentales para ser ensalladas con base a normativas internacionales, mismas que se desarrollan de acuerdo al material que se va a evaluar y el tipo de ensayo a realizar.

El material obtenido de la fundición fueron dos barras de 23.7 mm de diámetro y 28 cm de largo más una barra de la misma longitud, pero con 37.8 mm de diámetro.



**Figura 2. 8** Barras para la elaboración de probetas

En la **Figura 2.8** se observan las barras obtenidas por fundición las cuales fueron devastadas 2 milímetros desde el diámetro exterior mediante el torno para obtener un diámetro total de 25 milímetros, y poder continuar con el proceso de torneado para obtener la probeta para el ensayo de tracción.



**Figura 2. 9** Diseño de probeta para ensayo de tensión según la norma ASTM A370

En la **Figura 2.9** se ilustra el diseño de la probeta para el ensayo de tracción cuya sección es circular y sin rosca que se adapta a la mordaza que tiene el laboratorio acreditado ILPM. Por otra parte, para efectuar el proceso de mecanizado se desbastó gradualmente la barra resultante de la fundición por medio del torno hasta obtener las probetas cuyas dimensiones se muestran en la **Tabla 2.7**.

**Tabla 2. 7** Dimensiones de probeta de tensión según ASTM A370

Dimensión de probeta para tracción según ASTM A370	
A: Longitud de sección reducida	60 mm
B: Longitud de agarre mínimo	50 mm
D: Diámetro de sección reducida	12.5 mm
G: Longitud de calibre	50 mm
R: Radio mínimo	10 mm

(ASTM A370-15, 2015, p. 7)



**Figura 2. 10** Torneado de la probeta de aluminio

En la **Figura 2.10**, en la etapa de torneado se obtuvo las muestras a ensayar de aluminio y bronce, sin embargo, la probeta de aluminio presentó micro porosidades las cuales afectarán el resultado del ensayo, sin embargo, se realizará y se verificará hasta que rango de fuerza soportó las probetas obtenidas.

#### **2.4.1. Descripción de equipos**

En el presente estudio se elaboraron tres tipos de ensayos por cada probeta, cuyo material fue de aluminio y bronce. El material para la manufactura de las probetas se obtuvo en la empresa **SMO**, debido a, que cuenta con las herramientas y materiales para efectuar procesos de fundición y como resultado de la misma, se consiguió las barras para las probetas con moldes de arena.

Los ensayos realizados se efectuaron en el laboratorio **ILPM Engineering**, ubicado en la ciudad de Quito, mismo que está acreditado por el SAE bajo la norma INEN ISO/IEC 17025 que lo faculta para realizar pruebas en base a normativas ASTM, cuyos resultados contribuyeron a caracterizar el material, permitiendo realizar una comparación con el elemento de referencia garantizando la fiabilidad del prototipo.

A continuación, se expondrán los equipos y los parámetros que fueron utilizados para efectuar los ensayos:

- **Espectrómetro de fluorescencia de rayos x ENS-37**

El equipo para determinar la composición química mediante la norma ASTM 1621, que es el ensayo de análisis por fluorescencia de rayos x, realizado a las probetas se obtuvieron los porcentajes de elementos que lo conforman, alcanzando los resultados por medio de una descarga de electrones, causando una reacción que permite al dispositivo determinar el nivel de concentración en la probeta (Alicante, 2024). A continuación, en la **Tabla 2.8**, se expone los parámetros que presentó el dispositivo para llevar a cabo el análisis de composición química:

**Tabla 2. 8** Parámetros del ensayo de composición química

Elemento medido	Aluminio y Bronce
Equipo	Espectrómetro de fluorescencia de rayos x ENS-37
Temperatura	20 ± 3 °C
Humedad relativa	60 ± 20%
Norma	ASTM E1621
Método	Alloy Plus
Tiempo	11 sec

- **Microscopio metalográfico ENS-07**

El microscopio metalográfico permite analizar la estructura de un elemento mediante una sección en dos dimensiones, el funcionamiento del equipo se basa en la descripción de Dehoff (1999), menciona “la estereología es la metodología que proporciona descripciones cuantitativas de la geometría de estructuras globales tridimensionales reales a partir de mediciones realizadas en imágenes bidimensionales tomadas del globo” (p.1).

En la **Tabla 2.9** se ilustra los parámetros internos y externos usados para el ensayo de metalografía incluyendo los reactivos químicos.

**Tabla 2. 9** Parámetros del ensayo metalográfico

Elemento medido	Aluminio	Bronce
Equipo	Microscopio metalográfico ENS-07	
Temperatura	22 ± 4 °C	
Humedad relativa	48 ± 22%	
Norma	ASTM E45	
Reactivo	Ácido Fluorhídrico	Cloruro Férrico

- **Máquina de ensayos de tensión ENS-09**

La máquina universal de ensayos de tensión cuya capacidad es hasta los 300kN, y permite obtener las propiedades mecánicas como límite de fluencia, resistencia a la tracción, porcentaje de elongación. Los parámetros del equipo de la actual sección se exponen en la **Tabla 2.10**.

**Tabla 2. 10** Parámetros del ensayo de tracción

Elemento medido	Aluminio	Bronce
Equipo	Máquina Universal de Ensayos de Tensión ENS-09	
Temperatura	22 ± 4 °C	
Humedad relativa	48 ± 22%	
Norma	ASTM A370	
Diámetro Menor (mm)	12.48	12.50
Longitud Inicial (mm)	50.00	50.00
Longitud final (mm)	52.22	51.80

## 2.5. SIMULACIÓN DEL PROTOTIPO

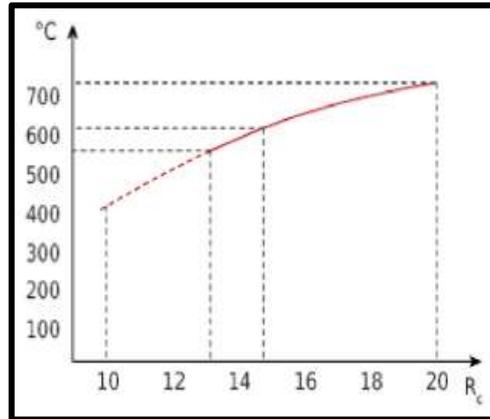
Para efectuar la simulación se utilizó el software “SOLIDWORKS” utilizando el diseño realizado en el mismo programa en el cual, se analizaron las propiedades de los motores mediante una simulación térmica aplicado el bronce y el aluminio, así mismo se realizó la simulación estructural de los dos materiales a partir de ecuaciones, que permitieron obtener valores teóricos de presiones que se originan dentro del cilindro en funcionamiento.

### 2.5.1. Variables de estudio para la simulación

Por medio de las variables de estudio que son la temperatura y la presión media efectiva dos características importantes, cuya aplicación contribuyó a determinar valores teóricos a lo que es sometida la tapa de cabezote en funcionamiento. A continuación, se presenta cada variable utilizada para la simulación:

- **Temperatura**

La combustión produce una temperatura muy alta, la cual se disipa dependiendo del sistema de refrigeración del motor. Para la simulación se tomó como referencia la temperatura de trabajo que soporta el pistón que es de 250 °C a 350 °C en la parte superior y por consecuencia también adquiere la misma temperatura la culata (Hernández, 2015, p. 1).

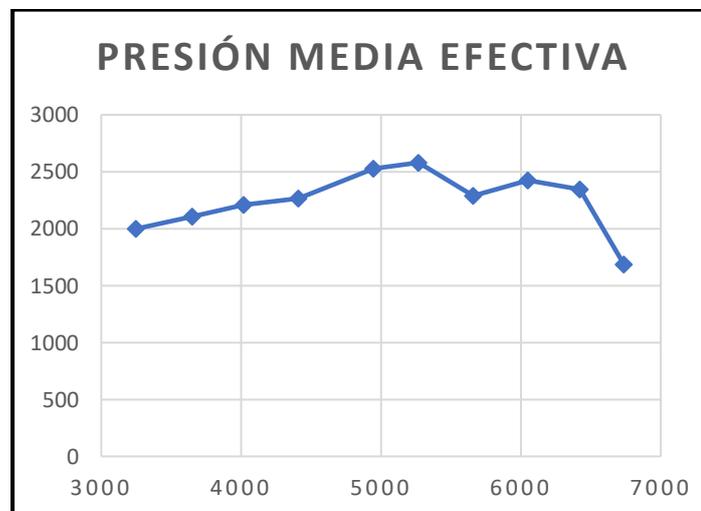


**Figura 2. 11** Motor de explosión. Ciclo teórico  
(Sanchez Gutierrez, 2015, p. 60)

En la **Figura 2.11**, se observa el diagrama del ciclo teórico en donde se plasma la temperatura en función de la relación de compresión, para el caso de estudio se utilizará una relación de compresión de 6.4:1 lo que se puede intuir mediante la gráfica que la temperatura será de 250 a 350 °C.

- **Presión media efectiva**

Es la presión que se produce al final de la etapa de la combustión, para ello, se llevará a cabo una serie de análisis de las propiedades de los motores para determinar en el ciclo teórico la presión media instantánea que se aplica en el PMS al momento de la combustión.



**Figura 2. 12** Curva de Presión media efectiva en función de rpm  
(Meza, 2005, p. 56)

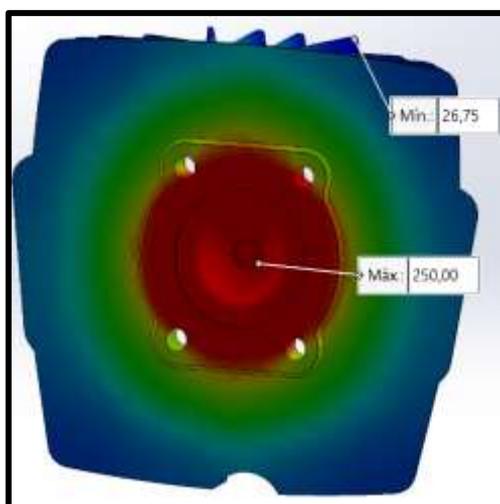
A continuación, se presenta la **Figura 2.12**, donde se ilustra la curva de presión media efectiva realizada a un motor Yamaha 125, en la que se presenta un valor máximo de 2580.24 kPa, mismo que será utilizado para evaluar el comportamiento de la culata ante dicha presión y mediante el factor de seguridad evaluar si resiste o no.

### 2.5.2. Simulación

En la simulación evaluó el aluminio 6063 correspondiente a perfilería para marcos de ventanas y puertas, incluyendo al bronce proveniente de una olla, tomados de la librería del software para obtener resultados referentes a la temperatura y a la presión que resiste la tapa de cabezote en condiciones de trabajo como se expone a continuación:

- **Análisis térmico del aluminio 6063**

El análisis térmico de la tapa de cabezote se efectuará utilizando la temperatura de trabajo que es de 250 °C, bajo condiciones de frontera, es decir, se aplicará la temperatura ambiente que es de la ciudad de Ibarra y un coeficiente de convección. La ventaja de la simulación es que permite visualizar la disipación de temperatura del elemento y se analizará el comportamiento.

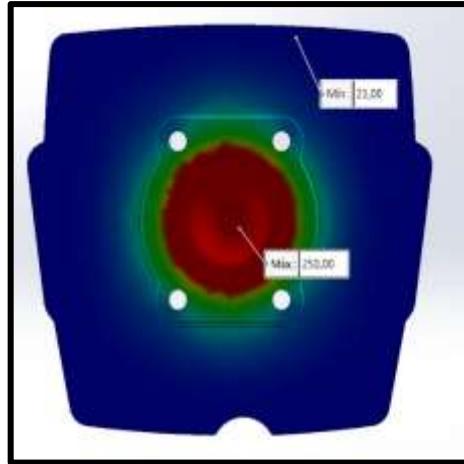


**Figura 2. 13** Análisis térmico del prototipo de aluminio

En la **Figura 2.13**, se muestra la distribución de temperatura que se dispersa desde el interior hacia el exterior de la tapa, demostrando que el aluminio 6063 tiene buena capacidad de disipación térmica.

- **Análisis térmico del bronce**

En la fase de simulación del bronce se pudo observar que tiene menor capacidad de disipar la temperatura de manera que tarda en extenderse por sus extremos.

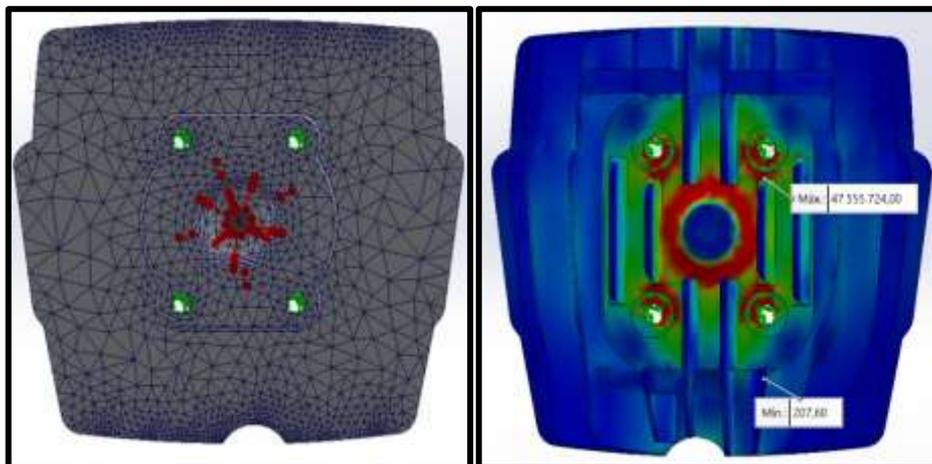


**Figura 2. 14** Análisis térmico del prototipo de bronce

En la **Figura 2.14**, se observa el resultado del análisis térmico del bronce con la mayor concentración en el centro, debido a la densidad, que es superior a la del aluminio y no transfiere el calor con tanta facilidad.

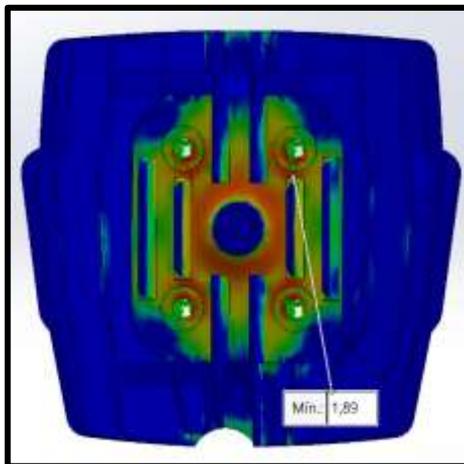
- **Análisis estructural del aluminio 6063**

Para la simulación estructural se procede a establecer los puntos de sujeción seguido de la carga, la cual se determinó el uso de la presión expresada en MPa, misma que ejerce una fuerza de manera perpendicular a la superficie que sella el cilindro (tapa de cabezote).



**Figura 2. 15** Simulación estructural

En la **Figura 2.15**, se observa el mallado por defecto basado en curvatura aplicado a los cuatro puntos de sujeción (geometría fija) y la presión media efectiva (2580.24 kPa) en el centro. Al aplicar las condiciones para el análisis, no presenta afectaciones a la geometría del elemento, debido a, que está dentro límite elástico alcanzando una tensión máxima de 47,5 MPa.

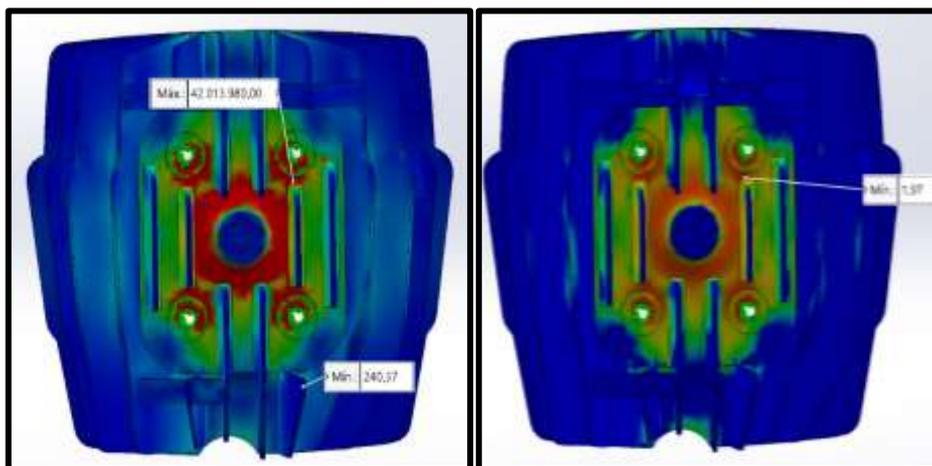


**Figura 2. 16** Factor de seguridad del aluminio

En la **Figura 2.16**, se ilustra el factor de seguridad, obtenido de la aplicación de la PME. Se consiguió valores superiores respecto al factor de seguridad mínimo que fue de 1.89 que significa que soporta la carga.

- **Análisis estructural del Bronce**

El material simulado presenta mayor resistencia a la deformación debido a que el bronce tiene mayor densidad en su estructura resultando más resistente, sin embargo, el peso es muy representativo.



**Figura 2. 17** Tensión máxima en el bronce y factor de seguridad

En la **Figura 2.17**, se observa la tensión máxima que se genera en los puntos de sujeción y el valor resultante que es de 42.01 MPa con un factor de seguridad de 1,97 lo que se intuye que el prototipo aguantará sin que falle. Por otra parte, el valor de la deformación y del desplazamiento es relativamente cero indicando que el bronce es un elemento que se puede utilizar para la manufactura del prototipo.

### 2.5.3. Tabulación y análisis de resultados de simulación

En la **Tabla 2.11**, expuesta a continuación se evidencia los datos obtenidos de la simulación del prototipo con la presión media efectiva, mismos que son valores mínimos y máximos obtenidos.

**Tabla 2. 11** Resultados de simulación térmica y estructural

Material	Fuerza MPa	Tensión Máxima MPa	Desplazamiento	Deformación	Factor de seguridad Min: 1	Temp. °C
Aluminio 6063	2,5	47,5	0,01	0,0	1,89	250
Bronce	2,5	42,01	0,01	0,0	1,97	250

Al realizar la simulación del prototipo con la adición de los materiales, ambos diseños demostraron ser resistentes para la aplicación en la manufactura del prototipo mostrando cierta variación en la tensión del aluminio con 47,5 MPa y del bronce con 42.01 MPa, no obstante, los dos materiales seleccionados están dentro del rango en cuanto al factor de seguridad para elementos dúctiles que es 1.

Gracias al análisis de la simulación se utilizará el aluminio y el bronce como materiales para la elaboración de las culatas porque son aptos, debido a, que resisten cargas y temperaturas sin sufrir deformaciones en su estructura.

## 2.6. PRUEBAS PILOTO OBTENCIÓN DEL MOLDE

Para obtener el modelo en cera se plantearon dos pruebas piloto con el fin de analizar la factibilidad del proceso que se va a ejecutar analizando los pro y contras que presentan los modelos.

