

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

"Diseño del proceso de fundición y desarrollo de una aleación para la
manufactura de un bloque de motor de motocicleta"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Javier Adrián Portilla Paguay

Miguel Ricardo Torres Almeida

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a mis padres, a mis hermanos, a los tutores de este proyecto Ing. Ignacio Wiesner y Ana Rivas, Ph.D., a mis compañeros y amigos que han sido parte de mi formación académica en la ESPOL.

Este proyecto va dedicado a Ethan Torres y Mariam Muñoz quienes han sido motivo de inspiración para alcanzar esta meta.

Miguel Ricardo Torres Almeida

Agradezco a Dios, quien me ha guiado a lo largo de toda mi vida, a mis padres Javier y Adriana por su apoyo incondicional, a mis hermanas Camila y Maite, por haberme motivado a culminar esta etapa. A Gabriela Barragán por formar parte de mi vida, y por alentarme en todo instante.

A todos mis maestros por compartir conmigo sus conocimientos, y a mis compañeros por los gratos momentos dentro de mi vida universitaria.

Este trabajo está dedicado a mi querido abuelo Manuel Paguay; *“siempre te recuerdo”*.

Javier Adrián Portilla Paguay

DECLARACIÓN EXPRESA

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

Javier Adrián Portilla Paguay

Miguel Ricardo Torres Almeida

PhD. Ana Luisa Rivas Ferrín

Ing. Ignacio Vicente Wiesner Falconí

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



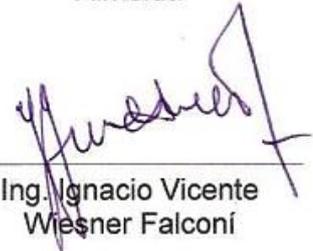
Javier Adrián Portilla
Paguay



Miguel Ricardo Torres
Almeida



PhD. Ana Luisa Rivas
Ferrín



Ing. Ignacio Vicente
Wiesner Falconí

RESUMEN

El presente proyecto fue realizado en base a las propuestas ministeriales del actual gobierno en lo que respecta al cambio de la matriz productiva, y se apunta hacia la sustitución de partes y piezas mediante procesos de fundición en la industria automotriz. Se propuso el desarrollo de una aleación para la mejora de un bloque de motor de motocicleta con la finalidad de evitar la importación de la pieza en mención e incentivar el desarrollo de la producción nacional.

Para esto se realizó la desagregación tecnológica del componente original ya mencionado, el cual es fabricado en aluminio con un inserto de camisa de hierro fundido. Se realizó tres ensayos al material, entre estos: análisis metalográfico, químico y dureza Brinell.

Haciendo uso de dichos análisis y de una matriz de decisión se seleccionó un diseño optimizado para la construcción del nuevo elemento, en el cual el conjunto bloque-cilindro forman parte de una misma pieza, ambos fabricados de aluminio.

Debido a que el aluminio del material original no es adecuado para resistir las condiciones de trabajo dentro de la cámara de combustión, se seleccionó una aleación de aluminio hipereutéctica con un contenido de silicio entre 16–18%, la cual corresponde a estándares utilizados para la fabricación de motores livianos.

Seguido se procedió a diseñar el sistema de colado del proceso de fundición, determinando las ubicaciones del bebedero y las entradas del aluminio fundido y su respectivo dimensionamiento. Estos resultados fueron complementados con los obtenidos en el software MAGMA.

Luego de realizar la primera simulación se detectó imperfecciones del proceso de fundición; como solución se hizo uso de enfriadores de hierro fundido y de mazarotas con forma cilíndricas por su facilidad de fabricación, las cuales fueron dimensionadas utilizando el criterio de Chvorinov. Para realizar el proceso de fundición se llevó a cabo la identificación de la composición química del aluminio a fundir, posterior a eso se preparó la cantidad necesaria de los elementos aleantes.

Finalmente se realizó los análisis mencionados anteriormente obteniéndose una microestructura con formaciones de silicio primario en una matriz de aluminio, contenido de 17.4 % de silicio y 3.52 % de cobre, y una dureza promedio de 80 HB.

Palabras Clave: Desagregación tecnológica, Fundición, Aluminio Hipereutéctico, Microestructura.

ABSTRACT

The present project was executed based on the ministerial proposals of the current government regarding the change of the productive matrix, and aims at the replacement of parts and pieces by foundry processes in the automotive industry. It was proposed the development and improvement of a motorcycle engine block in order to avoid the importation of the mentioned piece and to encourage the development of the national production.

For this, the technological disaggregation was made to the original component already mentioned, which is made of aluminum with a cast iron jacket insert. Three tests were carried out on the material, including: metallographic, chemical analysis and Brinell hardness.

Using the analysis mentioned above, and a decision matrix, a design optimized for the construction of the new element was selected, in which the block-cylinder assembly is part of the same piece, both made of aluminum.

Because the aluminum of the original material is not suitable to withstand the working conditions inside the combustion chamber, a hypereutectic aluminum alloy with a silicon content of 16-18% was selected, which corresponds to standards used for light engines manufacturing.

Subsequently, the casting process was designed determining the locations of the sprue and the inputs of the molten aluminum and their respective dimensioning. These results were complemented with those obtained in the MAGMA software.

After performing the first simulation, imperfections of the casting process were detected; as a solution, cast iron chillers and cylindrical sprues were used for an easy manufacture, which were dimensioned using Chvorinov's criterion. To carry out the casting process, the chemical composition of the aluminum to be melted was identified, after that, the required amount of alloying elements was prepared.

Finally the mentioned analyzes were carried out obtaining a microstructure with formations of primary silicon in an aluminum matrix, content of 17.4% of silicon and 3.52% of copper, and an average hardness of 80 HB.

Keywords: Technological disaggregation, Foundry, Aluminum Hypereutectic, Microstructure.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	V
ABREVIATURAS	VIII
SIMBOLOGÍA.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIV
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Marco teórico.	2
1.3.1 Situación actual de la motocicleta en el Ecuador.	2
1.3.2 Proceso de fundición.	3
1.3.3 El Motor de motocicleta.	8
1.3.4 Material del bloque	10
1.3.5 Herramienta computacional	13
CAPÍTULO 2.....	17
2. Metodología del Diseño	17
2.1 Enfoque.....	17
2.1.1 Desagregación Tecnológica.....	18
2.1.2 Alternativas de diseño.....	20

2.1.3	Proceso del Diseño.....	25
2.2	Diseño conceptual del sistema de colado.....	27
CAPÍTULO 3.....		31
3.	Resultados.....	31
3.1	Resultados de los análisis realizados al bloque original.	31
3.1.1	Resultados del análisis químico al bloque original.	31
3.1.2	Resultados del ensayo metalográfico al bloque original.....	32
3.1.3	Resultado del ensayo de dureza a la pieza original.	34
3.2	Diseño del sistema de colado.....	37
3.3	Resultados de la simulación.....	44
3.4	Dimensionamiento y ubicación de la mazarota en la simulación.	48
3.5	Desarrollo y resultados de los ensayos realizados a la aleación de aluminio silicio hipereutético.....	54
3.5.1	Resultados del análisis químico de la aleación desarrollada.....	56
3.5.2	Resultados del análisis metalográfico de la aleación desarrollada.	57
3.5.3	Resultados del ensayo de dureza a la aleación desarrollada.....	58
3.6	Análisis de costos.....	59
3.7	Cronograma de trabajo	60
CAPÍTULO 4.....		62
4.	Discusión y Conclusiones	62
4.1	Conclusiones.....	63
4.2	Recomendaciones.....	63
BIBLIOGRAFÍA		65
APÉNDICES		67
APÉNDICE A		68
	Proceso de simulación de la fundición.....	68

A.1 Proceso de simulación	69
APÉNDICE B	81
Planos del sistema de colado	81

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
AEADE	Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador
AEEMAE	Asociación de Empresas Ensambladoras de Motocicletas y Afines del Ecuador
ASM	American Society for Metals
ASTM	American Society for Testing Materials
CBU	Completely Built up
CKD	Completely Knock Down
MIPRO	Ministerio de Industrias y Productividad

SIMBOLOGÍA

H	Calor total necesario para fundir una cantidad de metal (J)
m	Metro
s	Segundo
ρ	Densidad del aluminio (Kg/m^3)
C_s	Calor específico del aluminio en estado sólido ($\text{KJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$)
T_m	Temperatura de fusión del aluminio ($^\circ\text{C}$)
T_0	Temperatura inicial del aluminio ($^\circ\text{C}$)
H_f	Calor latente de fusión del aluminio (KJ/Kg)
C_l	Calor específico del aluminio en estado líquido ($\text{KJ}/\text{Kg}\cdot^\circ\text{C}$)
T_p	Temperatura de vertido ($^\circ\text{C}$)
T_{TS}	Tiempo de solidificación (s)
C_m	Constante del molde
W_{bloque}	Peso del bloque (Kg)
W_{Al}	Peso del lingote de aluminio con 12% Si (Kg)
x	Peso del silicio en el lingote de aluminio con 12% Si (Kg)
x_1	Peso del silicio en el lingote de aluminio con 17% Si (Kg)
W_{Si}	Peso total de silicio a añadir en la aleación (Kg)
V	Volumen del bloque (m^3)
A	Área superficial (m^2)
A_c	Área superficial de la mazarota (m^2)
f	Factor de enfriamiento para la mazarota
v	Velocidad de flujo (m/s)
g	Aceleración gravitacional (m/s^2)
h	Altura del bebedero (mm)
μ	Viscosidad dinámica del aluminio fundido ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)
Re	Número de Reynolds
t	Tiempo de llenado (s)
Q	Caudal (m^3/s)
A_B	Área del bebedero (mm^2)
d_B	Diámetro del bebedero en la sección B (mm)

d_A	Diámetro del bebedero en la sección A (mm)
A_C	Área transversal del corredor horizontal C (mm^2)
L_C	Arista de la sección transversal cuadrada del corredor C (mm)
A_D	Área transversal del corredor vertical D (mm^2)
L_D	Arista de la sección transversal cuadrada del corredor D (mm)
D	Diámetro de la mazarota (mm)
h	Altura de la mazarota (mm)
Si	Silicio
Fe	Hierro
Cu	Cobre
Mn	Manganeso
Mg	Magnesio
Zn	Zinc
Ti	Titanio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Clasificación de los procesos de fundición	4
Figura 1.2 Esquema de un sistema de colado para fundición.....	5
Figura 1.3 Esquema del motor de una motocicleta.....	9
Figura 1.4 Partes del motor de una motocicleta	9
Figura 1.5 Bloque de aluminio de un motor de 200 cc.....	10
Figura 1.6 Diagrama de fase Aluminio Silicio	12
Figura 1.7 Modelado del dominio de flujo	14
Figura 2.1 Vista superior del bloque	17
Figura 2.2 Flujograma del proceso de manufactura de un bloque de motor de motocicleta	26
Figura 2.3 Vista isométrica del bloque de motor de 200 cc de una motocicleta	27
Figura 2.4 Diseño de forma del sistema de llenado para la fundición del bloque	28
Figura 2.5 Vista seccionada del sistema de llenado para la fundición del bloque	29
Figura 2.6 Vista seccionada del bloque de aluminio.....	30
Figura 3.1 Micrografía del bloque original, x50. Ataque con Keller	33
Figura 3.2 Calibración del durómetro Leeb Hardness Tester MH310	35
Figura 3.3 Ensayo de dureza en bloque original.....	36
Figura 3.4 Dimensiones del bloque	38
Figura 3.5 Vista en corte del sistema de colado de aluminio	39
Figura 3.6 Esquema de la sección transversal del sistema de colado	40
Figura 3.7 Dimensiones del sistema de colado de aluminio	44
Figura 3.8 Sistema de colado de aluminio para el proceso de fundición	45
Figura 3.9 Velocidad de llenado del sistema de colado de aluminio	46
Figura 3.10 Punto caliente en el interior del bloque de aluminio	47
Figura 3.11 Porosidad en el sistema de colado de aluminio	48
Figura 3.12 Sistema de colado de aluminio con mazarotas y enfriadores	51
Figura 3.13 Ubicación de los enfriadores	52
Figura 3.14 Puntos calientes luego de la adición de mazarotas y enfriadores	53
Figura 3.15 Porosidad luego de la adición de mazarotas y enfriadores	54
Figura 3.16 Silicio triturado, tamiz 3 mm.....	56

Figura 3.17 Micrografía de la aleación desarrollada, x500. Ataque con Keller.....	58
Figura 3.18 Cronograma de trabajo.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Sistema de designación.....	11
Tabla 2.1 Matriz de ponderación para las características del bloque.....	23
Tabla 2.2 Matriz de decisión para las alternativas de diseño del bloque	24
Tabla 3.1 Composición química porcentual (%) del bloque original.....	32
Tabla 3.2 Composición química del reactivo de Keller (200 ml)	32
Tabla 3.3 Ensayo de dureza de una probeta de la pieza original	35
Tabla 3.4 Ensayo de dureza en bloque original.....	36
Tabla 3.5 Propiedades del Aluminio	37
Tabla 3.6 Datos del bloque de motor de motocicleta, 200 cc.....	38
Tabla 3.7 Volumen y Área superficial de figuras geométricas para el dimensionamiento de mazarotas	49
Tabla 3.8 Factor de rapidez de enfriamiento	49
Tabla 3.9 Composición química porcentual (%) de aleaciones de aluminio para pistones	54
Tabla 3.10 Composición química porcentual (%) de la aleación desarrollada	57
Tabla 3.11 Ensayo de dureza de la aleación desarrollada	59
Tabla 3.12 Costos directos en la fundición	59
Tabla 3.13 Costos indirectos en la fundición	60
Tabla 3.14 Costos del proyecto.....	60

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Vista del plano de conjunto
- PLANO 2 Plano de copa de vaciado
- PLANO 3 Plano del bebedero
- PLANO 4 Plano de mazarota
- PLANO 5 Plano del bloque de motocicleta
- PLANO 6 Plano del corredor
- PLANO 7 Plano del enfriador 1
- PLANO 8 Plano del enfriador 2
- PLANO 9 Plano del enfriador 3
- PLANO 10 Vista en explosión del sistema de colado

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

En el Ecuador, por disposición del actual gobierno y mediante acuerdos ministeriales, tales como el convenio N° 14 264, se proyecta contribuir con el cambio de la matriz productiva ampliando la gama de componentes de motocicleta fabricados a nivel nacional, disminuyendo así la cantidad de accesorios importados. Por este motivo, la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción propone la elaboración del proyecto de sustitución de partes y piezas mediante proceso de fundición en la industria automotriz; del cual, el presente trabajo se enfoca en el diseño del proceso de fundición y desarrollo de una aleación para la manufactura de un bloque de motor de motocicleta, con lo que se espera sustituir al componente extranjero en mención.

Al ofrecer versatilidad ante el tránsito vehicular pesado, bajos costos de adquisición y mantenimiento, además del bajo consumo de combustible, la motocicleta es una opción atractiva al momento de adquirir un vehículo. Esta constituye una alternativa conveniente respecto a los medios de transporte convencionales en el Ecuador, tales como los automóviles o buses de transporte público.

Por estos motivos, el presente proyecto está orientado a incentivar y promover la producción del bloque de motor de motocicleta a nivel nacional. Se espera obtener un producto terminado que cumpla con estándares necesarios para lograr, de ser posible, la masificación y diversificación de productos fabricados en el país. Aunque existe una gran variedad de estos bloques de motor, este trabajo se enfocará exclusivamente en un motor mono cilíndrico (motor de un solo cilindro), de 200 centímetros cúbicos, enfriado por aire.

Para la realización de este trabajo se pone en práctica el concepto de desagregación tecnológica, partiendo de un bloque de motor importado, y se propone optimizarlo mejorando las características mecánicas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General.

Diseñar y manufacturar un bloque de motor de motocicleta, enmarcado dentro del esquema de sustitución de partes y piezas, para promover la producción nacional y de esta manera contribuir con la masificación y diversificación de productos fabricados en el país.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Realizar desagregación tecnológica y optimizar el diseño de un bloque de motor de una motocicleta.
- Diseñar las características de un proceso de fundición, utilizando herramientas computacionales.
- Manufacturar un bloque de motor de motocicleta que cumpla con los estándares de fabricación requeridos.

1.3 Marco teórico.

1.3.1 Situación actual de la motocicleta en el Ecuador.

En el Ecuador se importan motocicletas en dos estados diferentes, estos son: CBU (*Completely Built up*), es decir que entran al país completamente ensambladas; y CKD (*Completely Knock Down*), refiriéndose a que sus componentes llegan por separado para su posterior ensamblaje.

La Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), creada en 1946 por empresarios del sector, se encarga de llevar un registro de las cifras de importación y ventas de automóviles, neumáticos y motocicletas; las mismas que son publicadas en su anuario.

Según datos de AEADE, la importación de motocicletas de tipo CBU pasó de 105093 unidades en 2008 a 36074 en 2013, mientras que las de tipo CKD pasaron de 7184 a 85356, en el mismo período de tiempo (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2013). El crecimiento en las importaciones de las unidades CKD se debe a

las restricciones del gobierno en la importación de motocicletas completamente armadas (CBU); consecuentemente, las marcas han decidido establecer fábricas dentro del país. Actualmente, estarían en operación alrededor de 22 plantas de ensamblaje entre Quito, Guayaquil, Cuenca e Ibarra (MIPRO, 2016).

Por este motivo, el Ministerio de Industrias y Productividad (MIPRO) y la Asociación de Empresas Ensambladoras de Motocicletas y Afines del Ecuador (AEEMAE), han llegado a un consenso, y mediante acuerdo ministerial (14 264), se han comprometido a que hasta el 1 de Junio de 2015, al menos el 20% de las piezas utilizadas en las motocicletas de tipo CKD, sean de fabricación nacional (MIPRO, 2016).

Habiendo definido los objetivos de este proyecto, y teniendo como base para su desarrollo los datos mencionados, se procede a determinar los procesos necesarios para la elaboración del mismo. Debido a que el bloque de un motor es una pieza compleja, se puede fabricar por fundición o mecanización, pero ya que este último proceso genera una alta cantidad de desperdicio de material; se ha decidido elaborarlo mediante el proceso de fundición, que, con un correcto diseño del sistema de colado, se puede obtener resultados satisfactorios en lo que respecta a propiedades mecánicas y acabado superficial. En la siguiente sección se presentará una corta descripción de este procedimiento.

1.3.2 Proceso de fundición.

La fundición es un proceso de manufactura, el cual consiste en elevar la temperatura de un metal hasta su punto de fusión, es decir, pasa de estado sólido a líquido para luego verterlo en un molde en donde, después de la solidificación del material, se obtendrá una pieza con la forma deseada (Groover, 2007). En la fundición de metales, existen dos clasificaciones según el tipo de molde (Figura 1.1).

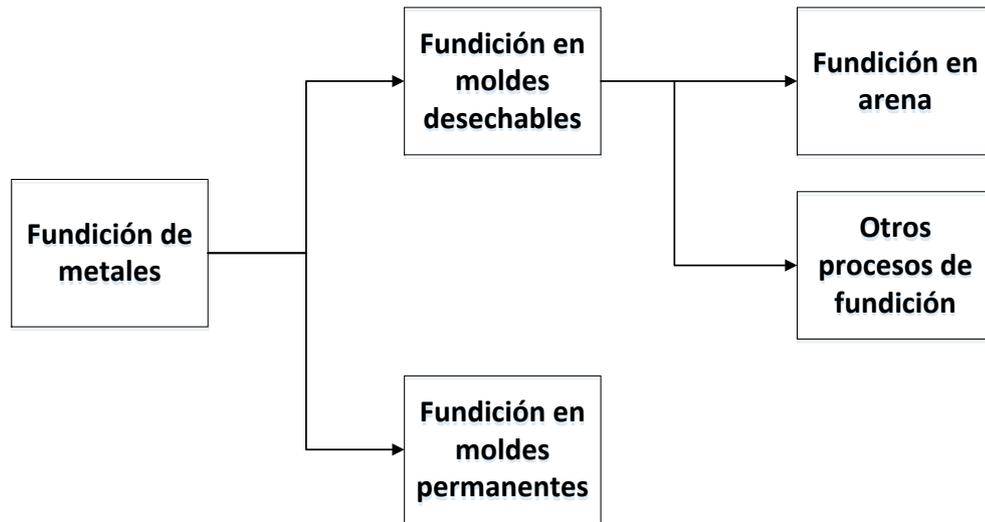


Figura 1.1 Clasificación de los procesos de fundición

Fuente: Groover, 2007

Los moldes desechables generalmente son hechos de arena, en conjunto con un aglutinante para así tomar la forma de la cavidad donde se solidificará el metal; cabe recalcar que para extraer la pieza solidificada, el molde se debe destruir. Por otro lado, un molde permanente es fabricado de material metálico o refractario, que pueda soportar altas temperaturas; se compone de dos o más secciones, que luego de la solidificación del material, se separan para poder extraer la pieza, y posteriormente ser usados en un siguiente proceso.

Las diferencias en el uso de un molde de arena o permanente, son el acabado superficial, la velocidad de enfriamiento y los costos de fabricación. En un molde desechable se pueden realizar geometrías más complicadas; mientras que un molde permanente es preferido para la producción en masa.

En la Figura 1.2 se muestra el esquema de un sistema de colado para fundición en arena, el principal componente es la cavidad, que debe tener la forma de la pieza a fundir, el molde debe separarse luego de la solidificación de la pieza. Por lo general, se fabrican en dos partes denominadas superior e inferior, la unión de estas mitades formarán la línea de partición, que usualmente deja una marca en las piezas fundidas dependiendo de la calidad con la que se construya el molde. Dentro del conjunto también se encuentra la mazarota, este elemento sirve como aporte de metal líquido

cuando se produce la contracción volumétrica durante la solidificación; está diseñada de manera que sea la última en solidificarse dentro del molde. El bebedero es el canal por donde desciende el metal líquido hasta llegar a la parte más baja del sistema; aquí se encuentra el corredor, el cual se encarga de direccionar la colada hacia la cavidad con la forma deseada y cuya sección transversal debe minimizar pérdidas por fricción en el flujo. Externamente se tiene el encofrado, que generalmente es fabricado en metal; su función es crear un molde externo para la cohesión entre la arena y el aglutinante, y la formación de la cavidad.