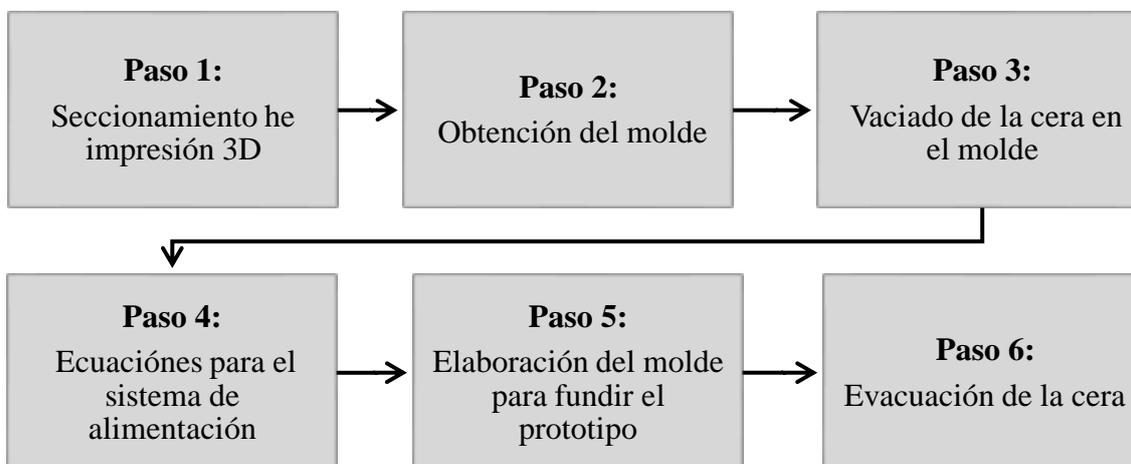
- **Experimento 1: Método de cera perdida con molde de yeso**

Para la elaboración del molde de la tapa de cabezote se utilizó cera parafina y como material de moldeo el alginato, mismo que tiene una amplia aplicación dentro del sector odontológico y es utilizado para imprimir moldes en cera, básicamente es un compuesto en base al sodio con otras sales provenientes de algas marinas. Para el proceso de moldeo se utilizó las divisiones obtenidas de la impresión para ser matriz en la generación del molde de cera.

- **Experimento 2: Método de cera perdida con molde de cascarilla**

Se utilizó el elemento original como matriz y el caucho silicón para hacer la impresión del molde, debido a que es más resistente a la temperatura y flexible. También se utilizó cera preparada a base de la cera parafina añadida un polímero para darle más rigidez y colorante para que la secada sea más rápida. Se elaboró un contra molde hecho en fibra de vidrio para darle más firmeza al molde de caucho. Además, como material principal para la elaboración de los moldes de cascarilla se compusieron a base de una barbotina hecha de sílice coloidal y arena refractaria con distintas propiedades para soportar la temperatura generada en el horno y posteriormente la temperatura de la colada, al efectuar el vaciado en los moldes de los prototipos. A continuación, se describen los experimentos explicando cada una de las etapas de desarrollo:

### 2.6.1. Experimento 1: Método de cera perdida con molde de yeso

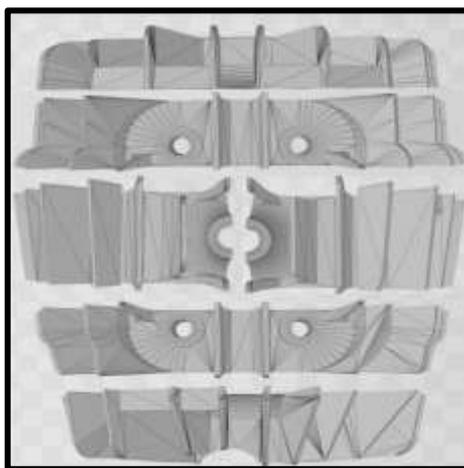


**Figura 2. 18** Flujograma de método cera perdida con molde de yeso

En la **Figura 2.18**, se observa el flujograma que se utilizó para el desarrollo del método de cera perdida con molde de yeso mismo que se expondrá cada una de sus etapas a detalle a continuación:

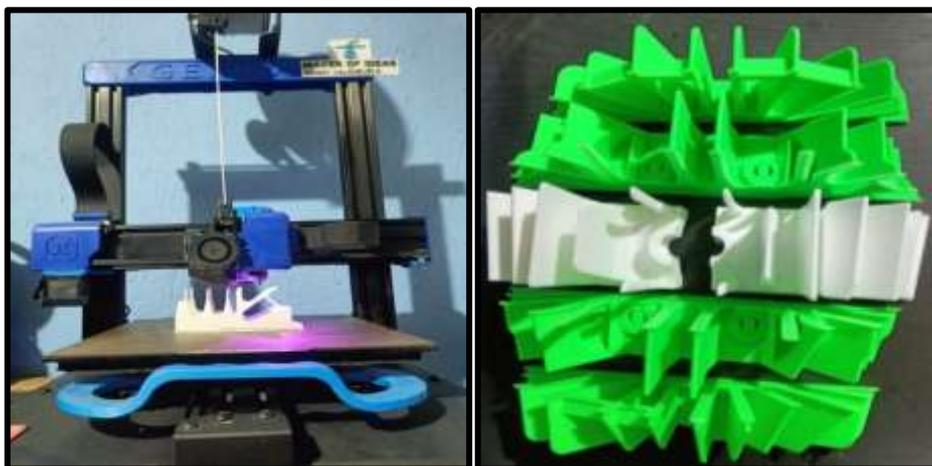
### **Paso 1: Seccionamiento he impresión**

El seccionamiento se lo realizó a partir del diseño principal para poder imprimirlos de forma independiente, al ser un elemento cuyas dimensiones son considerables para la fabricación aditiva (impresión 3D), se optó por dividirlo en 6 partes tanto para reducir el riesgo de un mal conformado en la geometría y mayor facilidad para el proceso de moldura que se efectuará posteriormente.



**Figura 2. 19** Prototipo seccionado en formato STL.

En la **Figura 2.29**, se observa el prototipo seccionado y renderizado en formato STL, el cual, permite ilustrar un diseño CAD en 3D, mismo que se procederá con la fabricación aditiva.

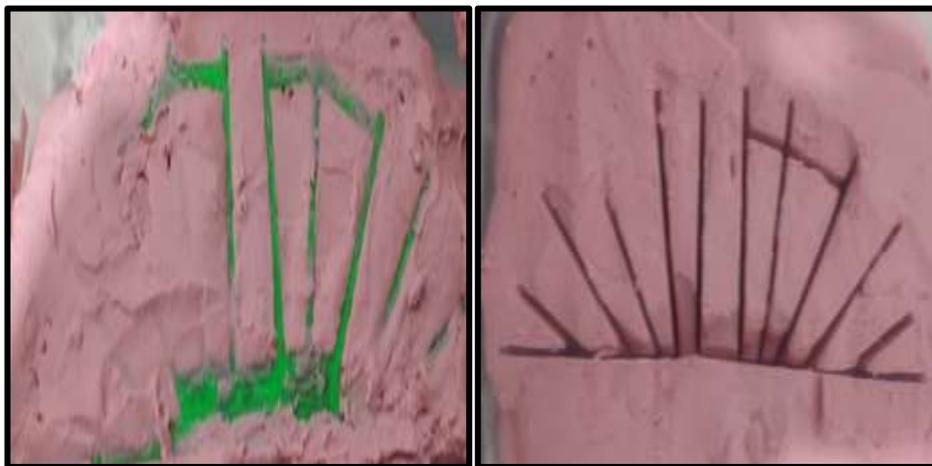


**Figura 2. 20** Impresión del prototipo seccionado

En la impresión del modelado se utilizó la impresora “I Creality CR6 MAX”, cuyo patrón de relleno es lineal para un mejor conformado del prototipo. Se pudo obtener 6 secciones hechas a base del material ABS mismos que serán utilizados para el proceso de adaptación del molde como se puede observar en la **Figura 2.20**.

### **Paso 2: Obtención del molde**

En esta fase se eligió la sección superior del prototipo para llevar a cabo la obtención del molde donde se verterá la cera. Para adaptar en un recipiente, se mezcló el alginato (material utilizado en la ortodoncia para sacar moldes con agua hasta obtener una masa suave no tan espesa ni tan aguada en la que se inmerso el elemento seccionado, cabe resaltar que la pieza a moldear se aplicó una capa externa con un antiadherente).



**Figura 2. 21** Proceso de moldura con alginato

En la **Figura 2.21**, se muestra la selección de la sección a moldear seguido de la aplicación del alginato en forma de pasta cubriendo toda la impresión para proceder al secado y posteriormente el desmoldeo del modelo permitiendo obtener el molde negativo para el vaciado de cera.

### **Paso 3: Vaciado de cera en el molde**

La cera parafina debe ser previamente diluida en un recipiente en el que se pueda llevar a cabo un vaciado adecuado. El tiempo de secado del alginato es de 2 a 3 minutos después, se convierte en una masa similar al caucho, obteniendo así el negativo. Al obtener el molde

negativo como se observa en la **Figura 2.22**, es indispensable realizar correcciones y quitar restos de alginato que puedan afectar al resultado final del modelo.



**Figura 2. 22** Molde de cera parafina

En el experimento 1 no se pudo concluir la moldura, debido a una serie de observaciones entre ellas la que se ilustra en la **Figura 2.22**, que no serán beneficiosas para el resultado final del prototipo durante la fundición y se optó por buscar un método más eficiente explicado en el experimento 2.

A continuación, se menciona las observaciones del experimento 1:

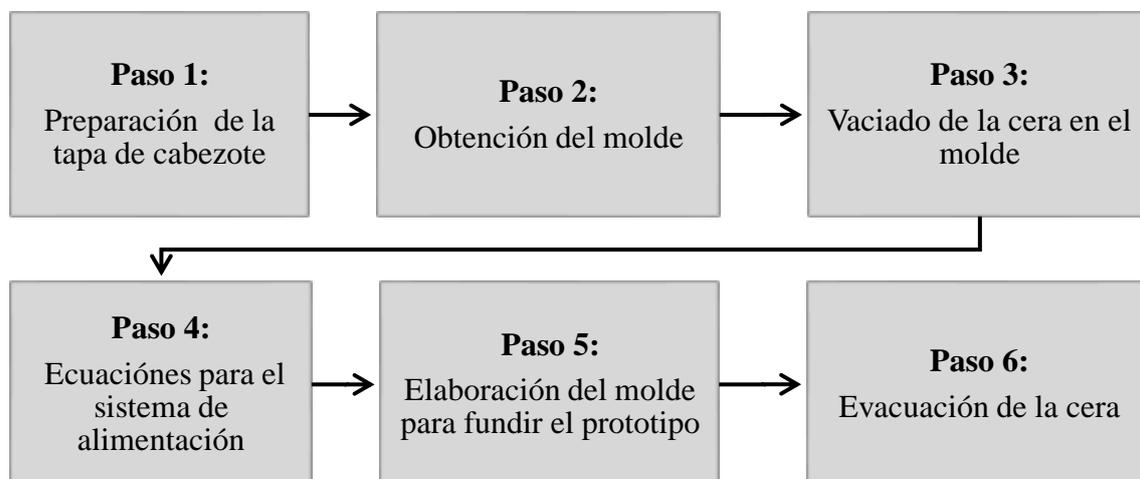
- Rugosidad en la superficie de la cera
- La cera se ablanda en temperatura ambiente y sufre deformaciones prematuras
- Complejidad para sacar el modelo del molde sin que sufra fracturas
- El alginato genera burbujas que afectan al modelo
- Al verter la colada de fundición la diferencia de temperatura del molde no permitirá un llenado adecuado en el modelo y sufrirá enfriamientos prematuros y por consecuencia un prototipo defectuoso.

### **2.6.2. Experimento 2.- Método de cera perdida con molde de cascara**

Actualmente, el método de cera perdida se utiliza especialmente en la joyería, por el nivel de detalle que permite obtener en las piezas, además, facilita el moldeado de gran complejidad en prototipos. Cuando se obtenga el modelo en cera del experimento que resulte

más adecuado se procederá a elaborar el molde de cascarilla cuyo procedimiento se explica de mejor manera en el Paso 5.

Para el proceso obtención del molde de cera se procedió de la siguiente manera:



**Figura 2. 23** Diagrama de flujo del proceso de obtención del molde.

El diagrama de flujo presentado en la **Figura 2.23**, muestra las etapas que se efectuarán para obtener el molde incluyendo el estudio de ecuaciones para delimitar las dimensiones para la adición de la mazarota y bebederos.

### **Paso 1: Preparación de la tapa de cabezote**

En el paso uno se identificó la geometría del elemento de referencia para proceder a aumentar las dimensiones en las secciones que posteriormente se mecanizarán y rectificarán.



**Figura 2. 24** Preparación de la matriz para obtener el molde

En la **Figura 2.24**, se muestra preparación de la culata original quien va a ser la matriz principal del molde se procedió a tapar y aumentar los orificios de la tapa de cabezote con

cartón prensado para posteriormente recubrir con vaselina líquida el elemento con la finalidad de que actúe como antiadherente

### **Paso 2: Obtención del molde**

Para obtener el molde se procedió vertiendo el caucho silicón sobre la tapa del cabezote generando una primera capa que copiará los detalles del elemento. Por consiguiente, cuando la matriz a imprimir adquirió mayor espesor en las capas de caucho se procedió a rellenar con gasas de manera que el molde adquiera mayor resistencia en su estructura.



**Figura 2. 25** Proceso de moldura para la obtención del negativo

En la elaboración del contra molde se recubrió el caucho con papel aluminio de manera que evite el contacto directo con la fibra de vidrio y este pueda ser desmoldado fácilmente como se observa en la **Figura 2.25**.

Una vez se efectuó el contra molde se procedió a realizar varios cortes tanto en la parte inferior en el centro y en los extremos del caucho con la finalidad de agilizar la extracción de la matriz dentro del modelo elaborado y a su vez facilitar el desmoldeado sin que la impresión en cera sufra bastantes rupturas.

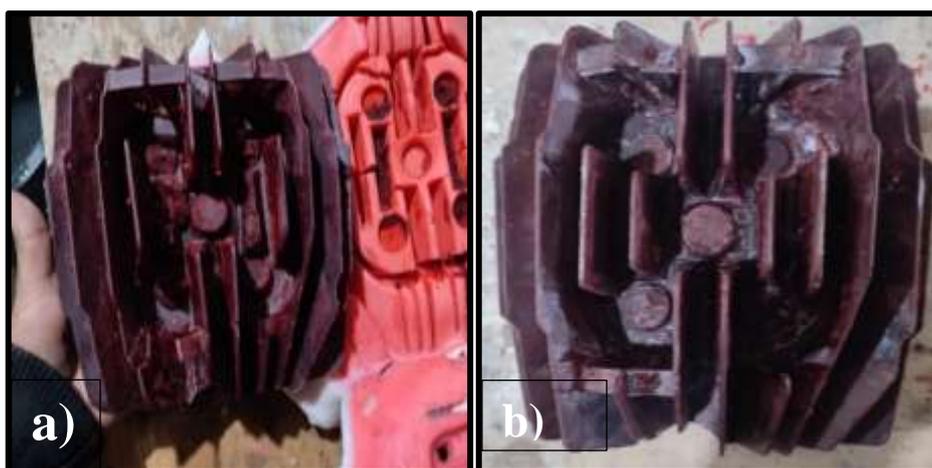


**Figura 2. 26** Molde negativo de caucho silicón

En la **Figura 2.26**, se muestra el molde negativo del elemento de referencia ubicado en el contra molde para mayor firmeza al momento del vaciado de la cera no pierda su consistencia.

### Paso 3: Vaciado de la cera en el molde

Para realizar el vaciado fue indispensable verter la cera despacio para que ingrese a todas las esquinas y salgan todas las burbujas de aire con la finalidad de que no queden inconsistencias en el modelo de cera.



**Figura 2. 27** Modelo mal conformado a) vs b) modelo con buen conformado

En la **Figura 2.27 a)** se evidencia el primer vaciado se dejó reposar por 1 hora para que se enfríe bien la cera, no obstante, no fue el tiempo necesario para que la cera tome una temperatura adecuada y se solidifique uniformemente dejando puntos calientes en los cuales el modelo de cera sufrió múltiples fracturas. Por otra parte, en la **Figura 2.27 b)**, se evidencia un buen conformado del prototipo de cerda tras dejar 4 horas de secado para asegurar que se enfríe correctamente. La cera preparada con un polímero y colorante adquiere más rigidez y por consecuencia permite mayor facilidad para desmoldear del caucho.

### Paso 4: Variables para la adición de bebederos y ductos de salida de gases

Para la adición de bebederos y ductos de salida para los gases fue indispensable determinar el tamaño y posición de la mazarota mediante el cual se efectuará el vaciado de la colada permitiendo obtener un buen relleno en la fundición de la tapa.

A continuación, la **Tabla 2.12** presenta las variables a utilizar mediante fórmulas para obtener el diámetro de los ductos de alimentación, salida de gases, bebederos, mazarotas, cabe mencionar que los datos en cuanto al volumen y área se obtuvieron del diseño con la finalidad de que la tapa de cabezote tenga un buen conformado en la fundición.

**Tabla 2. 12** Ecuaciones aplicadas para el sistema de alimentación

Variables	Fórmulas	Cita
Volumen de la mazarota $V_{maz}$ , donde $k$ = factor de seguridad = 2, $c$ = Coeficiente de contracción del material y $V_{pieza}$ = Volumen de la pieza	$V_{maz} = k \cdot c \cdot V_{pieza}$ [2. 1]	(Pozo, 2021, p. 7)
Diámetro de la mazarota $D_{maz}$	$D_{maz} = \sqrt[3]{\frac{2V_{maz}}{\pi}}$ [2. 2]	(Pozo et al., 2021, p. 7)
Módulo de enfriamiento $M_{enfriamiento}$ , donde, $A_{pieza}$ es el área de la pieza	$M_{enfria.} = \frac{V_{pieza}}{A_{pieza}}$ [2. 3]	(Pozo et al., 2021, p. 7)
Bebederos $v_2$ , donde $g$ = gravedad $9.81 \text{ m/s}^2$ , $H = 60 \text{ mm}$ . Según la ley de Torricelli	$v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$ [2. 4]	(Freire Bravo et al., 2021, p. 39)
Diámetro base del bebedero $D_2$ , donde $Re$ = Número de Reynols ideal = 10000, $\eta$ = Viscosidad dinámica, $\rho$ = densidad líquida	$D_2 = \frac{Re \cdot \eta}{v_2 \cdot \rho}$ [2. 5]	(Freire Bravo et al, 2021, p. 40)

#### Datos obtenidos a partir del diseño del prototipo en el SolidWorks:

$$V_{pieza} = 439295,22 \text{ mm}^3$$

$$A_{pieza} = 219431,03 \text{ mm}^2$$

**Volumen mínimo de la mazarota:** se refiere al espacio que ocupará la entrada de alimentación de la colada fundida.

$$V_{maz} = 2 * \left(\frac{7}{100}\right) * 439295,22 \text{ mm}^3$$

$$V_{maz} = 61501.33 \text{ mm}^3$$

**Diámetro de la mazarota:** es el tamaño de entrada del material fundido hacia el molde para obtener un correcto vaciado y mantener una alimentación constante para cubrir rechupes por efecto de la contracción del material.

$$D_{maz} = \sqrt[3]{\frac{2 * (61501.33 \text{ mm}^3)}{\pi}}$$

$$D_{maz} = 33.95 \text{ mm}$$

**Módulo de enfriamiento:** se refiere a la velocidad de enfriamiento del elemento fundido.

$$M_{enfriamiento} = \frac{439295,22 \text{ mm}^3}{219431,03 \text{ mm}^2}$$

$$M_{enfriamiento} = 2.0019 \text{ mm}$$

**Bebederos:** es la entrada de la colada hacia el molde.

$$v_2 = \sqrt{2 * (9.81 \text{ m/s}^2) \left( \frac{60 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}} \right)}$$

$$v_2 = 1.085 \text{ m/s}$$

**Diámetro base del bebedero**

$$D_2 = \frac{1000 * 0.095 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}}}{1.085 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

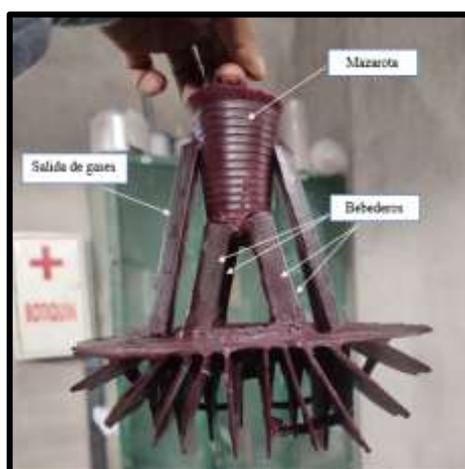
$$D_2 = 0.03242 \text{ m} \quad D_2 = 3.24 \text{ cm}$$

Por medio de las ecuaciones se logró obtener las dimensiones tanto del sistema de alimentación en el que consta la mazarota y los bebederos, así como el sistema de salida de gases para proceder con la ubicación de los mismos en el molde de cera. A

continuación, se presenta la **Tabla 2.13** con las respectivas dimensiones para el proceso de fundición.