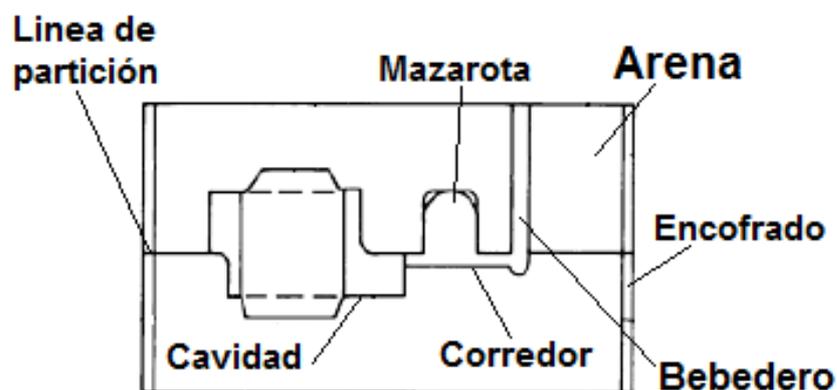


Figura 1.2 Esquema de un sistema de colado para fundición

Fuente: ASM, 1998

Un problema bastante común en la fundición es la generación de puntos calientes y de porosidades que se producen durante la solidificación.

Se denomina puntos calientes a las concentraciones de metal líquido o semilíquido, existentes en algún lugar de la pieza elaborada cuando ya ha comenzado la solidificación. Al ser el último en solidificarse, genera contracción volumétrica en dirección hacia donde él se encuentra, produciendo lo que en fundición se conoce como rechupe. Una manera de evitar la formación de puntos calientes es mediante el uso de enfriadores o chillers, los cuales son piezas metálicas que se colocan en el molde en los lugares más propensos a este tipo de defecto, para incrementar la tasa de transferencia de calor.

Por otro lado, las porosidades son defectos generados por la presencia de gases y de inclusiones de arena (moldeo en verde), dentro de la cavidad del molde. Se presentan en forma de granos u orificios en la superficie del metal ocasionando un mal acabado superficial; no obstante, pueden provocar el fallo del material en funcionamiento. Las porosidades pueden ser controladas y evitadas haciendo uso de respiraderos, los cuales son orificios pequeños que comunican la cavidad del molde con el exterior dando paso a la salida de gases. No obstante, el uso de mazarotas también es de gran ayuda cuando la porosidad es generada por efecto de puntos calientes.

Calentamiento del metal.

Inicialmente se debe definir ciertos términos necesarios en el proceso de fundición. El calor sensible aumenta la temperatura del metal sin cambiarlo de fase, mientras que el calor latente de fusión es la energía necesaria para llevarlo de un estado sólido a líquido. La temperatura de vertido es la diferencia de temperatura entre el punto de fusión y la temperatura del metal cuando se va a verter.

Para calentar el metal es necesario añadirle energía, primero se debe agregar calor para elevar la temperatura hasta el punto de fusión, luego para llevarlo al cambio de fase de sólido a líquido, finalmente se le añade más calor para alcanzar la temperatura de sobrecalentamiento, que es la diferencia entre la temperatura de fusión y la temperatura a la que se verterá, con el fin de asegurar la fluidez requerida. La energía total que se adicionará al metal desde la temperatura inicial hasta la temperatura de vertido se calcula con la Ecuación 1.1:

$$H = \rho V \{ C_s (T_m - T_0) + H_f + C_l (T_p - T_m) \} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde H es el calor total que se le añade al material para alcanzar la temperatura de vertido en J; ρ es la densidad del metal en kg/m^3 ; V es el volumen del metal que se va a fundir en m^3 ; C_s es el calor específico por peso del metal en estado sólido en $\text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$; T_m es la temperatura de fusión del metal en $^\circ\text{C}$; T_0 es la temperatura inicial, (generalmente temperatura ambiente) en $^\circ\text{C}$; H_f es el calor de fusión del metal

en kJ/kg; C_l es el calor específico del metal en estado líquido en kJ/kg-°C; y T_p es la temperatura a la que se va a verter el metal fundido en °C (Groover, 2007).

Tiempo de solidificación y dimensionamiento de mazarota.

Se define como el tiempo que demora en solidificarse el fundido después de haberse vertido en el molde. Este tiempo es función del tamaño y forma del fundido, y se calcula según la regla de Chvorinov, mostrada en la Ecuación 1.2 (Jelínek, 2010).

$$T_{TS} = C_m \left(\frac{V}{A} \right)^2 \quad \text{Ecuación 1.2}$$

En esta ecuación, T_{TS} es el tiempo de solidificación en minutos; C_m es una constante experimental del molde y depende de las características de fundición, como calor de fusión, calor específico y conductividad térmica; V es el volumen del fundido en m^3 ; A es el área superficial del fundido en m^2 (Groover, 2007).

Esta regla es aplicada para el dimensionamiento de la mazarota, la cual es un depósito que se realiza en el molde y se encuentra en comunicación con la cavidad que dará forma de la pieza. Los objetivos de la mazarota son asegurar el completo llenado del molde, servir como indicador de solidificación, permitir la evacuación de gases del interior, y aportar material a la pieza cuando se generan contracciones del metal durante el proceso de solidificación.

Análisis de Vaciado del metal.

Se puede calcular la velocidad máxima cuando el fluido desciende desde una altura h mediante la Ecuación 1.3:

$$v = \sqrt{2gh} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

Donde g es la aceleración de la gravedad en m/s^2 , h es la altura desde donde desciende el fluido en metros (m), y como resultado se obtendrá la velocidad m/s.

El metal fundido, al ser un fluido incompresible (ASM, 1998), obedece a la ley de conservación de flujo, ecuación 1.4.

$$Q = A v \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Donde A es el área transversal del flujo en m² y v la velocidad del flujo en m/s, y el caudal se obtendrá en m³/s.

La relación entre fuerzas de inercia y viscosas se calcula con el número de Reynolds, ecuación 1.5.

$$\text{Re} = \frac{\rho v d}{\mu} \quad \text{Ecuación 1.5}$$

Donde ρ es la densidad en Kg/m³; v es la velocidad del fluido en m/s; d es el diámetro equivalente del ducto en m; y μ la viscosidad dinámica en Pa·s. Para un régimen laminar, $\text{Re} < 2000$; el régimen de transición se llevará a cabo cuando $2000 < \text{Re} < 20000$; mientras que para régimen turbulento, $\text{Re} > 20000$.

1.3.3 El Motor de motocicleta.

Descripción.

El motor de combustión interna es una máquina térmica que transforma la energía química del combustible (gasolina) en trabajo mecánico. El motor de una motocicleta, generalmente enfriado por aire, es encendido por chispa y su fluido de trabajo es una mezcla de aire-combustible.

Partes del motor.

El motor de una motocicleta está compuesto por la culata o cabezote y el bloque (Figura 1.3).

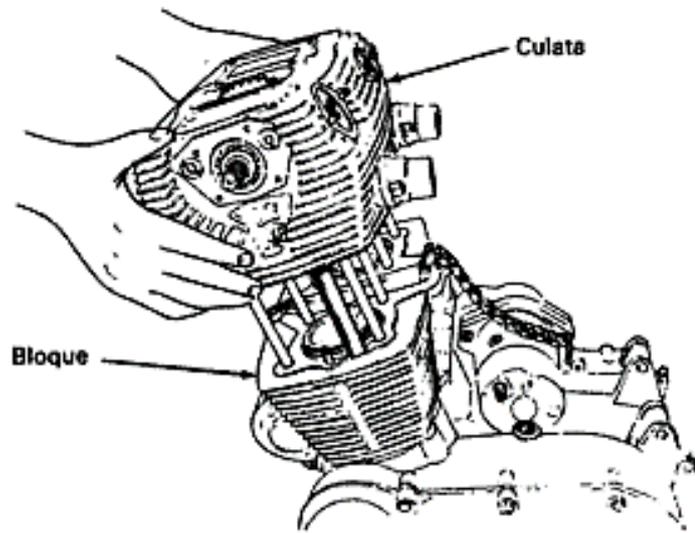


Figura 1.3 Esquema del motor de una motocicleta

Fuente: Crouse, 1992

En el cabezote se aloja la bujía, las válvulas de admisión y descarga, así como las conexiones al carburador y al sistema de evacuación de los gases; en cambio, el bloque del motor contiene en su interior al cilindro, y en el exterior se encuentran distribuidas las aletas que sirven para enfriar el motor con el flujo de aire, como se muestra en la Figura 1.4.

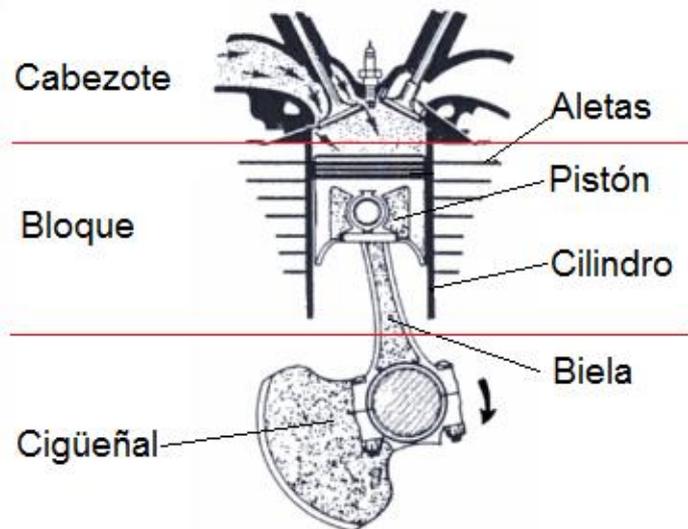


Figura 1.4 Partes del motor de una motocicleta

Fuente: Crouse, 1992

Dentro del cilindro se encuentra el émbolo o pistón, que tiene la libertad de moverse, de manera lineal, de arriba a abajo y viceversa; aquí, la energía que se libera luego de la ignición de la mezcla aire-combustible provoca que los gases de combustión empujen al pistón hacia abajo junto con la biela, este movimiento hace que el cigüeñal gire, moviendo un sistema de engranajes o caja de transmisión para finalmente, mediante una cadena, hacer rotar el neumático trasero de la motocicleta.

1.3.4 Material del bloque

Un factor de influencia para el buen desempeño del bloque es su material. Actualmente, los motores de vehículos livianos se fabrican de aleaciones de aluminio debido a la buena relación resistencia-peso que poseen, esta ventaja se ve implementada en los bloques de motor de motocicleta, como se puede apreciar en la Figura 1.5.



Figura 1.5 Bloque de aluminio de un motor de 200 cc

Fuente: Elaboración propia

El aluminio y sus aleaciones constituyen el segundo material con mayor demanda para fines industriales debido a sus propiedades. A diferencia de las aleaciones

ferrosas, el aluminio resiste el tipo de corrosión que en los aceros causa una degradación progresiva. La superficie expuesta del aluminio se combina con el oxígeno del aire formando una capa protectora de óxido de aluminio, que se adhiere sólidamente al metal, esta capa bloquea y evita una oxidación posterior.

El aluminio, en conjunto con elementos aleantes, y tratado de manera apropiada es capaz de resistir diferentes medios corrosivos; de esta manera, y en combinación con su bajo peso, favorece al desarrollo de estructuras ligeras y resistentes, como lo son los fuselajes de los aviones, carrocerías y piezas automotrices.

Las aleaciones de aluminio se dividen en dos categorías, las cuales son aleaciones de aluminio para moldeo o también llamadas *casting alloys*, y aleaciones de aluminio para conformado o *wrought alloys*. Se debe mencionar que para la realización de este proyecto se enfoca únicamente en las designaciones correspondientes para *casting alloys*. Las designaciones para las aleaciones de aluminio se presentan en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Sistema de designación

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

Fuente: ASM, 1992

Una de las aleaciones de amplio rango de uso y en la que se basará el desarrollo de este proyecto son las aleaciones con designación 3XX.X las cuales corresponden a aleaciones de aluminio silicio con adición de cobre. Este tipo de aleaciones tiene como principal elemento aleante al silicio, el cual otorga resistencia a la corrosión y aumento en la dureza superficial, esto último es de vital importancia en la vida útil de la camisa del bloque del motor, la cual es sometida de manera constante a fuerzas de fricción. A continuación, se muestra el diagrama de fase del aluminio silicio (Figura 1.6).

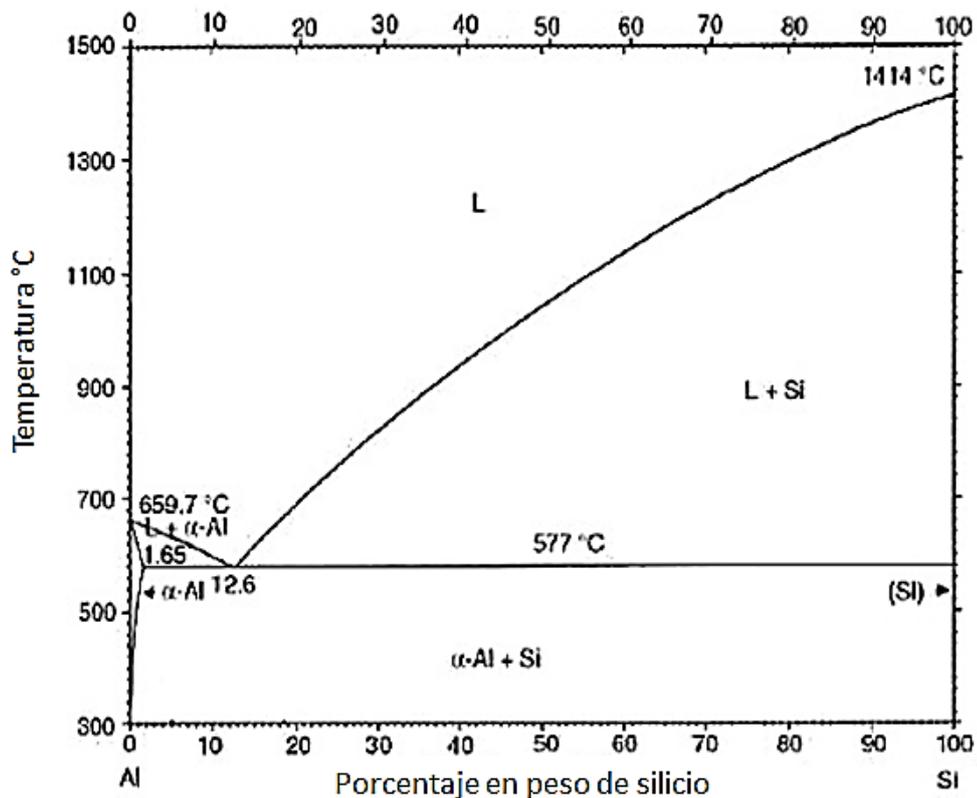


Figura 1.6 Diagrama de fase Aluminio Silicio

Fuente: ASM, 1992

De acuerdo al contenido de silicio, la aleación se clasifica en hipoeutectoide, eutectoide e hipereutectoide. Se denomina aleación hipoeutectoide aquella en la que el contenido de silicio es inferior al 12%; aquellas en que el contenido es igual al 12% se denominan aleaciones eutectoides, y finalmente aquellas que superan el 12% de contenido de silicio son denominadas aleaciones hipereutectoides.

1.3.5 Herramienta computacional

Debido a que los procesos de fundición son muchas veces complejos, se ha requerido de la ayuda de programas computacionales que permitan realizar simulaciones de este tipo de técnicas de manufactura. Es por esto que, desde los años 40 se ha utilizado el método de diferencias finitas, estrictamente limitados para geometrías simples. Sin embargo, al tener formas más complicadas, se debe hacer uso del método de volúmenes finitos, que ha servido de base para el desarrollo de una variedad de programas comerciales.

En este proyecto se utilizará la herramienta MAGMASOFT. Este programa, basado en el método de volúmenes finitos, está netamente dedicado a modelar procesos de fundición, partiendo de un modelo en 3D generado en un software CAD. Asimismo, se usará Autodesk Inventor, cuya geometría será importada en una extensión **.stl**, que es compatible con MAGMASOFT; luego de cargar el sólido, es necesario definir todos los componentes del sistema de fundición, generar el molde, definir las entradas del metal derretido, y su respectiva altura de vertido.

Luego de haber definido cada componente del sistema, se procederá a generar el mallado (es decir, dividir la geometría en elementos discretos o finitos). Según el manual de entrenamiento para usuarios de MAGMASOFT (MAGMA, 2015), una buena malla debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. La malla no debe distorsionar significativamente el sólido en ninguna zona, en especial las regiones curvas.
2. Cuando se genere la malla se debe revisar que las partes más delgadas del sólido contengan al menos dos o de ser posible tres elementos.

Realizados los pasos mencionados anteriormente, el software estará listo para ejecutar la simulación; para modelar el flujo utiliza una rutina simple, dentro del dominio discretizado, generará una función F , en donde calculará la porción de celda ocupada por el fluido, como se observa en la Figura 1.7, y su resultado puede ser

$F = 1$, $0 < F < 1$ y $F = 0$; indicando una celda llena, superficie vacía o celda vacía, respectivamente. (ASM, 1998)

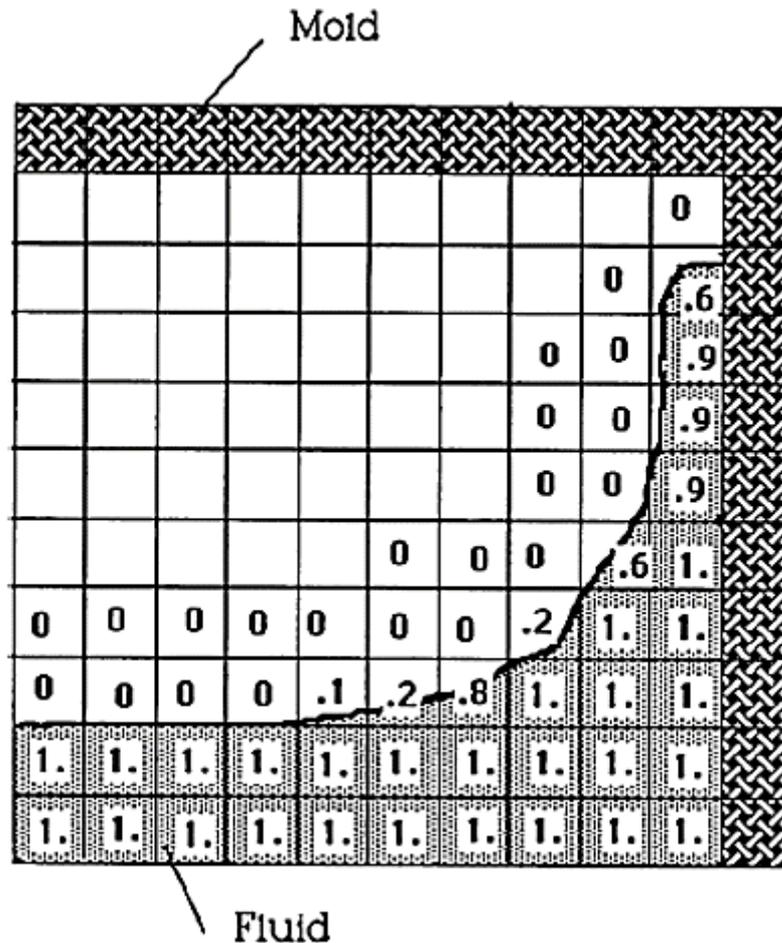


Figura 1.7 Modelado del dominio de flujo

Fuente: ASM, 1998

El proceso mencionado permite determinar la localización del flujo en todo instante; sin embargo, para determinar la dirección y rapidez del mismo, utilizará dos ecuaciones fundamentales de la mecánica de fluidos, la de conservación de masa (Ecuación 1.6), y las ecuaciones de Navier-Stokes (Ecuaciones 1.7, 1.8 y 1.9), en la dirección x-y-z, respectivamente; es aquí donde, con el fin de ahorrar recursos computacionales, el programa separa cada componente del sistema de fundición de acuerdo a la dirección dominante del flujo; por ejemplo, en un corredor cuyo flujo es netamente unidireccional, el programa modelará su flujo con la Ecuación 1.6,

mientras que la cavidad del molde, o el bebedero, al no tener una dirección de flujo dominante, utilizará las Ecuaciones 1.7, 1.8 y 1.9.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \text{Ecuación 1.6}$$

Donde u, v, y w serán las componentes de velocidad en las direcciones x-y-z.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + g_x \quad \text{Ecuación 1.7}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + g_y \quad \text{Ecuación 1.8}$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + g_z \quad \text{Ecuación 1.9}$$

Donde t es tiempo; p es el cociente entre presión y densidad; ν es la viscosidad cinemática; g es la aceleración de la gravedad; aquí u, v, w, x, y, z, tienen las mismas representaciones que en la Ecuación 1.6.

En cuanto a los modos de transferencia de calor durante la fase de llenado, predominará la convección forzada; una vez lleno el molde, el metal líquido quedará en reposo, entonces el calor se transmitirá por conducción. La ecuación general de la energía (Ecuación 1.10), modelará estos fenómenos.

$$\text{divergencia} \left[k(T) \overrightarrow{\text{grad}} T(\vec{x}, t) \right] + \dot{Q} = \rho C_p(T) \frac{\partial T(\vec{x}, t)}{\partial t} \quad \text{Ecuación 1.10}$$

Donde $T(\vec{x}, t)$ es el campo de temperatura; $k(T)$ es la conductividad térmica; $\rho C_p(T)$ es el calor específico volumétrico, y \dot{Q} es el calor liberado en el cambio de fase.

Al igual que en el análisis de flujo, el programa cuenta con modelos matemáticos para la transferencia de calor en figuras comunes, como cilindros, esferas, o cubos, con esto se logra reducir el uso de recursos computacionales.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

2.1 Enfoque

Habiendo definido los conceptos básicos, se procederá a desarrollar la metodología del diseño del nuevo bloque, esto consiste en realizar la desagregación tecnológica de un bloque existente, presentar las alternativas para mejorar el componente y seleccionar una de ellas mediante una matriz de decisión. Luego se procederá a estructurar el proceso de diseño, para finalmente presentar el diseño de forma y el diseño detallado del sistema de fundición de la pieza.