**Tabla 2. 13** Resultados de ecuaciones para el sistema de alimentación

Descripción	Valor	Unidades
Volumen mínimo de la mazarota	61501,33	mm <sup>3</sup>
Diámetro de la mazarota	33,95	mm
Módulo de enfriamiento	2,0019	mm
Bebedero	1,085	m/s
Diámetro base del bebedero	3,24	cm



**Figura 2. 28** Prototipo con bebederos y salidas de gases

En la **Figura 2.28**, se observa el modelo de cera con los bebederos y salidas de gases con sus respectivas dimensiones obtenidas a través de las ecuaciones para proceder a ser sumergido en la barbotina.

### **Paso 5: Elaboración del molde de cascarilla**

En la elaboración del molde se aplicó un método por inmersión que consiste en sumergir el molde de cera en la barbotina y inmediatamente aplicar arena sílice para formar la primera capa, misma, que debe poseer un grosor de 1 a 1,5 milímetros. Cabe mencionar que previamente a la inmersión en la mezcla de la sílice coloidal con el refractario, el prototipo

fue cubierto con una capa mínima de PVA (Pintura Vinil Acrílica) con la finalidad que reciba a la barbotina y a su vez la arena sílice se adhiera uniformemente en todo el prototipo.

El proceso es repetitivo entre capas hasta que se obtenga un grosor de 7 milímetros que es lo adecuado para soportar la temperatura tanto para derretir la cera como de la colada que se añadirá al molde.



**Figura 2. 29** Proceso de inmersión en barbotina con cubierta de arena sílice

En la **Figura 2.29**, se ilustra el modelo de cera en el baño de barbotina y posteriormente el recubrimiento con arena sílice cernida, para ir conformando capas de un milímetro hasta conseguir un espesor de 7 milímetros.

La finalidad de la aplicación del método actual del molde de cascarilla en el experimento 2, fue seleccionado debido a que el molde tiene una resistencia térmica de 1300 °C, temperatura suficiente para fundir el aluminio y el bronce incluyendo la calidad de detalle que se obtiene.



**Figura 2. 30** Molduras con arena sílice terminadas

En la **Figura 2.30**, se puede observar el proceso de la aplicación de la arena sílice sobre la barbotina, se logró obtener los moldes con un espesor capa tras capa de 7 mm, lo que dará soporte al molde cerámico al llevar a cabo el vaciado de la colada.

#### **Paso 6: Evacuación de la cera**

En la presente etapa se procedió a preparar un horno de resistencias eléctricas para que aumente gradualmente la temperatura del molde y caliente la cera a 150°C con la finalidad de ablandar la cera del cerámico y no quede residuos en las paredes.



**Figura 2. 31** Proceso de cocción de cera y sinterización

En la **Figura 2.31**, se ilustra el proceso de cocción del molde con el objetivo de calentarlo hasta los 1000 °C aproximadamente, para evacuar la cera y quemar los residuos que queden en el molde (Marcos Martínez, 2013, p. 38,39).

El proceso de quemado dura alrededor de tres horas y una de las señales claves para saber que ya se quemó completamente la cera es que deja de echar humo y el molde se vuelve de color blanco. Al efectuar la cocción del molde a altas temperaturas sufre un cambio denominado sinterización, que es un tratamiento térmico que mejora las propiedades del molde transformándolo en un cerámico de alta resistencia a la temperatura y en el que posteriormente será el molde negativo del prototipo a obtener en la fundición.

## **2.7. PROCESO DE FUNDICIÓN**

Se procedió a preparar los materiales para realizar la aleación de aluminio que irá compuesto del tipo 6063, que es usado comúnmente en la perfilería de ventanas y silicio al 2%, además del bronce.



**Figura 2. 32** Proceso de fundición a) y b) adición del silicio

En la **Figura 2.32**, sección a) se observa la adición de las barras de aluminio 6063 en el horno mientras que en la sección b) se expone la cantidad de silicio granulado para la aleación.

En cada fundición realizada durante el vertimiento de la colada, cabe mencionar que el molde fue previamente calentado hasta alcanzar alrededor de 650 °C para asegurar un buen llenado y que la pieza salga completa.

La fundición del aluminio, así como la del bronce tienen procesos distintos con materiales específicos de cada uno con la finalidad de controlar oxidaciones, gasificaciones y los escoriantes para obtener una buena colada y en su efecto un buen terminado.

Para la obtención de la tapa de cabezote en aluminio se multiplico 0.2 g por kg para obtener la cantidad de silicio requerida para realizar la aleación obteniendo un elemento conformado por Al-Si.



**Figura 2. 33** Obtención de prototipos de bronce y aluminio mediante molde de cascarilla

Cada prototipo tanto el de aluminio 6063 como el de bronce ilustrados en la **Figura 2.33**, presentaron secciones con fallas mínimas, mismas que, debido a, la geometría tan delgada y compleja no se obtuvo el terminado esperado, sin embargo, el método de cera perdida permitió obtener prototipos cuya geometría es complicada y con buenos resultados.



**Figura 2. 34** Prototipos mecanizados

En la **Figura 2.34**, se presentan las tapas de cabezote mecanizadas con las dimensiones de la culata original, se realizó a partir de aluminio 6063 y el otro de bronce. Con el proceso de mecanizado se realizaron los cuatro puntos de fijación, mismos que soportarán la mayor tensión, además el roscado de la bujía

## 2.8. ESTIMACIÓN DE COSTOS

Para la elaboración de la tapa de cabezote se tuvo que invertir en herramientas y materiales, además de servicios para los ensayos. Todos y cada uno de los elementos que se utilizó para la elaboración de los prototipos. Se registró con su respectivo precio y cantidad identificar el proceso más eficaz que muestre un beneficio o la sustentabilidad del mismo. Los gastos más importantes fueron en lo siguiente:

- Compra de los materiales
- Costos de ensayos
- Costos de mecanización

- Rectificación
- Compra de herramientas
- Impresión 3D

A continuación, se presentará cada elemento adquirido y la cantidad que se requirió para la manufactura de la tapa de cabezote:

En la **Tabla 2.14**, se observa los costos de materiales que se adquirió para el proceso de manufactura del prototipo, incluyendo la cantidad y el precio.

**Tabla 2. 14** Costos de materiales

Descripción	Cantidad	Costo por unidad (USD)	Total (USD)
Tapa de cabezote	1	60	60
Alginato (1lb)	5	10	50
Cera Parafina (Bloque)	2	3	6
Caucho Silicón (1kg)	2	26	52
Resina poliéster (1kg)	2	5,26	10,52
Estireno (1kg)	1	2,40	2,40
Cartón Prensado	1	1,78	1,78
Pincel N 24	4	1,96	7,85
Guantes quirúrgicos (caja)	1	6,44	6,44
Gasas (paquete)	1	7,73	7,73
Cuprofosforo (1kg)	1	65	65
Arena refractaria (kg) + Sílice coloidal	10	-	120
Nickelinas de 2,10 m	4	65	260
Brochas 3/4	3	2	2
Pintura Vinil Acrílica	1	4,69	4,69
Balde	1	6	
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>654,48</b>

En la **Tabla 2.15**, se observa el costo de la adquisición de la herramienta para efectuar el diseño del prototipo llamado calibrador pie de rey (Bernier) que permite sacar medidas de grosores, diámetros y profundidad para la elaboración de planos.

**Tabla 2. 15** Costos de herramienta

Descripción	Cantidad	Costo por unidad (USD)	Total (USD)
Bernier	1	32	32,00
COSTO TOTAL			32,00

En la **Tabla 2.16**, se ilustra el costo de impresión del prototipo, el cual se efectuó con el material ABS, por medio de la impresora I Creality CR6 MAX.

**Tabla 2. 16** Impresión 3D

Descripción	Cantidad	Costo por unidad (USD)	Total (USD)
Impresión del Prototipo	1	70,00	70,00
COSTO TOTAL			70,00

Los costos de mano de obra se presentan en la **Tabla 2.17 y 2.18**, referentes a ensayos y mecanizaciones tanto para elaborar las probetas, quitar el exceso de material en los bebederos del prototipo, roscados, etc.

**Tabla 2. 17** Costos de ensayos

Servicio	Método	Cantidad	Laboratorio	Costo u.	TOTAL
Ensayos de Tensión	ASTM A370	2	ILPMEengineering	25,00	50,00
Metalografía	ASTM E45	2	ILPMEengineering	120,00	240,00
Composición Química	ASTM E1621	2	ILPMEengineering	55,00	55,00
				Sub total	400,00
				IVA 12%	48,00
				TOTAL	480,00

**Tabla 2. 18** Costos de Elaboración de probetas y mecanizado de prototipos

Servicio	Método	Cantidad	Laboratorio	Costo unitario	TOTAL
Mecanizado de probetas	Torneado	2	INDUMEI	20,00	40,00
Rectificado de prototipo	Fresado y Torno	2	INDUMEI	90,00	180,00
				Sub total	220,00
				IVA 12%	
				TOTAL	220,00

A continuación, se muestra la **Tabla 2.19** con el costo total que se necesitó para la elaboración de los prototipos ilustrados como gastos directos e indirectos para poder resumir el total de la inversión realizada en el proyecto.

**Tabla 2. 19** Tabla de gastos totales

Detalle	Costo (USD)
Gastos Directos	1456,48
Gastos Indirectos	200,00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>1656.48</b>

Al concluir el análisis de costos se pudo observar que la producción por unidad no obtiene beneficio alguno, debido a, que el gasto es demasiado alto, sin embargo, si la producción fuera en gran escala se optimizarían costos como los de ensayo y el costo de producción generaría cierto beneficio para la sustentabilidad del método.

## **CAPÍTULO III**

### **3. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En el presente capítulo se realizará un análisis de los procesos efectuados para la manufactura de la tapa de cabezote, mediante la aplicación del aluminio 6063 y el bronce, hasta el análisis de costos que fueron necesarios para efectuar el proyecto poniendo énfasis en el cumplimiento de objetivos en cada etapa y corroborando con los datos obtenidos. Los ensayos realizados fueron los siguientes:

- Ensayo de composición química: se obtuvo el porcentaje de elementos que conformaban cada probeta.
- Ensayo de metalografía: fue realizado para poder visualizar estructura a nivel microscópico.
- Ensayo de tracción: la probeta fue sometida a tensión para evaluar la fuerza que soporta y su comportamiento hasta llegar a deformarse permanentemente.

Todos los ensayos fueron realizados en el laboratorio ILPM Engineering con el fin de poder caracterizar el material utilizado para la manufactura de la tapa de cabezote (culata) y poder compararlos con otros estudios referentes.

#### **3.1. RESULTADOS DE ENSAYOS**

La búsqueda de metodologías a utilizar para llevar a cabo el proceso de manufactura permitió identificar un modelo a seguir para efectuar un prototipo de una tapa de cabezote para un motor de dos tiempos mediante ingeniería inversa, a partir de la comparación entre materiales con características aceptables para el régimen de trabajo que requiere, mismos que serán expuestos en las etapas realizadas a continuación:

### 3.1.1. Ensayos de composición química

En el primer ensayo se utilizó las muestras de aluminio y bronce que se realizó para efectuar la prueba en base a las normas ASTM E1621 (Composición química por fluorescencia de rayos x).

- **Ensayo de composición química por fluorescencia de rayos x del aluminio 6063**

En la **Tabla 3.1**, se observan los elementos que conforman, sin embargo, entre ellos destacan el aluminio con un 95%, silicio 1.8%, cobre 1.4%, entre otros que su presencia en la aleación es mínima a las anteriormente mencionadas.

**Tabla 3. 1** Resultado de composición química del prototipo de aluminio

LE	%	+/-3 $\sigma$
Mg	0.47	0.19
Al	95.19	0.22
Si	1.801	0.086
Mn	0.021	0.018
Fe	0.713	0.059
Ni	0.022	0.008
Cu	1.486	0.076
Zn	0.062	0.010
Sr	0.0011	0.0008
Zr	0.006	0.001
Sn	0.116	0.012
Pb	0.114	0.010
Bi	0.003	0.003
LE: Elementos ligeros, +/-3 $\sigma$ : Incertidumbre de medición		

Al haber un alto grado de aluminio muestra cierta semejanza a una aleación 6063 T5 con la adición del silicio en una mínima proporción ya que está dentro de los rangos máximos y mínimos expuestos en la **Tabla 3.2**.

**Tabla 3. 2** Composición química del aluminio 6063 T5 según la norma EN 573-3

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
Min.	0.2	-	-	-	0.45	-	-	-	-	-
Max.	0.6	0.35	0.1	0.1	0.9	0.1	0.1	0.1	0.15	Resto

(Broncesval, 2020a)

- **Ensayo de composición química por fluorescencia de rayos x del bronce**

En el ensayo de composición química realizada a la probeta de bronce se pudo relacionar con un tipo de aleación por los distintos elementos que lo conforman y su porcentaje, de manera que se realizó registro de los datos ilustrados en la **Tabla 3.3**.

Se realizó una comparación de la **Tabla 3.3** con la **Tabla 3.4**, en la que se ilustra un tipo de bronce con alto contenido en plomo, similar al resultado de la probeta que obtuvo porciones del cobre 86.21%, plomo 8.36%, estaño 2.05% y zinc 2.875%. La composición química resultado del ensayo bajo la norma ASTM E1621 permitió identificar el bronce similar al tipo BP10 cuya estructura se encuentra formada por los elementos mostrados en la tabla expuesta a continuación.

**Tabla 3. 3** Resultado de composición química del prototipo del bronce

LE	%	+/-3 $\sigma$
Si	0.050	0.085
P	0.117	0.037
Fe	0.253	0.035
Ni	0.083	0.025
Cu	86.21	0.23
Zn	2.875	0.088
Sn	2.05	0.11
Pb	8.36	0.18
LE= Elementos ligeros, +/-3 $\sigma$ = Incertidumbre de medición		

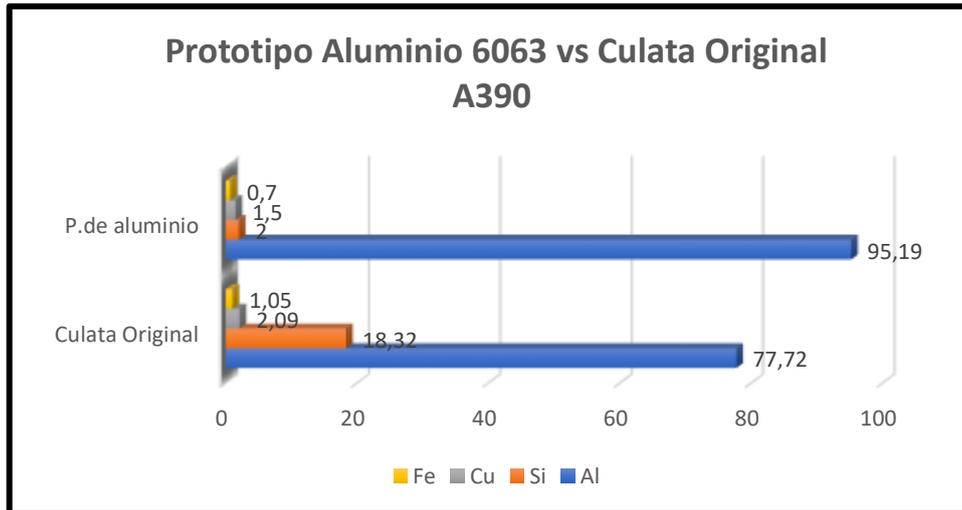
**Tabla 3. 4** Composición química del bronce BP10

%	Cu	Ni	P	Pb	Sn	Zn	Al	Fe	S	Sb	Si
Min.	72	-	-	8	9	-	-	-	-	-	-
Max.	82	0.5	0.1	11	11	0.8	0.005	0.7	0.08	0.5	0.005

(Broncesval, 2020)

### 3.1.2. Comparación de composición química prototipo aluminio, bronce y culata original

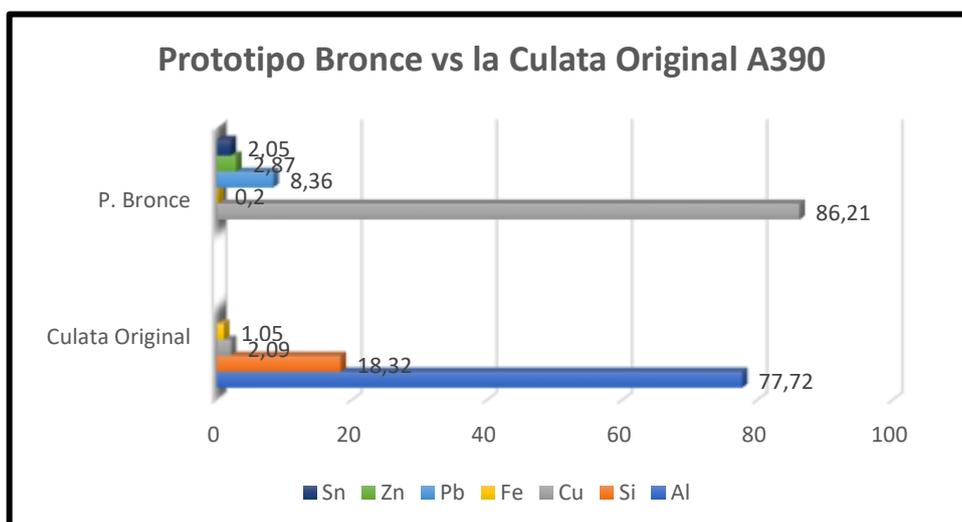
En la comparación de componentes aleantes en los materiales seleccionados anteriormente mencionados, se aprecia en cada uno, la presencia de varios elementos con sus respectivos porcentajes de los cuales resaltan los siguientes:



**Figura 3. 1** Comparación composición química del prototipo de aluminio vs culata original

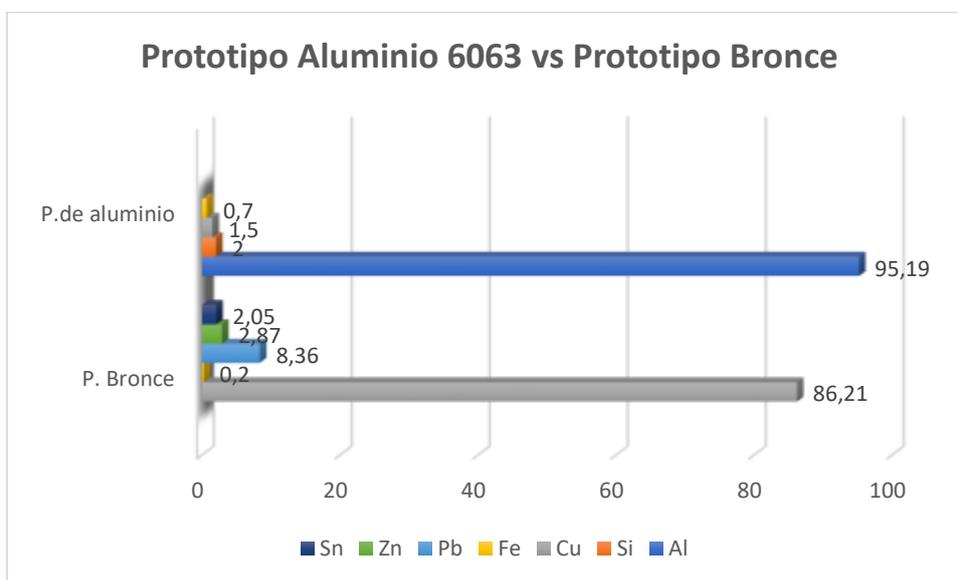
En la **Figura 3.1**, se muestran los porcentajes de los elementos que conforman la estructura de la culata original y el prototipo obtenido por medio de la fundición. Se resalta la presencia del aluminio con un 18% mayor en el prototipo. Sin embargo, el resultado de composición química tomado de Bravo (2021), a diferencia de los anteriores resultados del aluminio 6063 y del bronce se caracteriza por tener un alto porcentaje de silicio en la estructura que lo conforma siendo 18.32% silicio, 2.093% cobre, 1.54% hierro y 70% aluminio, entre otros, motivo por el cual se identifica como un prototipo fundido por inyección en molde permanente, además de ser sometido a un tratamiento térmico.