Se parte de una pieza original, un bloque de aluminio el cual cuenta con un inserto de camisa de hierro fundido gris, como se muestra en la Figura 2.1.



Figura 2.1 Vista superior del bloque

Fuente: Elaboración propia

La función principal de la camisa es resistir las fuerzas de fricción que se generan debido al movimiento del pistón, esto gracias a la elevada dureza que presenta este tipo de fundiciones de hierro.

Entre las características más importantes de este conjunto se tiene el peso, conductividad térmica y la resistencia al desgaste, entre otras que se definirán más adelante; todas estas características dependen del tipo de fabricación del bloque del motor de motocicleta, que esencialmente consiste en vaciar la aleación de aluminio fundido alrededor de la camisa de hierro para obtener un alto grado de adhesión en la interfaz bloque-camisa, aunque esta región puede dar cabida a problemas de adhesión y desplazamientos entre los dos materiales debido a las cargas que aquí se generan (Morales, 2003).

Para estudiar detalladamente la construcción del bloque, se llevará a cabo la denominada desagregación tecnológica, es decir, se realizará una serie de análisis al producto extranjero, para determinar sus propiedades.

2.1.1 Desagregación Tecnológica

Este proyecto plantea mejorar las características del elemento extranjero, para esto se propone pasar de un bloque de aluminio con inserto de camisa de hierro gris, a un producto modificado que ofrezca iguales o mejores propiedades que el conjunto anterior. Para lograrlo se debe realizar análisis químico, metalográfico y de dureza, los cuales darán a conocer el porcentaje de los elementos aleantes y la microestructura, respectivamente.

Para la realización de estos ensayos se debe obtener muestras del bloque. Para esto, se realiza un proceso de corte a determinadas secciones, las cuales serán orientadas a ser las probetas sometidas a las pruebas mencionadas.

Análisis Químico.

Para la realización del análisis químico se debe adecuar la probeta que se va a analizar, de tal manera que su espesor no sea menor que 1 mm, no obstante, la superficie a analizar debe ser completamente plana; luego se inserta el conjunto especificado en el interior de la máquina de análisis. Una vez programada, se debe esperar los datos generados, los cuales reflejarán el contenido de los elementos aleantes en cantidades porcentuales. Se debe mencionar que este análisis se puede realizar a

la par con el análisis metalográfico, haciendo uso de una probeta diferente. El ensayo se hizo en concordancia con la norma ASTM E1251.

Análisis Metalográfico.

El análisis metalográfico consiste básicamente en revelar la microestructura de la aleación. El ensayo consta de 3 partes: desbaste grueso y fino, pulido final y ataque químico; los cuales son procedimientos necesarios para que la microestructura quede expuesta al momento de ser observada haciendo uso del microscopio.

El desbaste grueso consiste en la abrasión de la superficie de la probeta haciendo uso de papel abrasivo de Carburo de Silicio, con tamaños que van desde los 250 hasta 400 granos por pulgada cuadrada; con esto se asegura la remoción de material deformado durante el proceso de corte y de la capa superficial que cubre el material que será examinado, obteniendo una superficie plana con pequeñas deformaciones que pueden ser eliminadas mediante el desbaste fino. El desbaste fino es el proceso en el cual se eliminan las imperfecciones como rayaduras en la superficie, producto del proceso anterior. Se realiza haciendo uso de papel abrasivo de carburo de silicio empezando con un tamaño de 500 hasta 2400 granos por pulgadas cuadradas. Se debe mencionar que para los dos procesos ya mencionados se utiliza agua como lubricante (ASM, 1992).

Existe varios métodos para el pulido metalográfico; sin embargo, los dos más comunes son el pulido mecánico y el pulido electrolítico. Para la realización de este proyecto se utilizará el método de pulido mecánico. Los objetivos del pulido mecánico son remover los residuos y las deformaciones de material producto del desbaste fino, y obtener una superficie especular plana. Como abrasivos para este proceso se encuentran los que son a base de diamante y los que son a base de óxidos. Para realizar este procedimiento se usa como abrasivo pasta de diamante de 1 micra.

El pulido se lleva a cabo colocando el abrasivo sobre un paño de lana adherido al disco de la máquina de pulido; después se enciende la máquina y se acerca con firmeza la superficie de la probeta a pulir e inmediatamente se agrega el lubricante a

base de alcohol, para este caso se usa etanol. Para culminar este proceso, se lava la superficie de la probeta con agua, adicionalmente se agrega etanol con la finalidad de que la superficie quede completamente seca.

Posterior al proceso de pulido mecánico se realiza el ataque químico; este procedimiento consiste en agregar, a la superficie pulida, un reactivo químico el cual revela su microestructura. De esta manera, se puede apreciar las fases existentes en la aleación haciendo uso del microscopio.

Ensayo de Dureza.

Para la realización del ensayo de dureza se debe tener en cuenta que las superficies de la probeta deben ser completamente paralelas entre sí. El ensayo inicia colocando la probeta en una superficie firme y plana, sin rugosidad alguna que pueda provocar la inclinación de la probeta; la superficie de apoyo debe evitar vibraciones, ya que para el desarrollo de este proyecto se utilizará un durómetro portátil de impacto.

Posteriormente, se coloca sobre la superficie de la probeta el dispositivo de impacto haciendo uso del anillo de apoyo, seguido se carga el dispositivo y se presiona su único botón, el cual libera la esfera de impacto. Se repite el procedimiento 3 veces en diferentes lugares de la probeta. Al finalizar, el dispositivo electrónico otorga el promedio de las 3 mediciones con opción a visualizar a diferentes escalas de dureza.

Luego de haber analizado las propiedades del bloque, se procederá a plantear las alternativas de diseño. A continuación, se enlistan y se justifican las alternativas planteadas.

2.1.2 Alternativas de diseño.

Se proponen tres alternativas de diseño para mejorar las propiedades del bloque, estas son:

Alternativa 1

Mantener la camisa de hierro fundido gris y el bloque de aluminio, con una variación en la microestructura de este, con el objetivo de incrementar la resistencia al desgaste, sin modificar el proceso de fabricación.

Alternativa 2

Reemplazar la camisa de hierro gris, por una de aluminio fundido, con esto se espera reducir el peso de la pieza, en esta situación se mejoraría la microestructura de la camisa, además se obtendrá mejores características térmicas.

Alternativa 3

Fabricar el bloque y la camisa de manera que resulte un solo cuerpo fundido, a este tipo de producto se lo denomina motor sin camisa, que con las modificaciones necesarias a la microestructura del aluminio se espera reducir el peso de la pieza, mejorar sus características térmicas, mecánicas y simplificar el proceso de manufactura.

Después de haber establecido las alternativas, se procederá a calificarlas, para esto es necesario especificar las características que afectan el desempeño del bloque, las cuales se tomarán en cuenta en la elaboración de la matriz de ponderación. Estas características se muestran a continuación:

1. El **Peso del bloque** es importante debido a que el incremento del mismo aumenta la inercia del conjunto, disminuyendo así la eficiencia en consumo de combustible y su desempeño en el camino.
2. La **resistencia al desgaste**, es la capacidad que tiene el material para evitar la erosión en su superficie, producto de contactos o fricción. Es necesario que la parte interna de la camisa resista las fuerzas generadas por el pistón.

3. El **costo de fabricación** es un factor decisivo si se planea la producción en masa de la pieza, se debe seleccionar el proceso con menor tiempo y costo de manufactura para optimizar recursos.

4. La **Conductividad térmica** es la capacidad que tiene un material para transferir calor de un medio a otro. Si se logra obtener una tasa elevada de transferencia de calor incrementando la conductividad térmica, se logrará disminuir el sobrecalentamiento de los componentes, tales como el pistón y el cilindro.

5. La **Maquinabilidad** es la facilidad que otorga un material al trabajo de mecanizado en su superficie. Se toma en cuenta esta característica debido a que el bloque después de un tiempo de servicio deberá ser rectificado, es decir que se desbastará la superficie interna de la camisa para recuperar la uniformidad de la superficie.

En la Tabla 2.1 se muestra la matriz de ponderación de las características mencionadas, aquí se calificará el valor de cada una con respecto a otra, definiendo así su nivel de importancia; este resultado servirá como límite superior en la calificación de cada alternativa de diseño dentro de la matriz de decisión, en donde se seleccionará la más puntuada.

Tabla 2.1 Matriz de ponderación para las características del bloque

	Peso	Costo de fabricación	Resistencia al desgaste	Conductividad térmica	Maquinabilidad	Total	Ponderación (%)
Peso		1	2	1	3	7,0	23
Costo de fabricación	1		2	2	2	7,0	23
Resistencia al desgaste	0,5	0,5		1	4	6,0	20
Conductividad térmica	1	0,5	1		4	6,5	22
Maquinabilidad	1	0,5	1	1		3,5	12
Total						30,0	100

Fuente: Elaboración propia

Obtenidas las calificaciones de cada variable en la matriz de ponderación, se procede a seleccionar la mejor alternativa en la matriz de decisión mostrada en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Matriz de decisión para las alternativas de diseño del bloque

Alternativa Parámetros	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Peso (23 %)	19	22	22
Costo (23 %)	17	20	22
Resistencia (20 %)	19	17	18
Conductividad térmica (22 %)	18	20	21
Maquinabilidad (12 %)	10	11	11
Total	83	90	94

Fuente: Elaboración propia

En la alternativa 1, el bloque de aluminio con camisa de hierro gris, tiene una gran resistencia superficial, su fabricación requiere del inserto de la camisa en el molde antes de verter la colada de aluminio. El uso de una camisa de hierro gris dentro del bloque incrementa el peso total de la pieza y disminuye la transferencia de calor hacia la parte externa del bloque, esto debido a que su conductividad térmica es menor que la del aluminio; no obstante, requiere de un proceso de fabricación relativamente complejo.

En la alternativa 2, el bloque de aluminio con inserto de camisa de aluminio presenta una reducción de peso y aumento en la conductividad térmica. Aún con todas estas mejoras, el proceso de fabricación es básicamente el mismo que del bloque con camisa de hierro gris, ya que es necesario el inserto de la camisa de aluminio antes del vertido de la colada, por lo que su proceso de fabricación no presenta mejoras en comparación con el proceso original.

En la alternativa 3, el bloque de aluminio sin camisa, es la alternativa de diseño con mayor puntuación, con esta alternativa, se reduce significativamente el peso. Al ser

puramente de aluminio, aumenta de la conductividad térmica, se facilita la manufactura debido a que se funde toda la pieza en lugar de insertar una camisa antes del vaciado de la colada de aluminio; además, se suprimen los problemas en cuanto a la adhesión y deslizamiento entre la camisa y el bloque debido a las cargas que se generan por el pistón, estos efectos han sido estudiados por Morales, 2003.

2.1.3 Proceso del Diseño.

A continuación, en la Figura 2.2 se plantean los pasos necesarios para la ejecución de este proyecto.

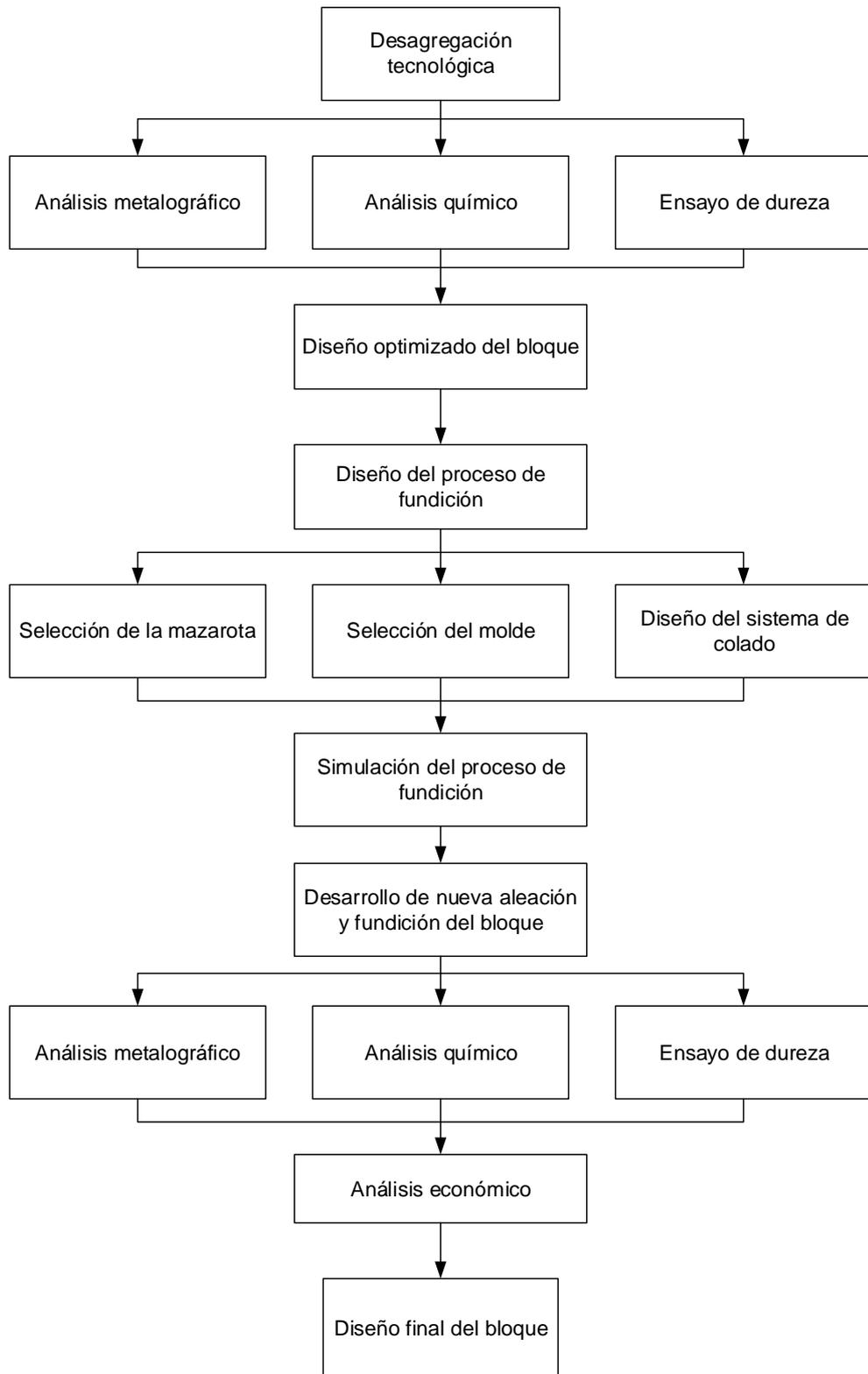


Figura 2.2 Flujograma del proceso de manufactura de un bloque de motor de motocicleta

Fuente: Elaboración propia

Como se describe en el proceso de diseño de la Figura 2.2, luego de realizar la desagregación tecnológica, con los respectivos análisis, se inicia la fase del diseño del proceso de fundición, seguido de la manufactura de la pieza; finalmente se realizará un breve análisis económico del proceso, con el objetivo de cuantificar las ventajas que presenta la fabricación de piezas a nivel nacional, respecto a la importación de las extranjeras.

A partir de ahora se analizará el proceso de diseño del sistema de colado del bloque de la Figura 2.3, el cual empezará por el diseño conceptual que se detalla a continuación.

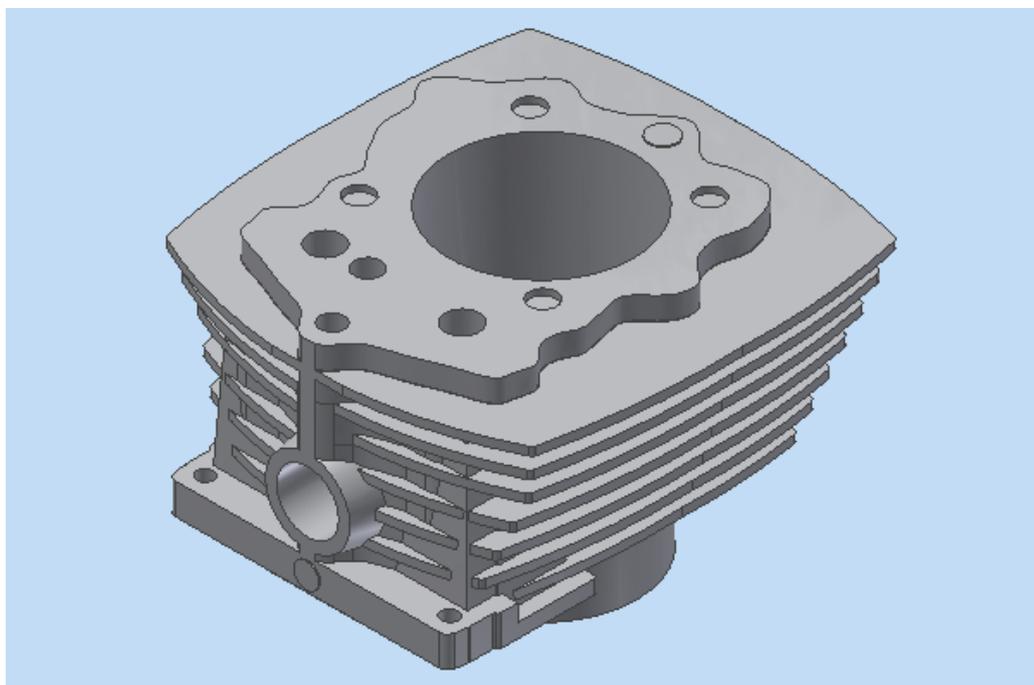


Figura 2.3 Vista isométrica del bloque de motor de 200 cc de una motocicleta

Fuente: Elaboración propia

2.2 Diseño conceptual del sistema de colado

En esta sección se detalla el diseño de forma del sistema de colado para la fundición de aluminio. Como se muestra en la Figura 2.4, el sistema de colado está compuesto por la copa de vaciado, donde se descargará el aluminio derretido; luego descenderá por el bebedero, el cual debe reducir su área transversal a medida que desciende la

colada de aluminio, a fin de compensar el aumento en la velocidad para evitar aspiraciones de gases, se verterá la colada de aluminio a una determinada temperatura de sobrecalentamiento para aumentar la fluidez de la colada. En la base del bebedero será necesario el uso de una expansión para suavizar el cambio brusco en la dirección del movimiento del flujo hacia los corredores, los corredores tendrán sección cuadrada, minimizando las pérdidas por fricción entre el aluminio y las paredes del corredor; por cada cambio de dirección en la velocidad de la colada de aluminio se colocará un incremento en el área del corredor, con el fin de desacelerar el flujo y mantenerlo lo más cerca al régimen laminar, lo cual se logrará si el número de Reynolds es menor o igual a 2000 o en su defecto, en régimen de transición $2000 < Re < 20000$, según ASM, 1998. Finalmente, el sistema de colado deberá conducir el aluminio derretido hacia la mazarota, que será la última en llenarse, puesto que debe mantener al aluminio en estado líquido después de que la pieza se haya solidificado, y su ubicación se definirá luego de detectar los puntos calientes y con mayor probabilidad de rechupe.

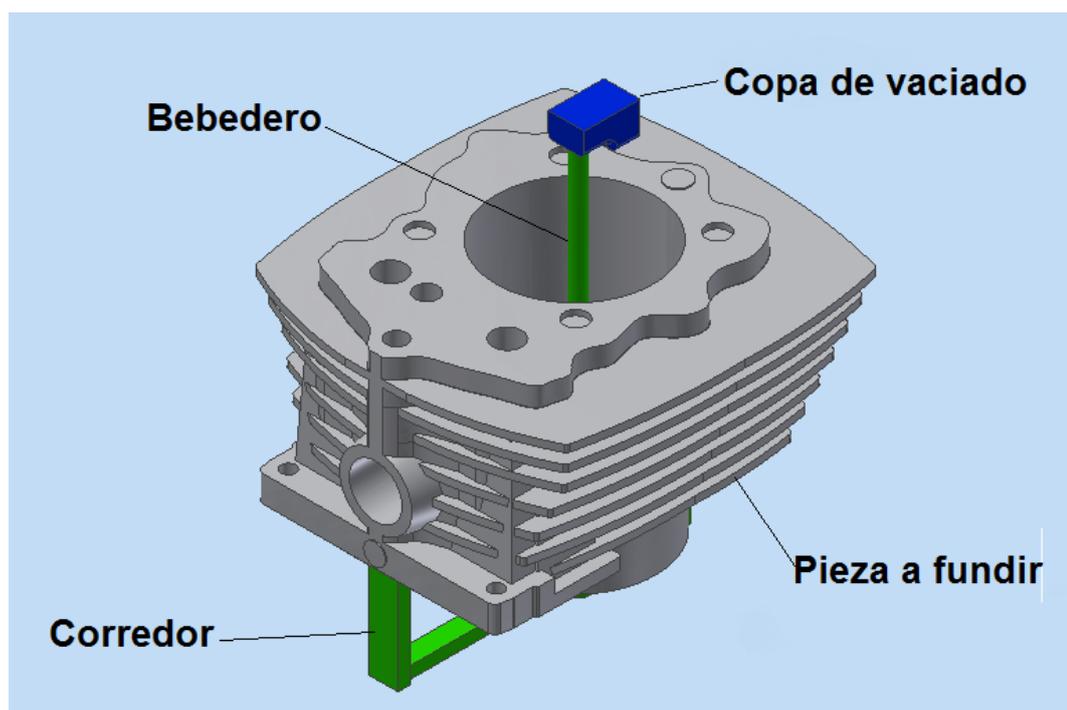


Figura 2.4 Diseño de forma del sistema de llenado para la fundición del bloque

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2.5, se muestra una vista seccionada del sistema de colado. Se ha seleccionado la orientación de llenado de forma ascendente, de manera que el ascenso de la colada no genere turbulencia en la zona de las aletas de enfriamiento del bloque; además, el conducto del bebedero se ubicó en el centro de la camisa con el fin de reducir el recorrido de la colada de aluminio, hasta cada extremo de la pieza.