El ensayo permitió clasificar el tipo de material cuya similitud fue del tipo 6063 T5 con la adición del silicio se redujo su límite de fluencia, no obstante, debido a las porosidades diminutas en la probeta existe cierta incertidumbre en cuanto al valor real.



**Figura 3. 2** Comparación prototipo bronce vs culata original

En la **Figura 3.2**, se observa la composición química de las culatas en donde el bronce destaca la presencia en gran proporción del plomo con un 8.36 %, el zinc con el 2.87%, el estaño con un 2.05 % y el resto cobre con el 86.21 %. En la identificación del material se comparó con los bronce con alto contenido de plomo encontrando su similitud respecto a de tipo BP10 cuyas propiedades se asemejan exceptuando una variación en el porcentaje del zinc y el estaño, pudiéndose deber a la presencia de contaminantes en el crisol.



**Figura 3. 3** Comparación de prototipos de aluminio y bronce

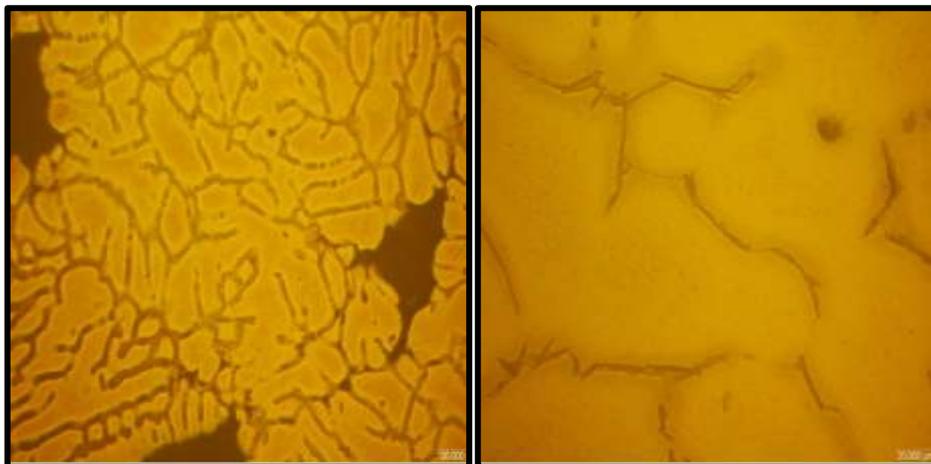
En la **Figura 3.3**, se muestra la comparación de resultados de la composición química entre los prototipos de aluminio y bronce, donde se puede observar que cada uno posee elementos base que los conforma en caso del aluminio en una proporción del 95% y silicio al 2%, por otra parte, el bronce posee cobre con una proporción del 86%, plomo al 8% y estaño al 2% entre otros elementos, lo que resulta en dos prototipos con distintas características que los diferencian.

### 3.1.3. Ensayos de metalografía

El ensayo de metalografía se lo efectuó con base en la norma ASTM E45, con la finalidad de conocer la microestructura de las probetas obtenidas por fundición y poder determinar la aplicación de los materiales como se expone a continuación:

- **Ensayo de metalografía del aluminio 6063**

En el ensayo metalográfico se efectuó un ataque químico sobre la superficie de la probeta para metalografía anteriormente pulida, con el ácido fluorhídrico permitiendo observar las dendritas en las diferentes fases.

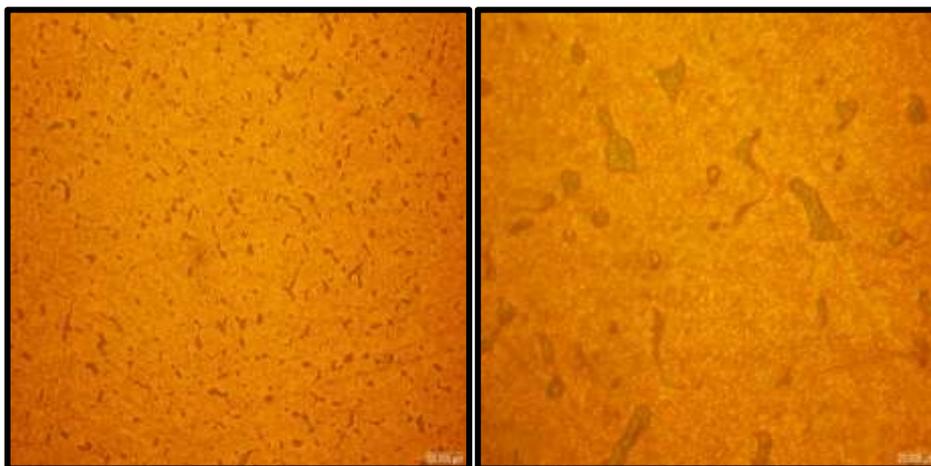


**Figura 3. 4** Metalografía de la probeta de aluminio a 100X y 500X

En la **Figura 3.4**, se observa la formación de dendritas en fase  $\alpha$ , con la precipitación interdendrítica de la fase  $\beta$ , además de la presencia de micro rechupes del material, como resultado de un enfriamiento no homogéneo.

- **Ensayo de metalografía del bronce**

El ensayo del bronce fue realizado mediante ataque químico con el reactivo denominado cloruro férrico y previamente analizado con el microscopio “Micros Canon” a 100X y 500X de aumento como se muestra en la siguiente figura.



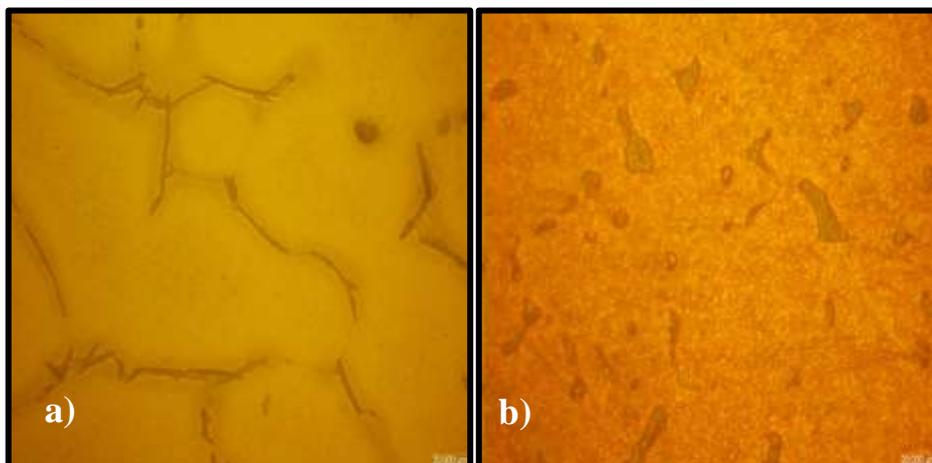
**Figura 3. 5** Metalografía de la probeta de bronce a 100X y 500X

En la **Figura 3.5**, se observa el comportamiento del material frente al ataque químico en donde la estructura de la probeta ensayada muestra una fase Alpha distribuida uniformemente y compuestos Inter dendríticos en fase beta.

#### 3.1.4. Comparación de metalografía del aluminio 6063 y la del bronce

En el informe emitido por el laboratorio responsable de realizar el estudio de metalografía, determinó distintos tipos de dendritas en fase alfa y beta en la probeta de aluminio y de bronce.

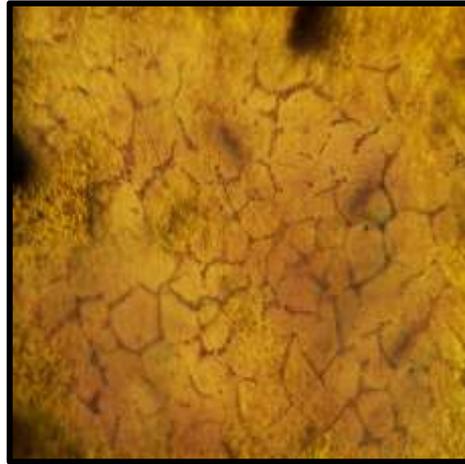
Las dendritas son ramificaciones cristalizadas producto de un enfriamiento uniforme que se distribuye por una superficie con núcleos y la aparición de dichas cristalizaciones influyen en las propiedades del material.



**Figura 3. 6** Formación de dendritas en ensayo metalográfico del aluminio 6063 y del bronce

En la **Figura 3.6**, sección **a)** correspondiente al ensayo metalográfico del aluminio se advierte la presencia de dendritas en fase alfa con precipitación Inter dendrítica en fase beta lo que hace de la aleación adecuada para trabajos en caliente (Pizango & Quinga, 2018, p. 7).

A diferencia de los datos obtenidos de la probeta de aluminio, el bronce presenta una estructura distribuida homogéneamente de la fase alfa y formaciones Inter dendríticos en fase beta mostradas en la **Figura 3.6**, sección **b)** lo que adecua al material para resistir cargas vibratorias, además, presenta buena resistencia al desgaste.



**Figura 3. 7** Metalografía de aleación 6063 T5 a 200x  
(CABEZAS, VICTOR GIOVANNY MARTINEZ, 2015, p. 28)

En la **Figura 3.7**, se puede observar el aluminio 6063 con la formación de dendritas en fase Alpha similares a las que se muestra en la **Figura 3.6** sección a. El comportamiento de las dendritas en la metalografía del aluminio, se debe a, que posee mayor cantidad de elementos aleantes y dependen de estas, el comportamiento que adquiera el material, a diferencia del bronce que contiene en plomo y estaño que, al llegar a un punto de fusión elevado, estos se mezclan de mejor manera obteniendo dendritas uniformemente distribuidas como resultado, lo que hace del bronce un material más resistente.

### **3.1.5. Ensayos de tracción**

En la presente etapa se presenta los resultados de los ensayos de las probetas con base en la norma ASTM A370, con la finalidad de conocer las propiedades mecánicas del aluminio y del bronce, y poder determinar la fiabilidad que presentara la tapa de cabezote fundida con los materiales anteriormente mencionados.

- **Ensayo de tracción de la probeta de aluminio**

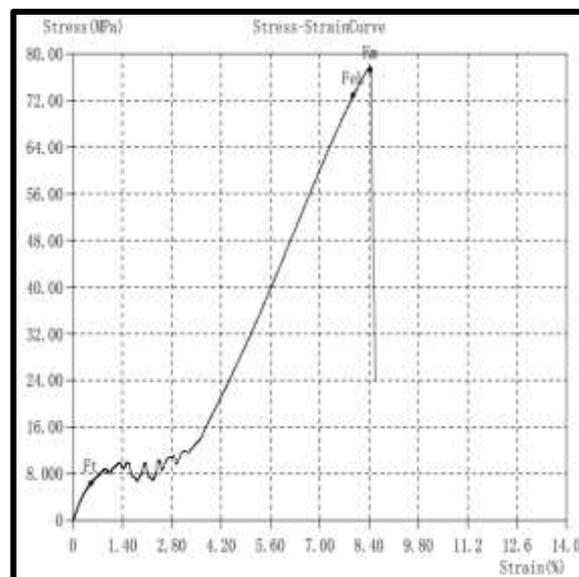
Mediante el ensayo de tracción que se realizó con la probeta de aluminio, permitió observar una rotura frágil en la zona radial interna, debido a, que la pieza sufrió una elongación de 2.22 mm al ser aplicado la fuerza de 9.46 kN.



**Figura 3. 8** Probeta de aluminio antes y después del ensayo de tracción

En la **Figura 3.8**, se puede observar la probeta presentando porosidades, mismas que influyeron en la rotura prematura del elemento al término de la zona radial tras sufrir una deformación del 4.4%.

Al efectuar el ensayo de tracción del aluminio se obtuvo el diagrama de esfuerzo-deformación en el que se puede identificar las curvas características del material y a su vez corroborar los datos del ensayo con los de la simulación en el presente capítulo.



**Figura 3. 9** Diagrama de esfuerzo deformación de la probeta de aluminio

En la **Figura 3.9** se observa el diagrama de esfuerzo deformación, donde el esfuerzo máximo llega hasta los 77 MPa con un porcentaje de deformación de 8.9% aproximadamente, el límite de fluencia va desde 0.5 % a 8.1% aproximadamente y posteriormente la zona plástica desde 8.1 % a 8.9% hasta la rotura de la probeta.

- **Ensayo de tracción de la probeta de bronce**

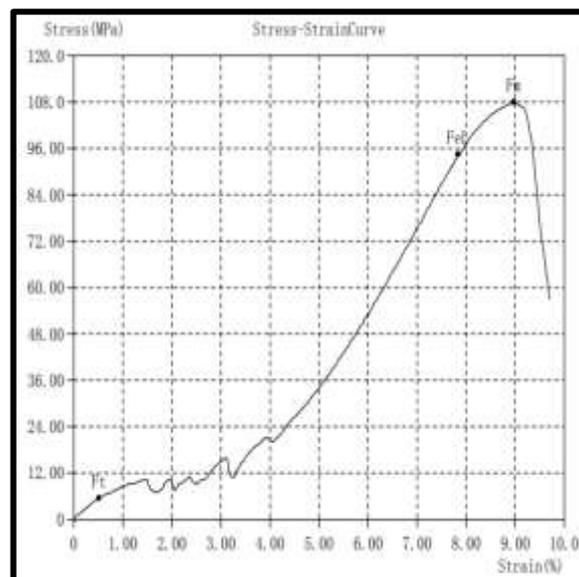
Por medio del ensayo de tracción realizado a la probeta de bronce se pudo observar una rotura a nivel del radio mínimo con una elongación de 1.80 mm inferior al del aluminio, sin embargo, presenta un aumento en las características, debido a que soportó la carga de 13.26 kN antes de romperse, por otra parte, el conformado fue mejor respecto al otro.



**Figura 3. 10** Probeta de bronce antes y después del ensayo a tracción

En la **Figura 3.10**, se observa la probeta de bronce después del proceso de desbaste, el cual fue realizado mediante un torno y se obtuvo un buen terminado, con las tolerancias dentro del rango establecido de la norma ASTM A370.

En el ensayo de tracción se obtuvieron datos, que por la calidad de la fundición y características del material presentan un aumento en los parámetros esfuerzo-deformación.



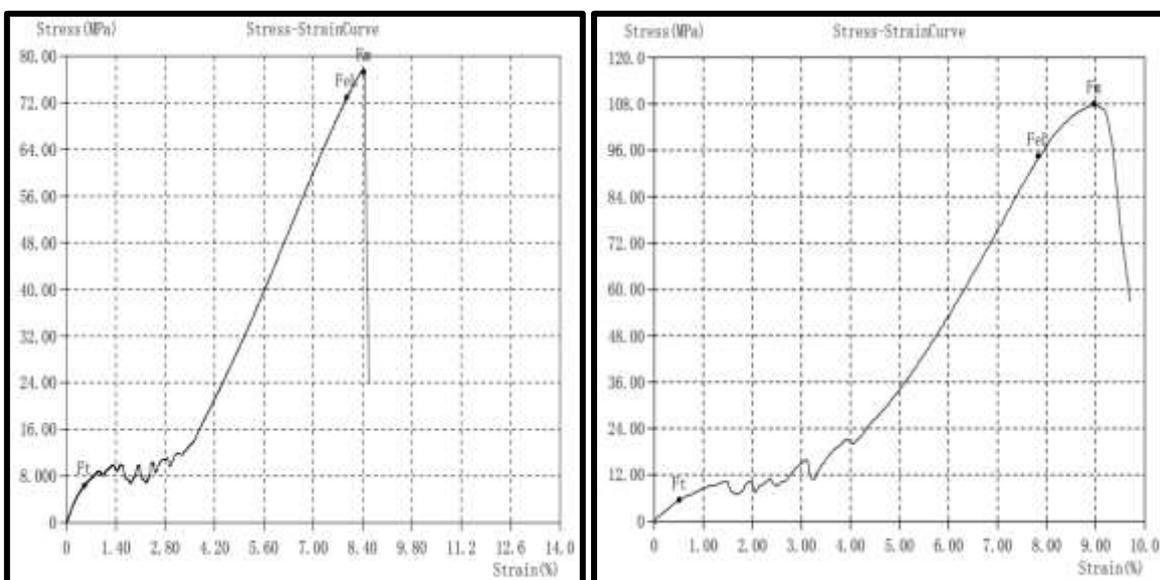
**Figura 3. 11** Diagrama esfuerzo-deformación de la probeta de bronce

En la **Figura 3.11**, se observa el diagrama esfuerzo deformación que presenta el bronce en donde la resistencia a la tracción máxima es de 108 MPa con un porcentaje de deformación de 8.9 %, además el límite de fluencia va desde el 0.5 % 7.8 % y en la zona plástica que va desde el 7.8 % al 8.9% en donde se aprecia un decremento de ductilidad del material que se da por la aparición de grietas hasta que falla el material.