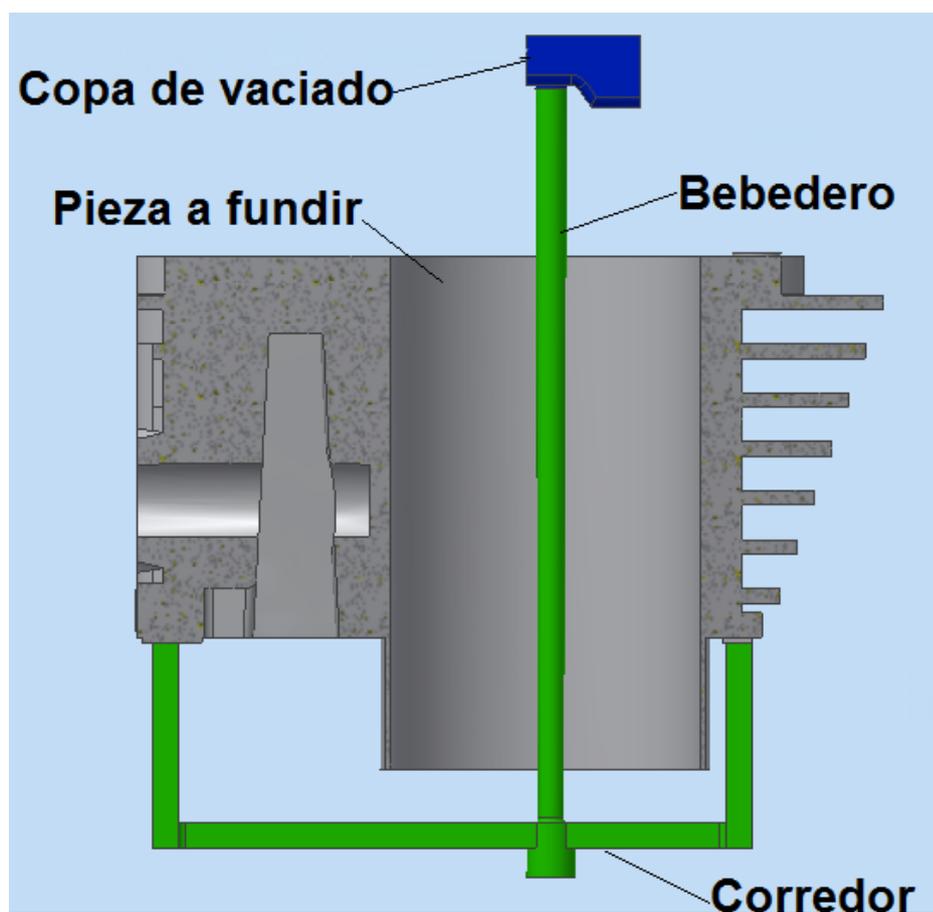


Figura 2.5 Vista seccionada del sistema de llenado para la fundición del bloque

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.6 se muestra una vista en sección del bloque. Se puede observar que una zona crítica en el proceso de fundición serán las que presenten un espesor pequeño, lo que podría generar problemas de enfriamiento prematuro, falta de llenado o zonas de atrapamiento de aire. En la Figura 2.6, la pared del cilindro que se señala como zona de mínimo espesor, tiene 1 mm, será la región donde se debe tener un buen control de las propiedades de la colada, seguido de las aletas de enfriamiento que cuentan con un espesor de, aproximadamente, 3 mm.

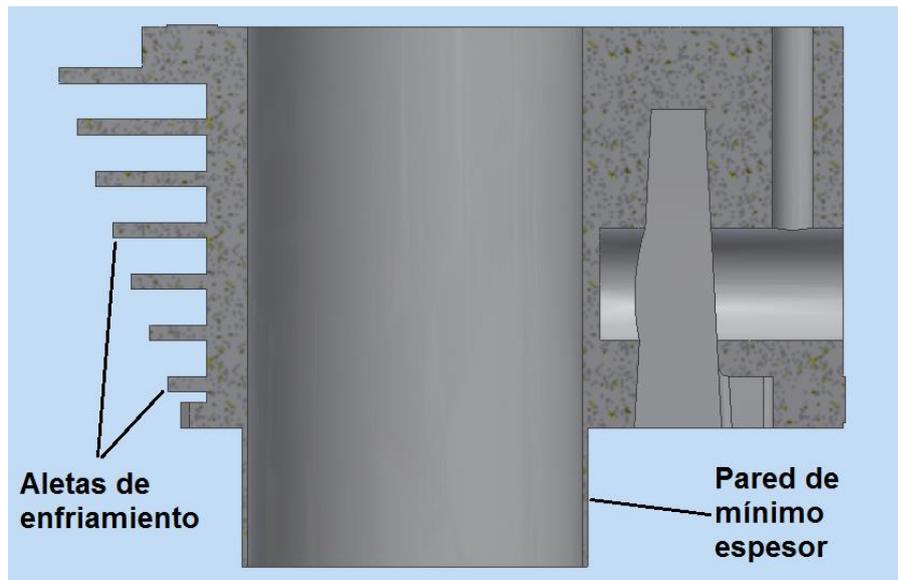


Figura 2.6 Vista seccionada del bloque de aluminio

Fuente: Elaboración propia

Para evitar problemas de solidificación prematura, será necesario alcanzar temperaturas de sobrecalentamiento adecuadas, con lo cual se logrará un correcto llenado de la cavidad del molde.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

En este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos del proceso de desagregación tecnológica y de diseño del sistema de llenado o colado de la pieza a fundir, utilizando las ecuaciones mencionadas en el Capítulo 1; se presentan los resultados de la simulación del proceso de fundición, y finalmente los resultados de los ensayos de dureza, metalografía y análisis químico para el prototipo diseñado.

Para la ubicación de la mazarota, se realizaron simulaciones del proceso de fundición, en las cuales se pudo apreciar resultados de la velocidad de llenado, la variación de la temperatura en la pieza fundida y la formación de puntos calientes y porosidades en la misma. Luego de obtener estos parámetros, se puede saber con certeza la ubicación donde se aprovechará de mejor manera la función de la mazarota.

3.1 Resultados de los análisis realizados al bloque original.

Se registró el peso del bloque original con la finalidad de determinar la cantidad de metal necesario para la fabricación de un bloque. Se tiene que el peso es:

$$W_{\text{bloque}}=1.623 \text{ kg}$$

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados a una probeta obtenida del bloque original.

3.1.1 Resultados del análisis químico al bloque original.

Para llevar a cabo este análisis se utilizó el espectrómetro de emisión atómica LECO GDS500A, el cual utiliza una técnica de descarga luminiscente. Al colocar la probeta en el dispositivo de vacío, el GDS500A emite una descarga de luz en una atmósfera de iones de Argón, esto hace que el material se pulverice de manera uniforme en la

superficie. El equipo realiza un análisis de la longitud de onda del material pulverizado, de esta manera se obtiene la composición química de todo el material.

Como resultado de este ensayo, se obtuvo la siguiente composición de elementos aleantes en cantidades porcentuales.

Tabla 3.1 Composición química porcentual (%) del bloque original

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
11.8	0.842	1.83	0.165	0.18	0.831	0.031

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 3.1, la composición química del bloque original corresponde a una aleación aluminio silicio eutéctica, ya que su contenido porcentual de silicio es aproximadamente 12%.

3.1.2 Resultados del ensayo metalográfico al bloque original.

Para la realización de este ensayo se llevó a cabo el procedimiento explicado en el Capítulo 2, utilizando para el ataque químico el Reactivo de Keller. El manual ASM Volumen 9 muestra la composición cuantitativa de dicho reactivo para obtener 1000 ml; sin embargo, en el presente trabajo solo se preparó un volumen de 200 ml, cuya combinación se especifica a continuación (Tabla 3.2).

Tabla 3.2 Composición química del reactivo de Keller (200 ml)

Componente	Cantidad (ml)
H ₂ O	190
HNO ₃	5
HCl	3
HF	2

Fuente: ASM, 1992

El tiempo de acción del reactivo en la superficie de la probeta fue de aproximadamente 3 segundos, posteriormente se realizó el respectivo lavado de la superficie con agua y el secado con un paño procurando, no generar fricción con la superficie. Inmediatamente, la probeta fue colocada en el microscopio, con el cual se pudo apreciar la microestructura expuesta de la aleación del bloque de muestra. Se presenta a continuación, en la Figura 3.1, la microestructura revelada.

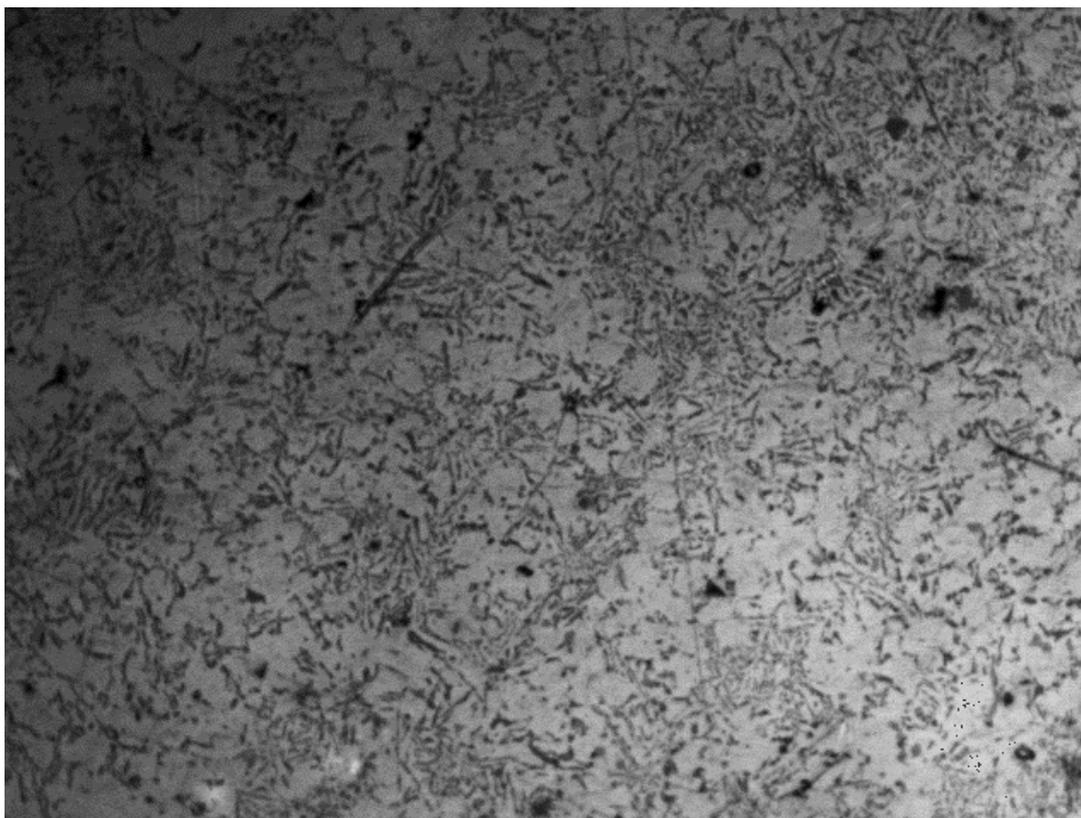


Figura 3.1 Micrografía del bloque original, x50. Ataque con Keller

Fuente: Elaboración propia

Se pudo observar la presencia de silicio eutéctico (constituyente gris), en la matriz de aluminio, esta es la razón por la cual este tipo de bloques de motocicletas usan camisa de hierro fundido, ya que una aleación de aluminio silicio eutéctico otorga baja resistencia al desgaste.