### 3.1.6. Comparación ensayo de tracción del aluminio 6063 y del bronce vs aluminio

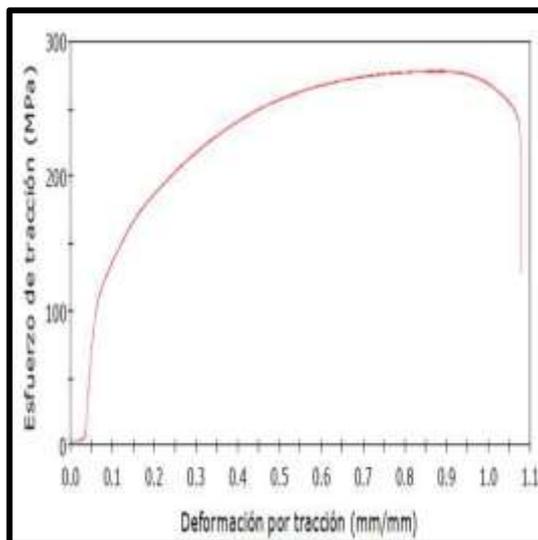
#### A390

Los resultados obtenidos del ensayo de tracción del aluminio y del bronce presentaron curvas características las cuales se compararán a continuación con énfasis en el comportamiento del diagrama en función del esfuerzo y la deformación que exhibe.



**Figura 3. 12** Curva de esfuerzo-deformación del aluminio y bronce

En la **Figura 3.12**, los resultados presentan una variación notable con respecto al valor de resistencia a la tracción del elemento de referencia de 179 MPa comparada con la resistencia del aluminio 6063 que soportó hasta los 77 MPa y se rompe, sin embargo, no es el caso del bronce, debido a que mostró una resistencia a la tracción de 108 MPa posteriormente al llegar a la presión máxima, presenta un decrecimiento de 0.8 % antes de llegar a la fractura, por consecuencia de apariciones de grietas por que sobrepasa el límite de deformación plástica.



**Figura 3. 13** Ensayo de tracción del aluminio A390  
(Martínez Rodríguez, 2018, p. 59)

En la **Figura 3.13**, se observa el ensayo de tracción del material de referencia de la tapa de cabezote cuyo comportamiento se observa un límite de fluencia superior a los 120 MPa posteriormente se extiende la curva con un pico máximo de 283 MPa, donde empieza el decrecimiento hasta la ruptura, cabe mencionar que su elongación no es superior al 1%.

En la **Tabla 3.5** se observa que el aluminio A390 que posee el mayor valor referente a la tracción, no posee un porcentaje de elongación representativo a diferencia de los demás materiales como el aluminio 6063 que su escala de elongación es del 4.4% y del bronce del 3.6% debido a la presencia del silicio que tiene una relación de 70 y 20.

**Tabla 3. 5** Propiedades mecánicas de la tapa original con los prototipos de aluminio 6063 y bronce

Tipo	Área	Carga de fluencia	Límite de fluencia Sy U=±16 MPa		Carga máxima	Resistencia a la tracción SUT U=±12 MPa		Elongación 50 mm
	mm <sup>2</sup>		KSI	MPa		kN	KSI	
Aluminio 390	-	-	26	179	-	26	283	1
Aluminio 6063	122.33	8.92	10.58	73	9.46	11.22	77	4.4
Bronce	122.72	11.60	13.71	95	13.26	15.67	108	3.6

Fm= Carga Máxima, FeL= Carga de Fluencia

A continuación, se presentan la **Tabla 3.6** con los esfuerzos de tracción tomados de los elementos originales para llevar a cabo el análisis de los materiales seleccionados donde la resistencia de tracción del material original de la tapa de cabezote de referencia es de 179 MPa.

**Tabla 3. 6** Comparación de las probetas ensayadas vs el material de la tapa original

Material	Resistencia a la tracción	Probeta	Material Original
A390		-	179 MPa
Aluminio 6063		77 MPa	130 MPa
Bronce		108 MPa	138 MPa

Las propiedades de la tapa del cabezote que se pretende replicar y las características obtenidas de las probetas presentan una diferencia notable, sin embargo, debido al proceso de fabricación existe una incertidumbre por las porosidades que presentaba la probeta de aluminio, por otra parte la probeta de bronce posee mejores características que el aluminio en cuanto a la resistencia a la tensión y límite de fluencia, sin embargo, la capacidad de disipación térmica es menor, llegando a un valor más alto de temperatura en condiciones de trabajo, mismo que se constató por medio de la simulación térmica con el software SolidWorks.

Por medio de los ensayos de tensión realizados a las probetas obtenidas de la fundición, dio paso al análisis de los mismos evidenciando que material resulta más apto para la utilización en el proceso de manufactura entre ellos se utilizó en aluminio y el bronce que en comparación con el elemento a replicar, las propiedades mecánicas son inferiores pero aceptables para la realización del proyecto.

Las probetas se elaboraron mediante moldes en arena y a través de un proceso de mecanizado se obtuvo las probetas para tracción cumpliendo la normativa ASTM A370. Por consiguiente, se realizaron los ensayos cuyos resultados correspondientes al aluminio 6063 fue de 73 MPa en el límite de fluencia y 77 MPa en la resistencia a la tracción con una elongación del 4.4 %. Para el bronce se obtuvo 95 MPa en el límite de fluencia y 108 MPa en la resistencia a la tracción con un porcentaje de elongación de 3.6%.

### 3.2. ANÁLISIS DE SIMULACIÓN

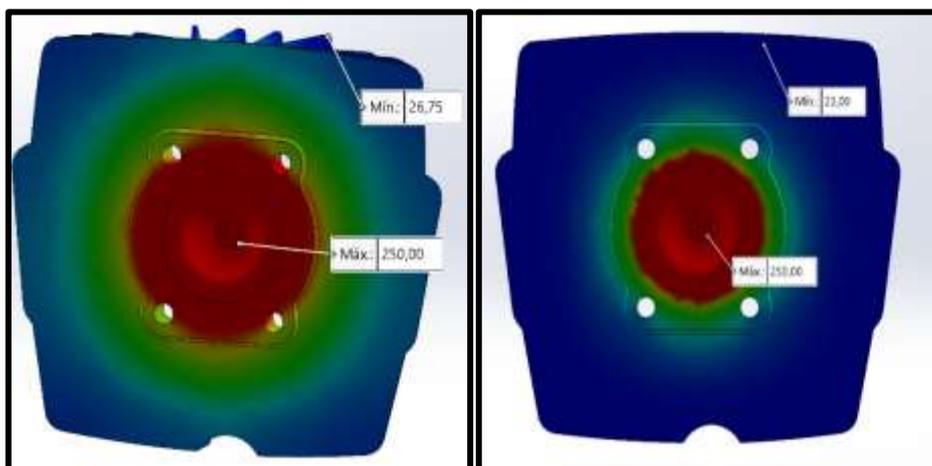
En la etapa de la simulación se aplicó la presión media efectiva, valor que fue tomado de un análisis a un motor Yamaha 125 cc, cuya magnitud fue de 2,58 MPa a plena carga. Tras haber realizado los ensayos de las probetas y haber identificado el material que se utilizaron para la elaboración del prototipo se procedió a identificar en el software SolidWorks los materiales con las mismas o similares características para efectuar el proceso de aplicación de cargas, sujeciones y mallado para ejecutar la simulación.

Los resultados obtenidos de la simulación se realizaron bajo parámetros del motor obtenidos mediante la gráfica de presiones, permitió identificar el comportamiento del prototipo en base al factor de seguridad de Von Mises, mismo que determina la presión final que el elemento soporta antes del fallo. A continuación, se presenta la **Tabla 3.7** de parámetros obtenidos de las ecuaciones efectuadas con datos del manual de servicio de la Yamaha Dt 125 cc de refrigeración por aire.

**Tabla 3. 7** Parámetros aplicados en la simulación

Coef. de convección	600	W/(m <sup>2</sup> *K)	Valor tomado de un estudio a un pistón de aluminio. (Tandazo, 2018, p. 42)
Temperatura	23	°C	Temperatura promedio de la ciudad de Ibarra
Presión media efectiva	2,58	MPa	Obtenido de: (Meza, 2005, p. 56)

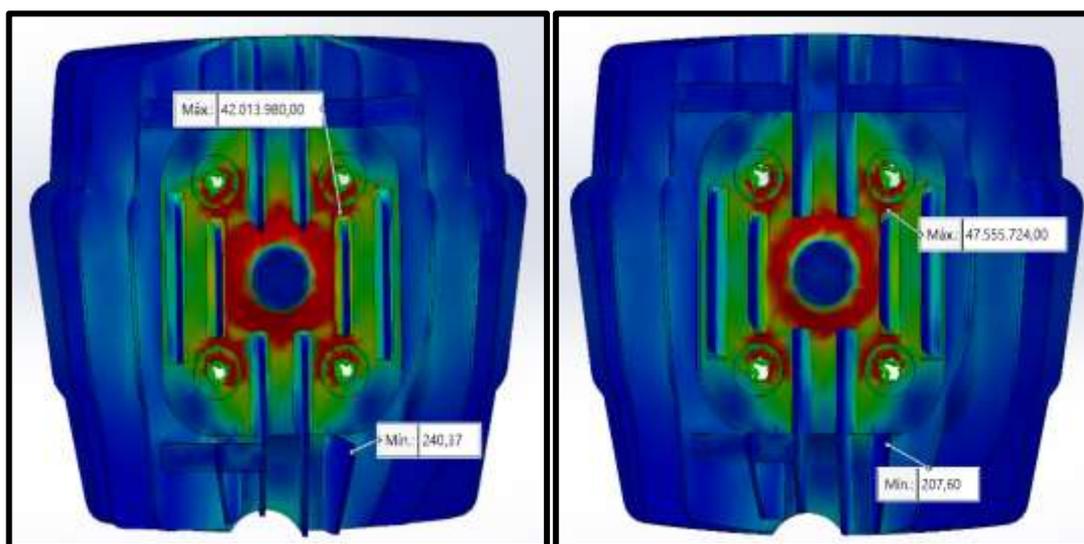
En el análisis térmico del prototipo se analizó la transmisión de calor a partir del material resultante de los ensayos, con la finalidad de identificar la capacidad de disipación térmica, así como la forma de transmisión de calor que en este caso es la convección.



**Figura 3. 14** Análisis térmico del prototipo de aluminio 6063 y de bronce

El análisis térmico mostrado en la **Figura 3.14**, permitió observar la distribución de temperatura en el diseño, donde la capacidad de disipación del aluminio es de  $26,75\text{ }^{\circ}\text{C}$  mientras que en el bronce la temperatura no se disipa con facilidad llegando a los  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Cabe mencionar que los resultados de las temperaturas son teóricos tomados de tesis de investigaciones.

En el análisis estático se aplicó los parámetros de geometría fija en donde se fijó el prototipo en cuatro puntos y se aplicó la carga de  $2,58\text{ MPa}$ , además, con la discretización del diseño basado en curvatura se analizó las secciones divididas por default para ejecutar la simulación.



**Figura 3. 15** Análisis estático del prototipo de aluminio 6063 y bronce

En la **Figura 3.15**, se aprecia la simulación con el valor de la presión media efectiva, el diseño aplicando los materiales no presentaron ninguna reacción, es decir, el material aluminio 6063 y bronce con alto contenido en plomo soportaron sin ningún problema y presentaron un factor de seguridad de 1,89 y 1,97 con presiones de  $47,5\text{ MPa}$  en la tapa de aluminio y  $42,01$  en la tapa de bronce.

En la **Tabla 3.8** se muestran los resultados obtenidos de la simulación cuyos valores son semejantes en los dos materiales a excepción de la temperatura. Al aplicar la misma presión se observó que la temperatura que se genera en la fase de combustión es mucho mayor al del aluminio, no obstante, el prototipo soporta las condiciones de trabajo.

**Tabla 3. 8** Datos obtenidos mediante el Software

PROT. ALUMINIO 6063	PROT. BRONCE	
	Ensayo con 2,58 MPa	
Temperatura max.	250 °C	
Presión max.	47,5 MPa	42,01 MPa
Factor de seguridad min.	1,89	1,97

En la presente etapa fue primordial identificar la familia del material ensayado en base a los porcentajes de la estructura química en la que se constató la similitud al aluminio 6063 con un tratamiento térmico y el otro es bronce con alto contenido en plomo. Posteriormente a la identificación se aplicó el material al diseño y los parámetros como la condición de frontera que es de alrededor de 23 °C en la ciudad de Ibarra y el coeficiente de transferencia de calor por convección para una superficie expuesta por Alvarado (2018) que es de 600 W/(m<sup>2</sup>) obteniendo así la gráfica de disipación térmica del aluminio y del bronce.

Para la simulación de las presiones se tomó como punto de partida el valor obtenido de la presión media efectiva que es 2, 58 MPa, alrededor de 374 psi. Al llevar a cabo el proceso de simulación con el valor de la presión media efectiva, se obtuvo la presión máxima de 47,5 MPa para el aluminio y 41,01 MPa para el bronce, valores cuyo factor de seguridad es 1 y está conceptualizado por el criterio de materiales dúctiles que es el de Von Mises.

Con todos los datos demostrados mediante los ensayos y la simulación se pudo afirmar que el valor de resistencia de tracción de las probetas cumple con los parámetros para la manufactura del prototipo, debido a que los datos son coherentes y demostrados.

### 3.3. RENTABILIDAD DEL PROYECTO

El proceso de manufactura del prototipo de la tapa de cabezote de un solo elemento representaría un costo elevado por las horas de trabajo y la cantidad de materiales que este requiere solo en la preparación de la matriz de impresión que es el molde de caucho, a partir de él se puede crear una gran cantidad de modelos en cera para ser tratados posteriormente y es aquí donde se puede obtener el beneficio, debido a que al generar mayores modelos en cera el recubrimiento de la barbotina ya es más simple debido a que es por inmersión con la combinación de la arena sílice formando los moldes cerámicos.

### 3.3.1. Cálculo de la rentabilidad de la manufactura de la tapa de cabezote

Para efectuar el cálculo de la rentabilidad es indispensable tener en cuenta que en el Ecuador el costo de adquisición del prototipo está alrededor de 140\$, más costos de importación, debido que el producto es descontinuado, es decir, ya no se fabrica, debido al año de fabricación de la moto, pero se puede importar bajo pedido. Por consiguiente, se realizará un breve análisis del costo hora de trabajo requerido para la elaboración de un solo prototipo plasmando los costos únicamente del prototipo mediante molde de cascará.

El tiempo requerido para obtener el prototipo es de siete días y se divide en los siguientes procesos:

- Proceso de copia de matriz a imprimir en caucho es de dos días
- Proceso de molde de cera, bebederos y ductos de alimentación es de un día
- Proceso de molde con refractario es de tres días
- Proceso de fundición un día
- Eliminación del molde de las piezas fundidas un día
- Mecanización un día

$$TRI = \frac{CTI}{CU/t} \quad [3. 1]$$

Donde,

TRI= Tiempo de recuperación de la inversión

CTI= Costo total de inversión

CU= Costo por unidad

t= tiempo de manufactura

$$TRI = \frac{921.48\$}{140\$/72h}$$

$$TRI = 368.592 h$$

Como se puede observar el resultado de la ecuación para determinar el tiempo en horas que se requiere para recuperar el capital invertido en el proyecto es de aproximadamente 60 días de 8 horas laborables o 473,904 horas.

El resultado obtenido equivale a la producción de un solo prototipo, sin embargo, el material refractario que se utiliza para crear el molde cerámico con la cantidad que se adquirió alcanza para hacer 7 moldes, de manera que se analizará la producción de esa cantidad con la misma inversión añadiendo el costo de mecanización de los 6 prototipos restantes que sale por 240\$ a 40 dólares por unidad.

$$TRI = \frac{921.48 + 240\$}{980\$/72h}$$

$$TRI = 85.33 h$$

En la producción de 7 prototipos se suma el costo de mecanización por unidad, se obtiene 85.33 horas de trabajo para recuperar la inversión lo que sería aproximadamente 10 días de 8 horas laborables o lo que sería un lote de 7 tapas.

Para los 10 días de trabajo equivalen a una producción más un prototipo, de manera que se necesitaría el doble de material refractario, y el costo de mecanización, pero también se reduciría los costos de elaboración del molde de caucho entre otros siendo el gasto solo en el material y la mecanización.

- Material refractario y sílice coloidal 120\$
- Costo de mecanización de 7 prototipos 280\$

A continuación, se realizará un análisis de la inversión con la optimización de los recursos como costes de ensayos, impresión, gastos computacionales etc. Únicamente utilizando los costos de producción (material refractario) 120\$ y preparación de las 7 piezas (fresado y torneado) 280\$.

Ganancia = Valor de venta por lote - Costo de elaboración (Compra de material y mecanización)

$$\text{Ganancia Total} = 980\$ - 400\$$$

$$\text{Ganancia Total} = 580\$/7 \text{ unidades} = 82,85\$ \text{ por unidad}$$

El análisis de costos permitió estimar el tiempo que se demora en recuperar la inversión que es de 1 mes en tres producciones, debido que por cada lote de 7 unidades hay que invertir para la compra del material refractario, además de la mecanización de los prototipos y en consecuencia también aumenta el tiempo de recuperación, sin embargo, una vez se adquiere el capital invertido se obtiene una ganancia por prototipo de 82.85\$ por unidad siendo rentable el proyecto dejando una ganancia del 60%.

A continuación, se presenta el flujo de caja en la **Tabla 3.9** con la resta de los ingresos menos los egresos para proceder al cálculo del van y el tir con el interés del 12%.

**Tabla 3. 9** Flujo de caja del negocio durante 3 meses

Flujo mensual	Ganancia	Número de unidades
Enero	580 \$	7
Febrero	580 \$	7
Marzo	580 \$	7

Tras el cálculo del VAN (Valor actual neto) se obtuvo un valor de 641,19 dólares de ganancias con el 12% de descuento y el TIR (tasa de retorno) indica que el proyecto es rentable con el 45,51% el cual es mucho mayor al interés.

Para que sea rentable como mínimo se necesita 22 unidades porque el costo de producción que es de la inversión inicial 1390\$ más el costo por producción de 400\$ resulta en 1790\$ sobre la ganancia por unidad que es de 82,85 \$ se obtiene el número de unidades en donde la ganancia que se genera es mayor al valor de la inversión.

## **CAPITULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el presente capítulo se exhibirá los resultados de forma puntual que se fueron resolviendo a lo largo del proyecto con el fin de cumplir con los objetivos propuestos y ponerlos a conocimiento del lector.

#### **CONCLUSIONES**

- En la búsqueda metodologías para procesos de manufactura mediante ingeniería inversa aplicada a piezas mecánicas, se obtuvo como resultado que la más conveniente es la de Investment Casting o fundición a la cera perdida con molde de cascarilla, por el nivel de detalle que permite obtener en los acabados
- Se realizó el diseño de la tapa de cabezote de referencia y se evaluó el comportamiento térmico y estructural aplicando el aluminio 6063 T5 y el bronce de alto contenido en plomo, obteniendo mejores resultados de disipación térmica por parte del aluminio, sin embargo, el bronce tiene mayor resistencia a la tracción.
- Con la simulación del prototipo se logró obtener presiones de trabajo de 47,5 MPa para el aluminio y 42,01 MPa para el bronce permitiendo comparar con los resultados del ensayo de tracción de las probetas que fueron de 77 MPa del aluminio y 108 MPa del bronce dando lugar a la conclusión que los materiales son aptos y resisten las cargas de trabajo.
- El ensayo de composición química demostró que la presencia del silicio en la tapa de cabezote de referencia es superior con el 18% y el aluminio se encuentra en el 77% lo que reduce el límite de fluencia, sin embargo, aumenta la resistencia a la tracción a diferencia del prototipo de la tapa elaborado con el silicio al 2% contiene el 95% de aluminio lo que resulta un material más dúctil. Por otra parte, el bronce es más resistente debido a la presencia de plomo, sin embargo, reduce drásticamente la capacidad disipación térmica.

- En el ensayo de metalografía del aluminio se identificó mayor presencia de dendritas, mismas que aparecen por un enfriamiento no homogéneo en la aleación realizada con el silicio. A diferencia de la muestra metalográfica del bronce se observa homogeneidad.
- Los prototipos de aluminio y de bronce hecho por medio de fundición por gravedad no obtuvieron las mismas propiedades que la tapa de cabezote original respecto a la fuerza de tracción que es de 170 MPa. Sin embargo, los resultados son aceptables, debido a, que resisten las presiones de trabajo, además de la temperatura.

## **RECOMENDACIONES**

- Al llevar a cabo un proyecto de manufactura mediante ingeniería inversa de un elemento mecánico, investigar el proceso original de la pieza a realizar o en su efecto tener presente un material alterno de fácil procesamiento para adaptarlo a una metodología de manufactura más sencilla y que permita obtener buenos resultados con menores costos.
- Al efectuar un análisis estructural para evaluar el comportamiento ante una fuerza, se recomienda evaluar con presiones máximas de trabajo a las que se somete el elemento más que basarse en datos teóricos de preferencia indagar en resultados experimentales reales.
- Para llevar a cabo un proceso de fundición en el que se pretende realizar una aleación es indispensable que el crisol sea adecuadamente limpiado al igual que la campana y todos los elementos a utilizar para dicho propósito de manera que el producto final no tenga inconsistencias como consecuencia de agentes externos como óxidos o residuos de fundiciones anteriores.

- Al elaborar probetas por medio de fundición se recomienda hacer dos o tres del mismo material para poder ser ensayadas y sacar un promedio dependiendo el tipo de ensayo, con la finalidad de que los resultados sean más verídicos.
- En la obtención de materiales para un proceso de manufactura, investigar qué elementos se tiene en el medio, debido a que es complicado encontrar un material con un alto grado de pureza, sin embargo, se puede encontrar aleaciones con porcentajes mínimos que son adecuados para ser retratados y poderles dar un nuevo ciclo de vida útil.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alicante, U. de. (2024). Servicios Técnicos de Investigación. Espectometría de fluorescencia de rayos x. <https://ssti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-rayos-x/espectroscopia-de-fluorescencia-de-rayos-x.html>.
2. ASTM A370-15. (2015). Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products. ASTM International, 01.03(Rapproved), 1–48.  
<https://doi.org/10.1520/A0370-16.2>
3. ASTM E8. (2010). ASTM E8/E8M standard test methods for tension testing of metallic materials 1. Annual Book of ASTM Standards 4, C, 1–27.  
<https://doi.org/10.1520/E0008>
4. Ayres E, R. J., & Quintero G, H. A. (2009). DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN UN ALUMINIO 6063 RECUBIERTO, UTILIZANDO SIMULACIÓN NUMERICA MEDIANTE EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 82–95.
5. Bonilla, S., Castelo, J., Orozco, L., & Jácome, E. (2018). Analisis del funcionamiento de sistemas de refrigeración por compresión y absorción. *Observatorio de la economía latinoamericana*, 1696–8352, 20.
6. Borja-Ramírez, V., Bell, R., López-Parra, M., Santillán-Gutiérrez, S. D., & González-González, L. A. (1999). Estado del arte y tendencias futuras en ingeniería inversa. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 1(2), 51–58.  
<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.1999.01n2.007>
7. Bravo Lazaro, M. (2011). Analisis de las propiedades mecanica del bronce. *Arantxaiiuames Arantxaiiuames*, Ii, 78.  
[http://www.uniovi.net/calidad/procesos/Difusion/Guias/pdf/1011/epi/4\\_planes\\_antiguos.pdf#page=76](http://www.uniovi.net/calidad/procesos/Difusion/Guias/pdf/1011/epi/4_planes_antiguos.pdf#page=76)
8. Bravo Morocho, V. D., Abarca Pérez, E. P., López Ortíz, S. A., & Freire Bravo, J. J. (2021). Manufactura de un prototipo cabezote de motor de dos tiempos mono cilíndrico 100 cc aplicando ingeniería inversa y el método CAD/CAM. *ConcienciaDigital*, 4(3.1), 190–206.

<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i3.1.1823>

9. Broncesval. (2020a). Aluminio Aleación Magnesio y Silicio. Perfiles estructurales de aluminio aleación 6063 T5. <https://www.broncesval.com/aluminio/perfiles-estructurales-de-aluminio-aleacion-6063-t5/>.
10. Broncesval. (2020b). BP10.
11. CABEZAS, VICTOR GIOVANNY MARTINEZ, D. F. R. G. (2015). Estudio De La Formacion De Precipitados En La Microestructura De Un Aluminio 6063-T5 Envejecido a Una Temperatura De 170 ° C Durante Tiempos De 12 , 18 , 24 , 48 , 72 Y 96 Horas Usando Microscopia Optica Y Electronica De Barrido. 52.
12. Cujar, J., & Deoro, J. (2016). Microestructura Y Propiedades Mecánicas Del Aluminio Uns a906061, Del Bronce Uns C90700 Y Del Latón Uns C38500. [http://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/123456789/686/MICROESTRUCTURA Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ALUMINIO UNS A906061%2C DEL BRONCE UNS C90700 Y DEL LATÓN UNS C38500%2C Jaime Cujar y Javier De Oro.pdf?sequence=1](http://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/123456789/686/MICROESTRUCTURA_Y_PROPIEDADES_MECÁNICAS_DEL_ALUMINIO_UNA906061%2C_DEL_BRONCE_UNA90700_Y_DEL_LATÓN_UNA38500%2C_Jaime_Cujar_y_Javier_De_Oro.pdf?sequence=1)
13. Dibujos Bastidas Chistian Eduardo, C. R. D. A. (2023). Universidad técnica del norte.
14. Erazo-Arteaga, V. A. (2022). El diseño, la manufactura y análisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y otras técnicas de fabricación digital en el desarrollo de productos en América Latina. *Información tecnológica*, 33(2), 297–308. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642022000200297>
15. Fras, Edward, T., Serrano, J. L., Bustos A., A., & ILAFA. (1990). Fundiciones De Hierro : Estructuras-propiedades-fabricación. 1–11.
16. Freire Bravo, J. J. (2021). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo Facultad De Mecánica Motor De Dos Tiempos Mono Cilíndrico 100Cc Aplicando Ingeniería Inversa Y El Método Cad/Cam".
17. Galindo, W. (2016). Evaluación de factibilidad técnica y económica de la producción de un utillaje especial para mantenimiento automotriz. 111 pag. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5726/1/12046.pdf>
18. Hernández, V. J. G., T., R. C., Tinajero, E. O., Harris, I. G., Morales, C. O., Aguilar, C.

- E., Vázquez, N., D., O. U. A., M., M. A., Zuno-Silva, J., & López-Moreno, S. (2015). Consideraciones en el diseño de pistones para motores a cuatro tiempos. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 2(3 SE-Ensayos). <https://doi.org/10.29057/ess.v2i3.1369>
19. Interanational, A. (2012). Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens 1. ASTM International, 03.01(July), 1–12. <https://doi.org/10.1520/E0003-11R17.1>
  20. LaMonica, M. (2013). Additive manufacturing. *Technology Review*, 116(3), 58–59. [https://doi.org/10.24840/2183-6493\\_007.003\\_0005](https://doi.org/10.24840/2183-6493_007.003_0005)
  21. López, E. J., Bracamontes, A. L., Andrés, L., Velázquez, G., & Manuel, V. (2010). La ingeniería inversa como metodología para potenciar la enseñanza de la metrología 1. 1–8.
  22. López, M. (2020). Análisis de la estructura de solidificación de fundiciones de hierro con grafito laminar y vermicular. 1–159. <http://200.0.183.55/handle/123456789/462>
  23. Marcos Martínez, C. (2013). La Cascarilla Cerámica como Material Escultórico. *Barcelona Investigación Arte Creación*, 1(1), 127. <https://doi.org/10.17583/brac.2013.v1i1.a683.127-129>
  24. Martínez Rodríguez, C. A. (2018). Análisis de materiales para el diseño de un remate a compresión basado en el desempeño del producto y su fabricación.
  25. Meza, F. A. F. (2005). DISEÑO EN LA MEJORA DE RENDIMIENTO DE UN MOTOR YAMAHA 125 REFRIGERADO POR AIRE. ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO SEDE LATACUNGA CARRERA.
  26. Moto, R. (2017). ¿Sabes cómo funciona y para qué sirve el sistema de enfriamiento que tiene el motor de tu moto? [https://revistamoto.com/wp\\_rm/sabes-como-funciona-y-para-que-sirve-el-sistema-de-enfriamiento-que-tiene-el-motor-de-tu-moto/](https://revistamoto.com/wp_rm/sabes-como-funciona-y-para-que-sirve-el-sistema-de-enfriamiento-que-tiene-el-motor-de-tu-moto/).
  27. Motores De Combustión Interna Alternativos. (2015). [https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/130ad267-fe67-4ec7-8363-51b16ffe11a6/TOC\\_0809\\_04\\_01.pdf?guest=true](https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/130ad267-fe67-4ec7-8363-51b16ffe11a6/TOC_0809_04_01.pdf?guest=true)
  28. Peralta Zurita, D. B., & Molina Osejos, J. V. (2018). La responsabilidad de la

- Universidad en la transformación de la matriz productiva del sector automotriz del Ecuador. *INNOVA Research Journal*, 3(5), 136–145.  
<https://doi.org/10.33890/innova.v3.n5.2018.532>
29. Perea, N., & Servicio Nacional de Aprendizaje. (s/f). *Comprobacion De Culatas, Valvulas Y Asientos*.
30. Pizango, J., & Quinga, J. (2018). *Caracterización De Una Aleación De Latón Obtenida Por Colado Dinámico Con Variación De Frecuencia*. Escuela Politécnica Nacional., 1, 80. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19371/1/CD-8754.pdf>
31. Pozo, P. E. B. (2021). *Simulación CFD de la fundición por gravedad y su colada en los moldes para pesas adhesivas de balanceo de neumáticos* CFD simulation of gravity casting and casting into molds for adhesive tire balancing weights Simulação CFD de fundição por gravidade e fun. 6(6), 1241–1258. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i6.2815>
32. Rafael Morales, M., & Guzmán Hernández, A. (2014). *Tipos de combustible de aviación*. 417, 1–85.  
<http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt417.pdf>
33. Rodriguez, B. M. (2011). *Ingeniería Inversa Aplicada: metodología y aplicaciones industriales*. Trabajo de grado, 42.  
[https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/9080/Mario\\_BetancurRodriguez\\_2011.pdf?sequence=2](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/9080/Mario_BetancurRodriguez_2011.pdf?sequence=2)
34. Sanchez Gutierrez, M. (2015). *Mantenimiento de motores termicos de dos y cuatro tiempos (UF 1214)*. IC Editorial. <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/42658>
35. Secretaria Nacional de Planificacion, E. (2021). *Plan-de-Creación-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado*. En *Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025* (pp. 43-48-85–90). file:///C:/Users/PC-CARO/Documents/Plan-de-Creación-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado.pdf%0A<https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-nacional-de-desarrollo-2017-2021-toda-una-vida-de-ecuador>
36. Tandazo, L. I. A. (2018). *ESTUDIO COMPARATIVO DE LA VIDA ÚTIL ENTRE UN PISTÓN ESTÁNDAR Y UN FORJADO MARCA WISECO, MONTADO EN EL MOTOR CHEVROLET AVEO 1.4 CC MODELO 2008*.

37. Valerga, A. P., Batista, M., Bienvenido, R., Fernández-Vidal, S. R., Wendt, C., & Marcos, M. (2015). Reverse Engineering Based Methodology for Modelling Cutting Tools. *Procedia Engineering*, 132, 1144–1151.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.607>
38. Valle, C. (Centro de I. en M. A. (2010). Efecto Del Molibdeno Y Parámetros De Proceso En Las Propiedades Mecánicas De Una Aleación Base Hierro. 47.
39. Vizcaí, S. B. (2020). Optimización termodinámica del prototipo Motostudent 2020 1  
RESUMEN ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TERMODINÁMICO DE UNA  
MOTOCICLETA Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN  
PARA UN ÓPTIMO RENDIMIENTO EN COMPETICIÓN.
40. Wikimedia. (2006). Motor refrigerado por aire. Commons.  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_refrigerado\\_por\\_aire#/media/Archivo:Mopedmotor\\_fichtel\\_und\\_sachs.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_refrigerado_por_aire#/media/Archivo:Mopedmotor_fichtel_und_sachs.jpg).

## **ANEXOS**

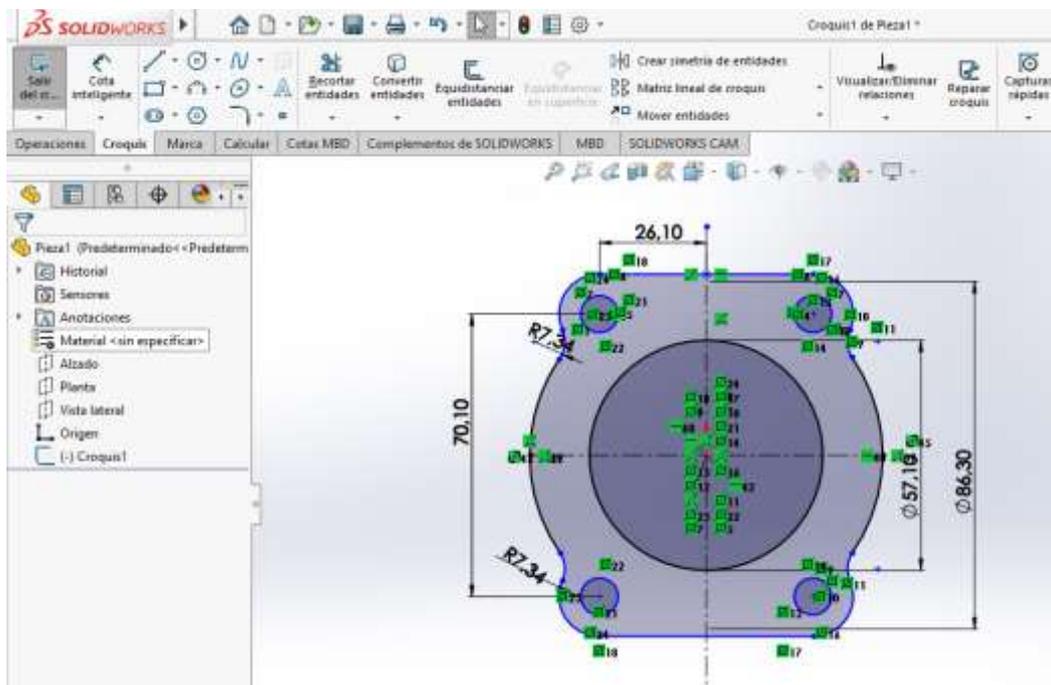
## ANEXO I

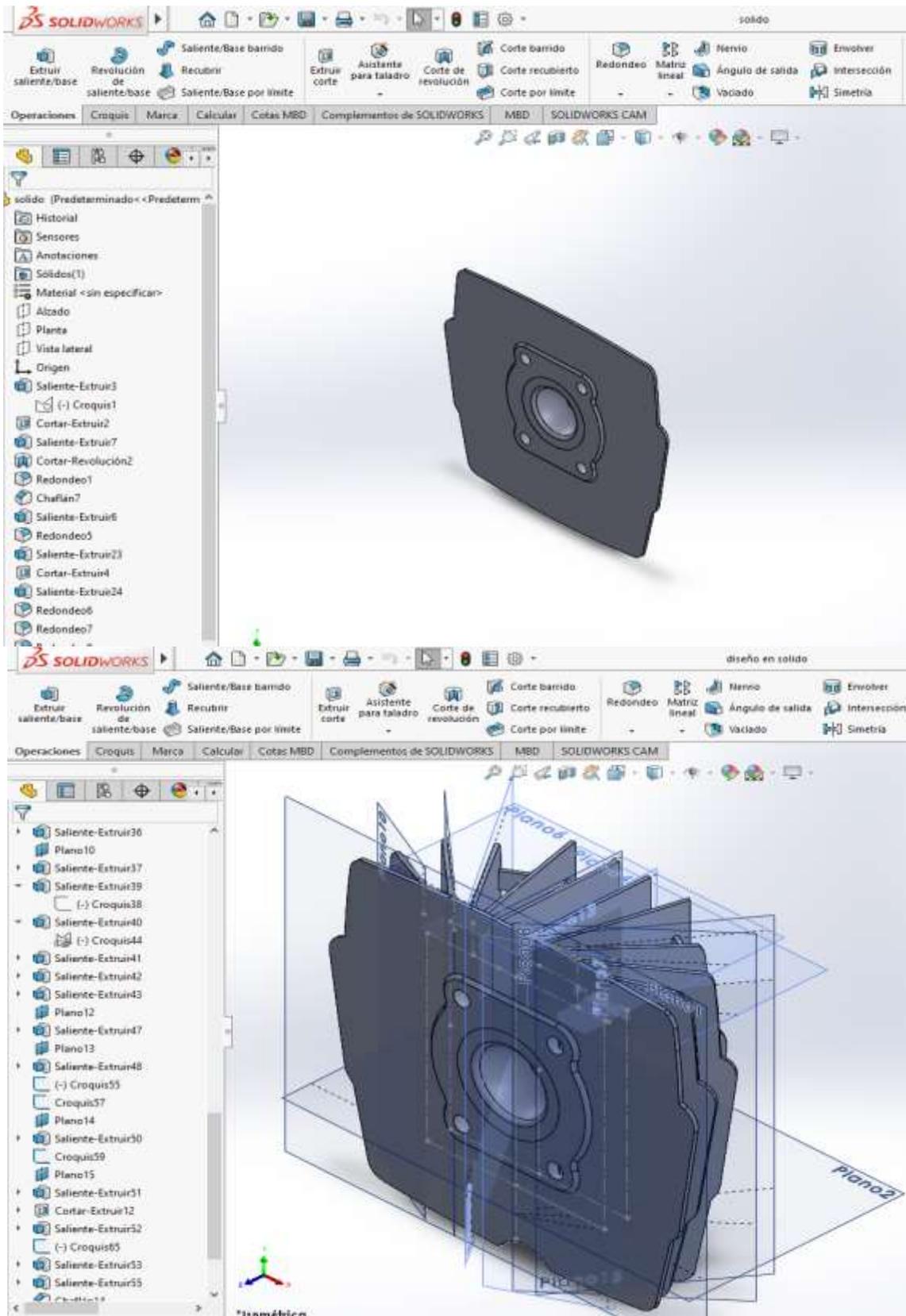
### LEVANTAMIENTO DE DATOS CARACTERÍSTICOS DE LA TAPA DE CABEZOTE



## ANEXO II

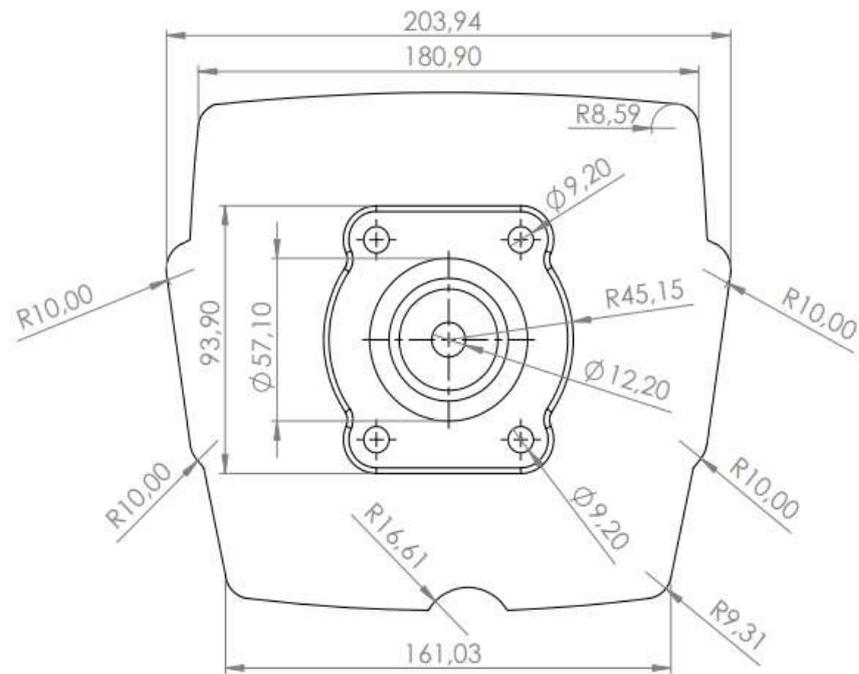
### DISEÑO EN SOLIDWORKS





### ANEXO III

#### PLANO PRINCIPAL DE LA TAPA DE CABEZOTE

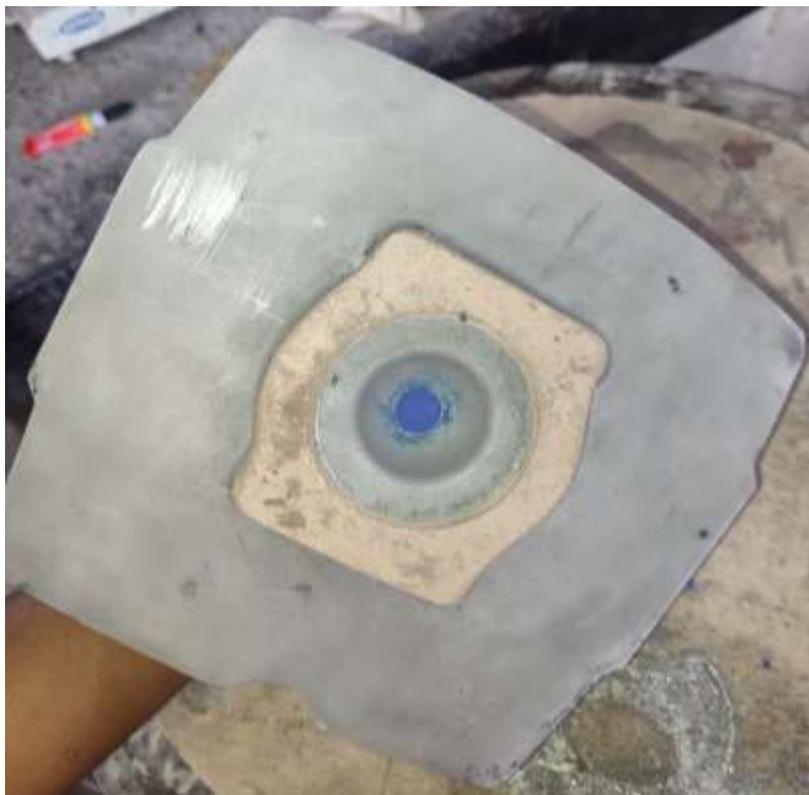


### ANEXO IV

#### ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS DE ALUMINIO Y DE BRONCE





**ANEXO V****FABRICACIÓN DEL MOLDE EN CAUCHO SILICÓN**



**ANEXO VI**

**INFORME EMITIDO POR EL LABORATORIO ILPM ENGINEERING**

Ensayos de Control de Calidad		<b>ILPM Engineering Cía. Ltda.</b> Emilio Estrada N54-139 Y Oruña Sector La Kennedy Quito-Ecuador Teléfono: 02 2812094 Fax: 02 2411714 http://www.ilpm-ec.com Email: <a href="mailto:ilpm@ilpm-ec.com">ilpm@ilpm-ec.com</a>
Informe # ILPM 2024-070-B		
<b>DATOS DEL SOLICITANTE<sup>1</sup></b> <b>TERAN ALVAREZ DENNIS ALEXANDER</b> Dirección: URKUQUI---VIA UNIVERSITARIA KM 17 Teléfono: 0960641997		
<b>PARA CLIENTE FINAL:</b> <b>TERAN ALVAREZ DENNIS ALEXANDER</b>		
Solicitado por:	Ing. Dennis Terán	
Fecha de Recepción:	24/1/2024	
Fecha de Entrega:	26/1/2024	

ELABORADO	REVISADO Y/O APROBADO
<b>CHRISTIAN RODRIGO PEREZ PAREDES</b> Firmado digitalmente por CHRISTIAN RODRIGO PEREZ PAREDES Fecha: 2024.01.26 12:32:13 -05'00'	<b>IVAN PATRICIO ESTUPINA N PAZOS</b> Firmado digitalmente por IVAN PATRICIO ESTUPINAN PAZOS Fecha: 2024.01.26 14:57:05 -05'00'

<p>*ILPM se hace responsable por toda la información proporcionada en el presente informe, excepto aquella que es suministrada por el cliente.                  *Toda la información entregada a ILPM ENGINEERING por parte del cliente, su representante o cualquier parte interesada será considerada como CONFIDENCIAL antes, durante y después de la ejecución de las actividades.                  *Las muestras o probetas que no sean requeridas por el cliente serán desechadas de acuerdo al procedimiento interno ILPM-PC-14 "Recepción, manipulación, protección, almacenamiento, retención y disposición de muestras".                  *Los resultados presentados en el presente informe son válidos y aplicables únicamente para las muestras o probetas ensayadas o inspeccionadas y no deben ser utilizados para tomar conclusiones acerca de otras muestras, probetas, lotes, etc.                  *ILPM no es responsable del muestreo de la probeta o la muestra entregada por el cliente, por lo que los resultados entregados en el presente informe corresponden a la muestra o la probeta tal como se recibió.                  * Cuando el cliente ha solicitado una declaración de conformidad con una especificación o norma para el ensayo (por ejemplo, pasa/no pasa, dentro de tolerancia/fuera de tolerancia), se ha tomado en cuenta la incertidumbre de medición y la regla de decisión acordada con el cliente.                  *Se informa al cliente que puede comunicar a ILPM ENGINEERING, las quejas y apelaciones que estime oportunas de acuerdo al procedimiento ILPM-PC-05 "Servicio al Cliente", para la recepción, tratamiento e informe de quejas y apelaciones, disponible a través de nuestro correo electrónico <a href="mailto:ilpm@ilpm-ec.com">ilpm@ilpm-ec.com</a> o DESCARGÁNDOLO a través de la red Social LinkedIn. Buscar: ILPM Engineering. <a href="https://www.linkedin.com/company/2575804/admin/">https://www.linkedin.com/company/2575804/admin/</a>                  *Los alcances de acreditación de ILPM, los productos o materiales a ensayar o inspeccionar, la técnica y rangos de ensayo, el método de ensayo e inspección, así como la norma técnica, pueden ser consultados a detalle en la página web del SAE <a href="https://www.acreditacion.gob.ec/">https://www.acreditacion.gob.ec/</a>.</p> <p>2023. ILPM Engineering Cía. Ltda.                  Todos Los derechos reservados. Este informe o partes del mismo no deben ser reproducidos o transmitidos de forma parcial, salvo por autorización de ILPM, o en caso que haya sido comunicado durante la Orden de Compra.  <sup>1</sup>Solicitante es la empresa/persona "cliente" de ILPM la cual realizó la requisición del servicio y se compromete al pago por los servicios.</p>
--



ID DOCUMENTO  
ILPM-RT-57  
Revisión Nro. 01  
Fecha de Rev: 02/10/2023

# ILPM ENGINEERING CIA LTDA

Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales

## ENSAYO DE COMPOSICION QUIMICA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

NORMAS: ASTM E1621

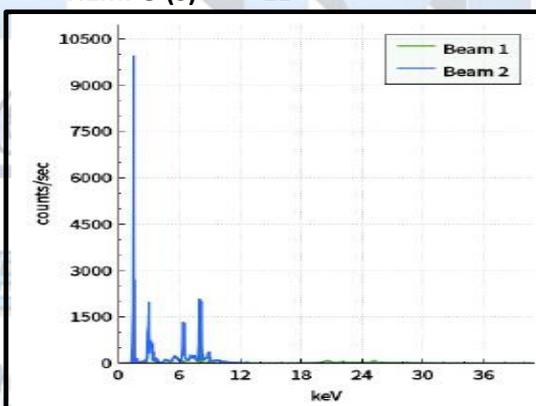


Informe No.  
ILPM 2024 - 070 - B

<b>Cliete:</b>	TERAN ALVAREZ DENNIS ALEXANDER	<b>Fecha de Ensayo:</b>	25/1/2024
<b>Solicitado Por:</b>	Ing. Dennis Terán	<b>Aprobado y/o Testificado por:</b>	
<b>Temperatura:</b>	20°C ± 3°C	<b>Humedad Relativa:</b>	60±20%
<b>Equipo</b>	ENS-37	<b>Calibración</b>	15/2/2023
<b>Elemento Medido:</b>	Aluminio		

MÉTODO USADO ALLOY PLUS  
TIEMPO (S) 11

El	%	+/- 3σ
Mg	0.47	0.19
Al	95.19	0.22
Si	1.801	0.086
Mn	0.021	0.018
Fe	0.713	0.059
Ni	0.022	0.008
Cu	1.486	0.076
Zn	0.062	0.010
Sr	0.0011	0.0008
Zr	0.006	0.001
Sn	0.116	0.012
Pb	0.114	0.010
Bi	0.003	0.003



**NOTAS:**

El presente informe NO debe ser reproducido parcialmente.

Certificamos que los ensayos realizados se han realizado bajo las indicaciones ASTM E1621

LE: ELEMENTOS LIGEROS (DESDE H2 hasta Na)

+/- 3σ= INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

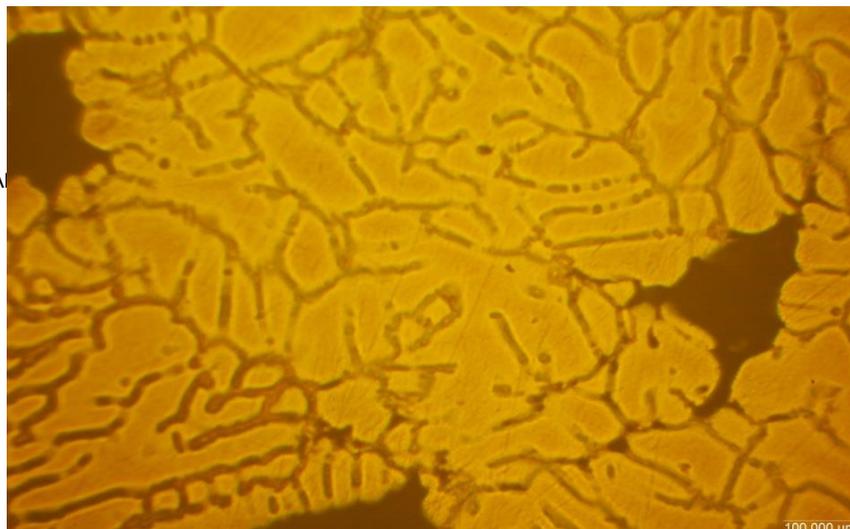
<p>Realizado por:</p>  <p><b>FIRMA ELECTRÓNICA VER CARÁTULA</b> Ing. Danny Parco</p> <p>Ing. Danny Parco ILPM Engineering</p>	<p>Aprobado por:</p>  <p><b>FIRMA ELECTRÓNICA VER CARÁTULA</b> Msc. Patricio Estupiñán</p> <p>MSc. Patricio Estupiñán Jefe de Laboratorio</p>	<p>Cliente</p>  <p><b>FIRMA ELECTRÓNICA VER CARÁTULA</b> CLIENTE</p> <p>TERAN ALVAREZ DENNIS ALEXANDER</p>	
--	--	---	--

Equipo:	ENS-07 Microscopio Metalográfico Micros	Temperatura:	22±4°C	
Calibración:	13/9/2023	Humedad	48±22%	ILPM-2024-070-B

**REGISTRO DE RESULTADOS DEL ENSAYO METALOGRAFICO ASTM E45 / ILPM PT-04**

**Metalografía 100X**

FECHA:	01/26/24
Title	Metalografía 100X
Muestra #	ALUMINIO
Cliente	TERAN ALVAREZ DENNIS ALEXA
Trabajo	CONTROL DE CALIDAD
Informe	ILPM-2024-070
Aumento	100X Micros Canon
Reactivo	Ácido Fluorhídrico



Fotografía A1. Metalografía 100X.

**Porcentajes de Fases**

Area de Perlita	NA
Area de Ferrita	NA
Pearlite %	NA
Ferrite %	NA
Area total de Imagen	36.352.374

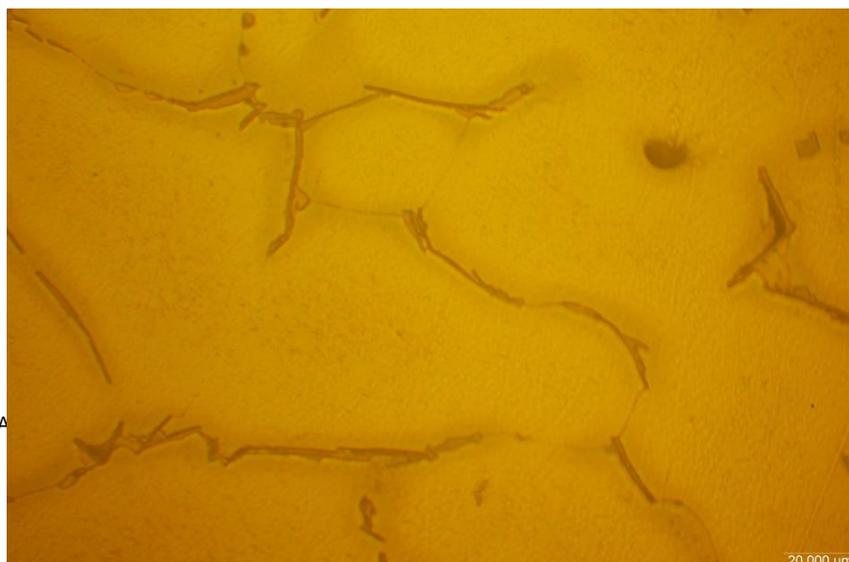
**Tamaño de Grano**

Incertidumbre U ±1,458 um

Metodo de deteccion	NA
Número de interceptos	NA
Tamaño de Grano ASTM	NA

**Metalografía 500X**

FECHA:	01/26/24
Title	Metalografía 500X
Muestra #	ALUMINIO
Cliente	TERAN ALVAREZ DENNIS ALEXA
Trabajo	CONTROL DE CALIDAD
Informe	ILPM-2024-070
Aumento	500X Micros Canon
Reactivo	Ácido Fluorhídrico



Fotografía A2. Metalografía 500X.

**INTERPRETACIÓN:** La muestra corresponde a una fundición de Aluminio con formación de dendritas de fase Alpha ( $\alpha$ ), con la presipitación interdendritica de la fase Beta ( $\beta$ ) y presencia de microrechupes del material.

ELABORADO POR:



Ing. Christian Pérez  
 ILPM Engineering

APROBADO POR:



MSc. Patricio Estupiñán  
 DIRECTOR TECNICO LAB

CLIENTE/TESTIFICADO POR:



TERAN ALVAREZ DENNIS ALEXANDER

**REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN**

**NORMAS: ASTM A370 / ASTM E8**

<b>Cliente final:</b>	TERAN ALVAREZ DENNIS ALEXANDER	<b>Fecha de ensayo:</b>	24/1/2024
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Dennis Terán	<b>Testificado por:</b>	
<b>Material:</b>	Bronce	<b>Probeta elaborada por:</b>	Cliente
<b>Equipo:</b>	ENS-09 Máquina de ensayo de Tensión	<b>Calibración:</b>	13/3/2023 27/11/2023
<b>Temperatura:</b>	22±4°C	<b>Humedad relativa:</b>	48±22%

**Control de Calidad de Material**    **X**

**Control de Soldadura**

ID Probeta	Diámetro Menor	Longitud Inicial	Longitud Final	OBSERVACIONES
	mm.	mm.	mm.	
ALUMINIO	12,48	50,00	52,22	

ID Probeta	Area	Carga de Fluencia	Limite de Fluencia Sy U=±16 Mpa		Carga Máxima	Resistencia a Tracción SUT U=±12 Mpa		Elongación 50 mm U=±0.3%	Localización de Rotura <sup>1</sup>
	mm <sup>2</sup> .	kN	KSI	MPa	kN	KSI	MPa	%	
ALUMINIO	122,33	8,92	10,58	73	9,46	11,22	77	4,4	NA

**Notas:**

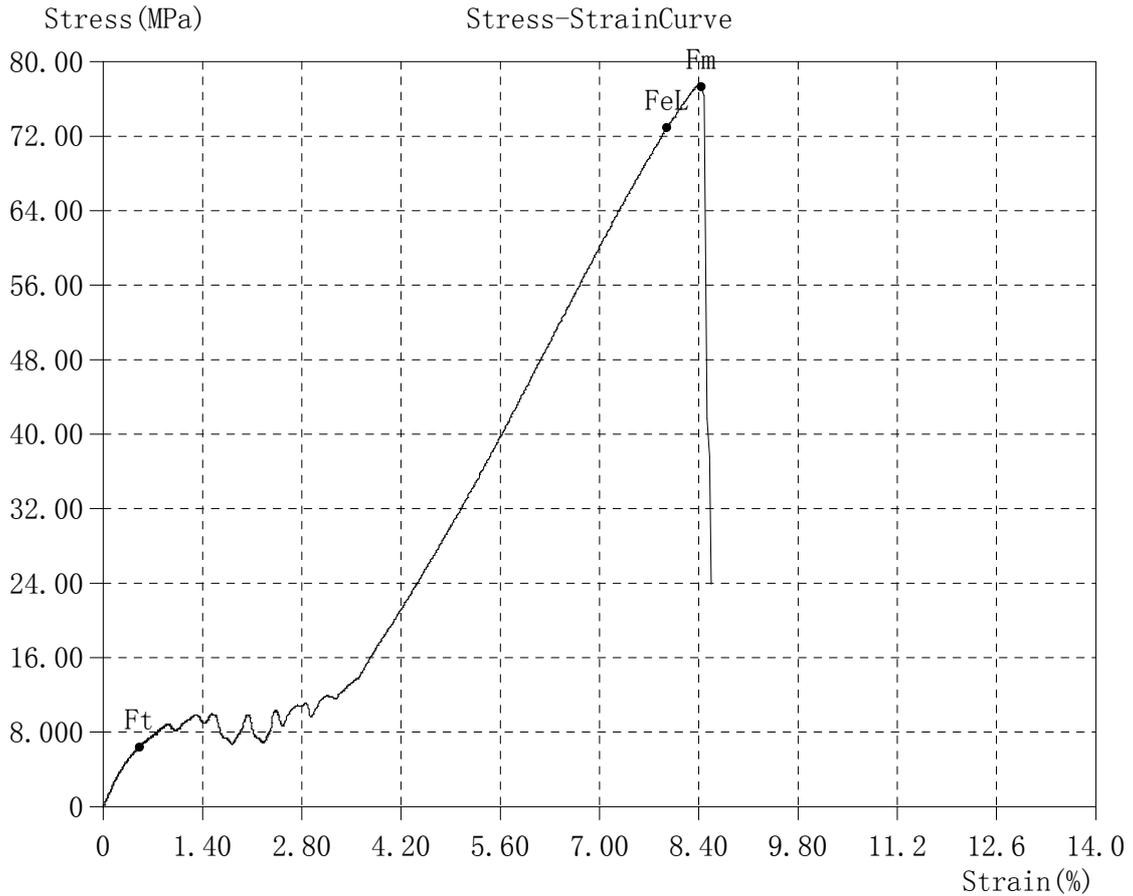
- <sup>1</sup>Para juntas soldadas, la localización de rotura será designada por : FJS Falla Junta Soldada, FMB Falla en Material Base.
- ±U Representa la incertidumbre de medición de cada método de ensayo cubierto por el Sistema de gestión de ILPM y la norma ISO/IEC 17025.
- Como Anexo se adjuntan las curvas de ensayo.
- El presente informe NO debe ser reproducido parcialmente.
- Los ensayos han sido realizados bajo las indicaciones de ASTM E8 / A370 y Procedimiento técnico ILPM-PT-06 "Ensayo de Tensión" (incluye las normas ASME IX, API1104, AWS D1.1, versiones actuales).
- LPM ENGINEERING se encuentra acreditado por el SAE como Laboratorio de Ensayos bajo la norma INEN ISO/IEC 17025: 2018 con acreditación N° SAE LEN 19-011 para el alcance de Ensayo de Tensión. Alcance detallado disponible en página web del SAE <https://www.acreditacion.gob.ec/>.
- ILPM no se hace responsable por la información suministrada por el cliente: "Solicitado por", "Cliente final", "Material", "Testificado por ", "ID probeta"

<p><b>REALIZADO POR:</b></p>  <p><b>FIRMA ELECTRÓNICA</b> <b>VER CARÁTULA</b> CHRISTIAN PEREZ</p> <p>Ing. Christian Pérez ILPM Engineering</p>	<p><b>APROBADO POR:</b></p>  <p><b>FIRMA ELECTRÓNICA</b> <b>VER CARÁTULA</b> Msc. Patricio Estupiñán</p> <p>MSc. Patricio Estupiñán Director técnico</p>	<p><b>CLIENTE:</b></p>  <p><b>FIRMA ELECTRÓNICA</b> <b>VER CARÁTULA</b> CLIENTE</p> <p>TERAN ALVAREZ DENNIS ALEXANDER</p>
---	---	---

# ILPM CIA LTDA

## REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

Customer/Informe	ILPM 2024-070-B		
Probeta No.	ALUMINIO		
TestDate	1/24/2024	Type	Circle
Size (mm)	12.48	So (mm <sup>2</sup> )	122.33
Lo (mm)	50	Lu (mm)	52.22
Fm (kN)	9.460	SUT (MPa)	77
FeL (kN)	8.920	SY (MPa)	73



\*\*\* Fin de Documento \*\*\*

Ensayos de Control de Calidad		<p><b>ILPM Engineering Cía. Ltda.</b> Emilio Estrada N54-139 Y Oruña Sector La Kennedy Quito-Ecuador Teléfono: 02 2812094 Fax: 02 2411714 <a href="http://www.ilpm-ec.com">http://www.ilpm-ec.com</a> Email: <a href="mailto:ilpm@ilpm-ec.com">ilpm@ilpm-ec.com</a></p>
Informe # ILPM 2024-070-A		
<p><b>DATOS DEL SOLICITANTE<sup>1</sup></b>  <b>TERAN ALVAREZ DENNIS ALEXANDER</b>                  Dirección: URKUQUI---VIA UNIVERSITARIA                  KM 17                  Teléfono: 0960641997</p> <p><b>PARA CLIENTE FINAL:</b>  <b>TERAN ALVAREZ DENNIS ALEXANDER</b></p>		
Solicitado por:	Ing. Dennis Terán	
Fecha de Recepción:	24/1/2024	
Fecha de Entrega:	26/1/2024	

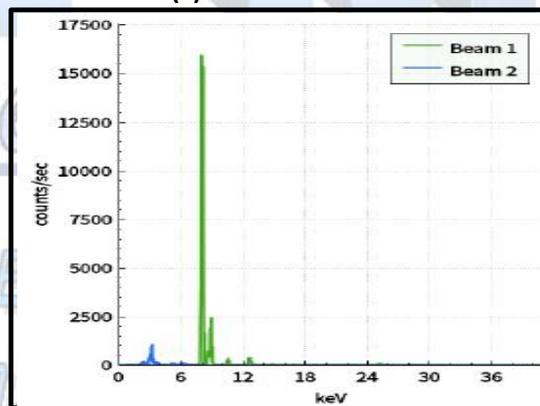
ELABORADO	REVISADO Y/O APROBADO
<p><b>CHRISTIAN RODRIGO PEREZ PAREDES</b>                      Firmado digitalmente por CHRISTIAN RODRIGO PEREZ PAREDES                      Fecha: 2024.01.26 12:31:05 -05'00'</p>	<p><b>IVAN PATRICIO ESTUPINA N PAZOS</b>                      Firmado digitalmente por IVAN PATRICIO ESTUPINAN PAZOS                      Fecha: 2024.01.26 14:56:18 -05'00'</p>

<p>*ILPM se hace responsable por toda la información proporcionada en el presente informe, excepto aquella que es suministrada por el cliente.                      *Toda la información entregada a ILPM ENGINEERING por parte del cliente, su representante o cualquier parte interesada será considerada como CONFIDENCIAL antes, durante y después de la ejecución de las actividades.                      *Las muestras o probetas que no sean requeridas por el cliente serán desechadas de acuerdo al procedimiento interno ILPM-PC-14 "Recepción, manipulación, protección, almacenamiento, retención y disposición de muestras".                      *Los resultados presentados en el presente informe son válidos y aplicables únicamente para las muestras o probetas ensayadas o inspeccionadas y no deben ser utilizados para tomar conclusiones acerca de otras muestras, probetas, lotes, etc.                      *ILPM no es responsable del muestreo de la probeta o la muestra entregada por el cliente, por lo que los resultados entregados en el presente informe corresponden a la muestra o la probeta tal como se recibió.                      * Cuando el cliente ha solicitado una declaración de conformidad con una especificación o norma para el ensayo (por ejemplo, pasa/no pasa, dentro de tolerancia/fuera de tolerancia), se ha tomado en cuenta la incertidumbre de medición y la regla de decisión acordada con el cliente.                      *Se informa al cliente que puede comunicar a ILPM ENGINEERING, las quejas y apelaciones que estime oportunas de acuerdo al procedimiento ILPM-PC-05 "Servicio al Cliente", para la recepción, tratamiento e informe de quejas y apelaciones, disponible a través de nuestro correo electrónico <a href="mailto:ilpm@ilpm-ec.com">ilpm@ilpm-ec.com</a> o DESCARGÁNDOLO a través de la red Social LinkedIn. Buscar: ILPM Engineering. <a href="https://www.linkedin.com/company/2575804/admin/">https://www.linkedin.com/company/2575804/admin/</a>                      *Los alcances de acreditación de ILPM, los productos o materiales a ensayar o inspeccionar, la técnica y rangos de ensayo, el método de ensayo e inspección, así como la norma técnica, pueden ser consultados a detalle en la página web del SAE <a href="https://www.acreditacion.gob.ec/">https://www.acreditacion.gob.ec/</a>.</p> <p>2023. ILPM Engineering Cía. Ltda.                      Todos Los derechos reservados. Este informe o partes del mismo no deben ser reproducidos o transmitidos de forma parcial, salvo por autorización de ILPM, o en caso que haya sido comunicado durante la Orden de Compra.  <sup>1</sup>Solicitante es la empresa/persona "cliente" de ILPM la cual realizó la requisición del servicio y se compromete al pago por los servicios.</p>
--

<b>Cliente:</b>	TERAN ALVAREZ DENNIS ALEXANDER	<b>Fecha de Ensayo:</b>	25/1/2024
<b>Solicitado Por:</b>	Ing. Dennis Terán	<b>Aprobado y/o Testificado por:</b>	
<b>Temperatura:</b>	20°C ± 3°C	<b>Humedad Relativa:</b>	60±20%
<b>Equipo</b>	ENS-37	<b>Calibración</b>	15/2/2023
<b>Elemento Medido:</b>	Bronce		

**MÉTODO USADO** ALLOY PLUS  
**TIEMPO (S)** 11

El	%	+/- 3σ
Si	0.050	0.085
P	0.117	0.037
Fe	0.253	0.035
Ni	0.083	0.025
Cu	86.21	0.23
Zn	2.875	0.088
Sn	2.05	0.11
Pb	8.36	0.18



**NOTAS:** El presente informe NO debe ser reproducido parcialmente.

Certificamos que los ensayos realizados se han realizado bajo las indicaciones ASTM E1621

LE: ELEMENTOS LIGEROS (DESDE H2 hasta Na)

+/- 3σ= INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

Realizado por:



Ing. Danny Parco  
ILPM Engineering

Aprobado por:



MSc. Patricio Estupiñán  
Jefe de Laboratorio

Cliente



TERAN ALVAREZ DENNIS  
ALEXANDER

Equipo:	ENS-07 Microscopio Metalográfico Micros	Temperatura:	22±4°C	
Calibración:	13/9/2023	Humedad	48±22%	ILPM-2024-070-A

**REGISTRO DE RESULTADOS DEL ENSAYO METALOGRAFICO ASTM E45 / ILPM PT-04**

**Metalografía 100X**

FECHA:	01/26/24
Title	Metalografía 100X BRONCE
Muestra #	BRONCE
Cliente	TERAN ALVAREZ DENNIS ALEXA
Trabajo	CONTROL DE CALIDAD
Informe	ILPM-2024-070
Aumento	100X Micros Canon
Reactivo	Cloruro ferrico



Fotografía A1. Metalografía 100X.

**Porcentajes de Fases**

Area de Perlita	NA
Area de Ferrita	NA
Pearlite %	NA
Ferrite %	NA
Area total de Imagen	36.352.374

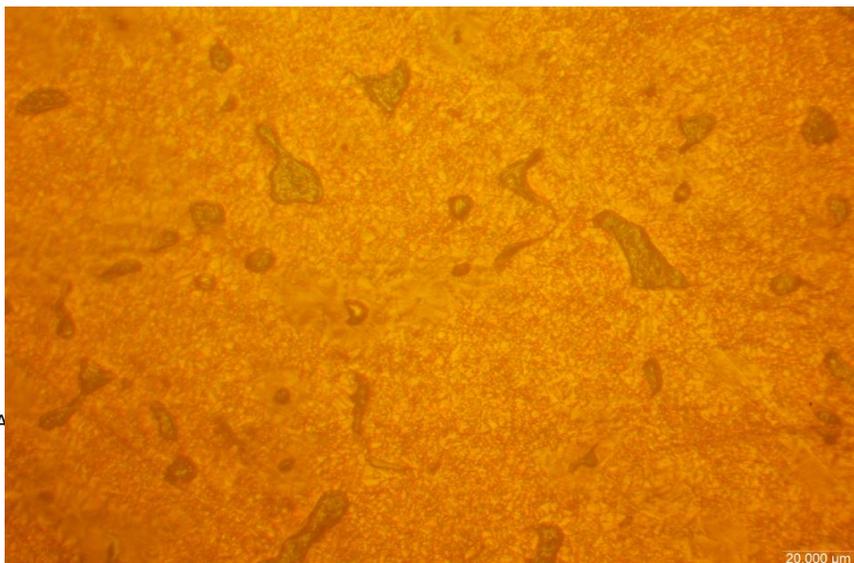
**Tamaño de Grano**

Incertidumbre U ±1,458 um

Metodo de deteccion	NA
Número de interceptos	NA
Tamaño de Grano ASTM	NA

**Metalografía 500X**

FECHA:	01/26/24
Title	Metalografía 500X BRONCE
Muestra #	BRONCE
Cliente	TERAN ALVAREZ DENNIS ALEXA
Trabajo	CONTROL DE CALIDAD
Informe	ILPM-2024-070
Aumento	500X Micros Canon
Reactivo	Cloruro ferrico



Fotografía A2. Metalografía 500X.

**INTERPRETACIÓN:** La muestra corresponde a una fundición de Bronce en la cual se observa la fase Alpha ( $\alpha$ ) homogéneamente distribuida y compuestos interdendríticos de fase Beta ( $\beta$ ).

ELABORADO POR:



Ing. Christian Pérez  
 ILPM Engineering

APROBADO POR:



MSc. Patricio Estupiñán  
 DIRECTOR TECNICO LAB

CLIENTE/TESTIFICADO POR:



TERAN ALVAREZ DENNIS ALEXANDER



ID DOCUMENTO  
ILPM-RT-16-1  
Revisión Nro. 10  
Fecha de Rev.: 02/10/2023

**ILPM ENGINEERING CIA LTDA**  
Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales



**Informe No.**

LPM 2024 - 070 - A

**REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN**

**NORMAS: ASTM A370 / ASTM E8**

<b>Cliente final:</b>	TERAN ALVAREZ DENNIS ALEXANDER	<b>Fecha de ensayo:</b>	24/1/2024
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Dennis Terán	<b>Testificado por:</b>	
<b>Material:</b>	Bronce	<b>Probeta elaborada por:</b>	Cliente
<b>Equipo:</b>	ENS-09 Máquina de ensayo de Tensión	<b>Calibración:</b>	13/3/2023 27/11/2023
<b>Temperatura:</b>	22±4°C	<b>Humedad relativa:</b>	48±22%

**Control de Calidad de Material** X

**Control de Soldadura**

ID Probeta	Diámetro Menor	Longitud Inicial	Longitud Final	OBSERVACIONES
	mm.	mm.	mm.	
BRONCE	12,50	50,00	51,80	

ID Probeta	Area	Carga de Fluencia	Limite de Fluencia Sy U=±16 Mpa		Carga Máxima	Resistencia a Tracción SUT U=±12 Mpa		Elongación 50 mm U=±0.3%	Localización de Rotura <sup>1</sup>
	mm2.	kN	KSI	MPa	kN	KSI	MPa	%	
BRONCE	122,72	11,60	13,71	95	13,26	15,67	108	3,6	NA

**Notas:**

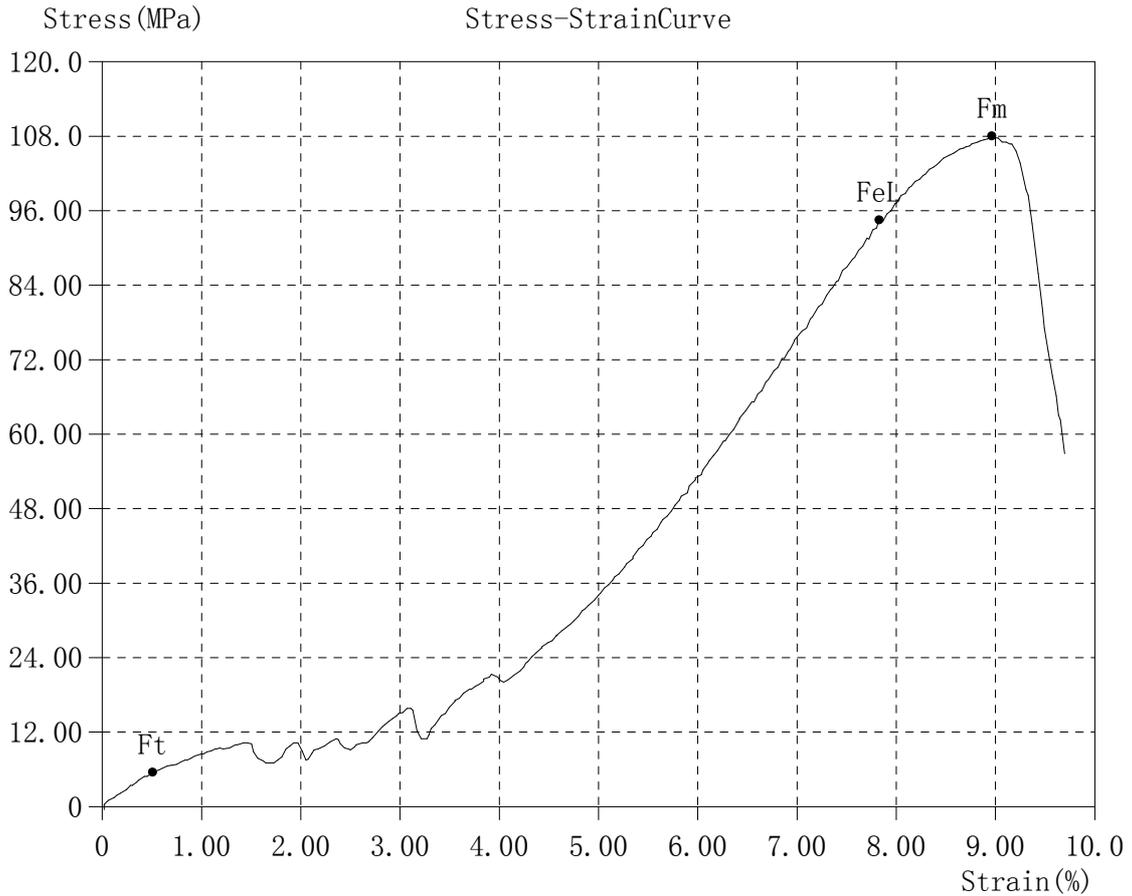
- <sup>1</sup>Para juntas soldadas, la localización de rotura será designada por : FJS Falla Junta Soldada, FMB Falla en Material Base.
- ±U Representa la incertidumbre de medición de cada método de ensayo cubierto por el Sistema de gestión de ILPM y la norma ISO/IEC 17025.
- Como Anexo se adjuntan las curvas de ensayo.
- El presente informe NO debe ser reproducido parcialmente.
- Los ensayos han sido realizados bajo las indicaciones de ASTM E8 / A370 y Procedimiento técnico ILPM-PT-06 "Ensayo de Tensión" (incluye las normas ASME IX, API1104, AWS D1.1, versiones actuales).
- LPM ENGINEERING se encuentra acreditado por el SAE como Laboratorio de Ensayos bajo la norma INEN ISO/IEC 17025: 2018 con acreditación Nº SAE LEN 19-011 para el alcance de Ensayo de Tensión. Alcance detallado disponible en página web del SAE <https://www.acreditacion.gob.ec/>.
- ILPM no se hace responsable por la información suministrada por el cliente: "Solicitado por", "Cliente final", "Material", "Testificado por ", "ID probeta"

<b>REALIZADO POR:</b>	<b>APROBADO POR:</b>	<b>CLIENTE:</b>	
Ing. Christian Pérez ILPM Engineering	Msc. Patricio Estupiñán Director técnico	TERAN ALVAREZ DENNIS ALEXANDER	

# ILPM CIA LTDA

## REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

Customer/Informe	ILPM 2024-070-A		
Probeta No.	BRONCE		
TestDate	1/24/2024	Type	Circle
Size (mm)	12.5	So (mm <sup>2</sup> )	122.72
Lo (mm)	50	Lu (mm)	51.80
Fm (kN)	13.26	SUT (MPa)	108
FeL (kN)	11.60	SY (MPa)	95



\*\*\* Fin de Documento \*\*\*