Según Kaufman, 2004, las aleaciones de aluminio fundido más utilizadas para fabricar bloques de motores livianos, como los de motocicletas y automóviles, corresponden a las series hipereutécticas, como la 390, 392 y 393, las cuales presentan resistencia a elevadas temperaturas, alto grado de resistencia al desgaste, baja expansión térmica, resistencia a la corrosión, y puede ser fabricada en moldes permanentes o desechables.

Este proyecto está orientado a la obtención de una aleación aluminio silicio similar a la serie hipereutéctica A390.0, con la finalidad de obtener las características mencionadas.

3.1.3 Resultado del ensayo de dureza a la pieza original.

El ensayo de dureza fue realizado haciendo uso de un durómetro portátil digital de impacto denominado Leeb Hardness Tester MH310. Antes de proceder con cualquier ensayo, se realizó la respectiva calibración del equipo haciendo uso de un patrón de calibración propio de la unidad, como se puede apreciar en la Figura 3.2.



Figura 3.2 Calibración del durómetro Leeb Hardness Tester MH310

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizada la calibración, se procedió con un primer ensayo sobre la probeta de aluminio, en el cual se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Ensayo de dureza de una probeta de la pieza original

Medición	Dureza Brinell
1	89
2	73
3	65

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo valores muy alejados entre sí, esto ocurrió debido a que la probeta al ser pequeña, genera vibraciones cuando la esfera de impacto rebota sobre la superficie de la misma. Como solución a este inconveniente se realizó un segundo ensayo en el bloque original, ya que al ser de mayor dimensión absorbe las vibraciones generadas debido al impacto, esto se puede apreciar en la Figura 3.3.



Figura 3.3 Ensayo de dureza en bloque original

Fuente: Elaboración propia

Ubicando el dispositivo de impacto en una de las partes más rígidas del bloque se procedió con el ensayo; se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Ensayo de dureza en bloque original

Medición	Dureza Brinell
1	84
2	81
3	80

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del segundo ensayo de dureza, se obtuvo valores muy cercanos entre sí, teniendo la dureza un valor promedio de 82 HB.

3.2 Diseño del sistema de colado

Para realizar el diseño del sistema de colado, es necesario tener en cuenta las propiedades del material con el cual se trabaja, en este caso el aluminio. Estos valores se muestran a continuación en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Propiedades del Aluminio

Densidad (ρ)	2710 Kg/m ³
Calor específico en estado sólido (C_s)	0.897 kJ/kg °C
Temperatura de fusión (T_m)	659 °C
Temperatura inicial del metal (T_0)	30 °C
Calor latente de fusión (H_f)	394 kJ/kg
Calor específico en estado líquido (C_l)	1.28 kJ/kg °C
Temperatura de sobrecalentamiento (T_p)	750 °C
Aceleración de la gravedad (g)	9.81 m/s ²
Viscosidad dinámica (μ)	1.235 x10 ⁻³ Pa·s

Fuente: Kaufman, 2004

Haciendo uso de la Ecuación 1.1, se obtiene la energía necesaria para llevar al aluminio desde el estado sólido al líquido, para posteriormente ser vertido en un molde, por lo tanto, se tiene que:

$$H=(2710) (5.59*10^{-4}) \{(0.897) (659-30)+394+(1.28) (700-659)\}$$

$$\mathbf{H = 1531.1 \text{ kJ}}$$

En la Figura 3.4 se presentan las dimensiones del bloque original, estas servirán como punto de referencia para dimensionar el sistema de colado.

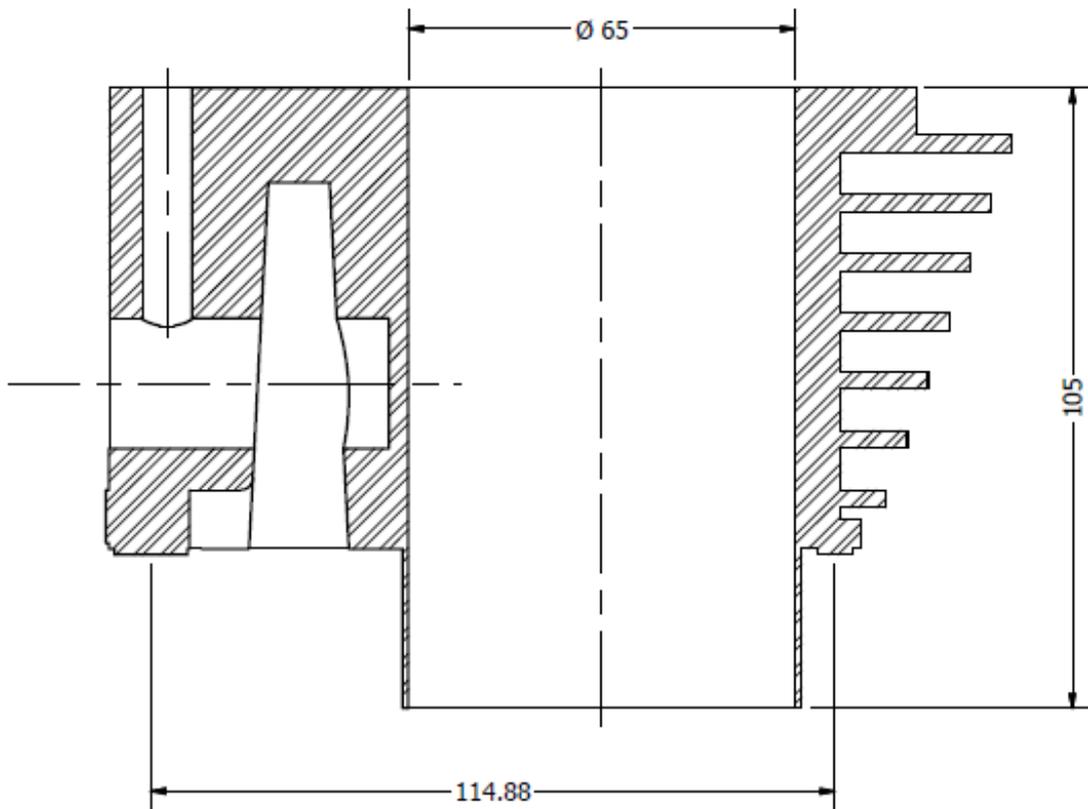


Figura 3.4 Dimensiones del bloque

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3.6 se muestran los valores de volumen y área superficial del bloque, los cuales son de mucha utilidad para cálculos posteriores.

Tabla 3.6 Datos del bloque de motor de motocicleta, 200 cc.

Volumen del bloque (V)	$5.59 \times 10^{-4} \text{ m}^3$
Área superficial total del bloque (A_T)	0.19 m^2

Fuente: Elaboración propia

Para determinar la velocidad con la que el aluminio fundido cae desde la parte superior del sistema de colado, se emplea la ecuación 1.3, aquí la altura de vertido será 160 mm, como se muestra en la Figura 3.5, esta altura tiene un excedente de 45 mm respecto a la altura del bloque de la Figura 3.4, ya que es necesario dejar un

espacio extra para la colocación de la mazarota y para las paredes del molde de arena.

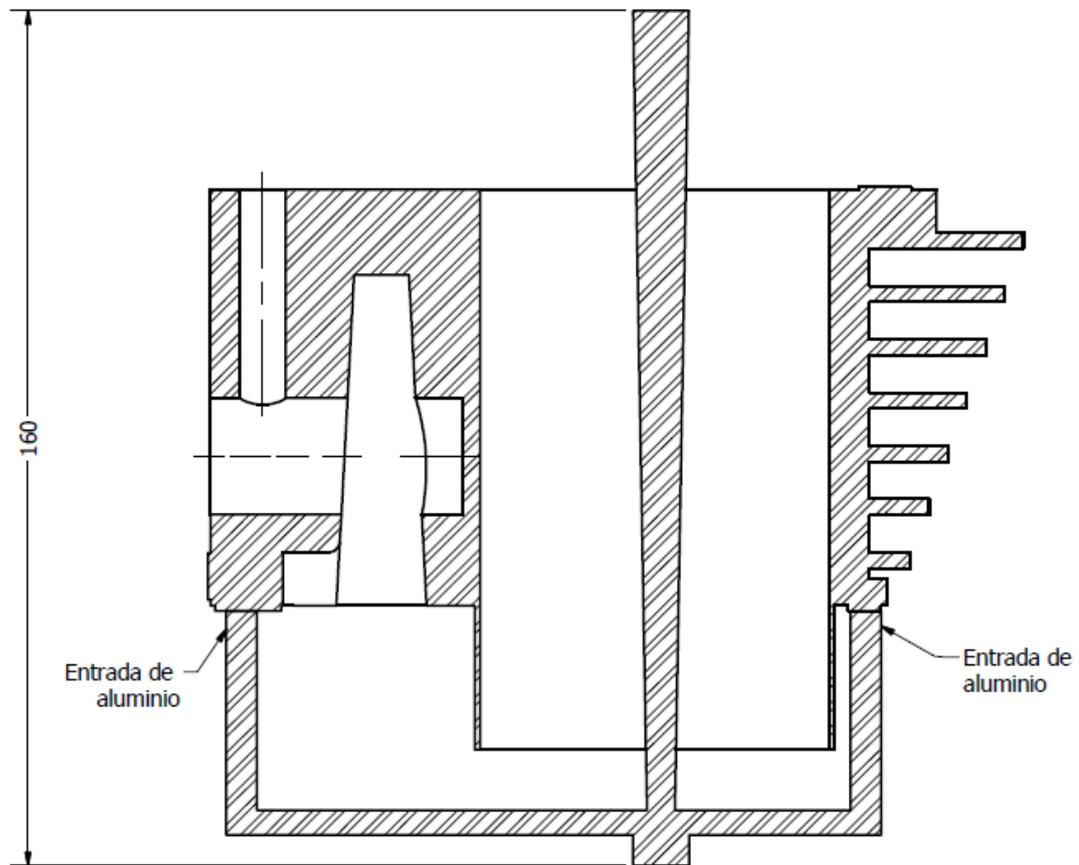


Figura 3.5 Vista en corte del sistema de colado de aluminio

Fuente: Elaboración propia

Reemplazando los valores en la ecuación 1.3, se obtiene la velocidad de vaciado:

$$V = \sqrt{(2) (9.81) (160 \cdot 10^{-3})}$$

$$V = 1.77 \text{ m/s}$$

Las entradas de aluminio fundido en la pieza mostradas en la Figura 3.5, estarán separadas en función de la geometría del bloque y esta distancia será de 114.88 mm, como se muestra en la Figura 3.4.

Habiendo calculado la velocidad con la que llega la colada hasta la base del sistema de colado, se procede a dimensionar el ducto del bebedero, con la condición de que el metal líquido llegue a la parte inferior del sistema en flujo laminar o al menos en régimen de transición.

El diámetro del bebedero no debe ser constante; desde el punto más alto hasta su base debe reducir su área en forma descendente, como se muestra en la Figura 3.6, esto con la finalidad de evitar el atrapamiento de oxígeno en el bebedero.

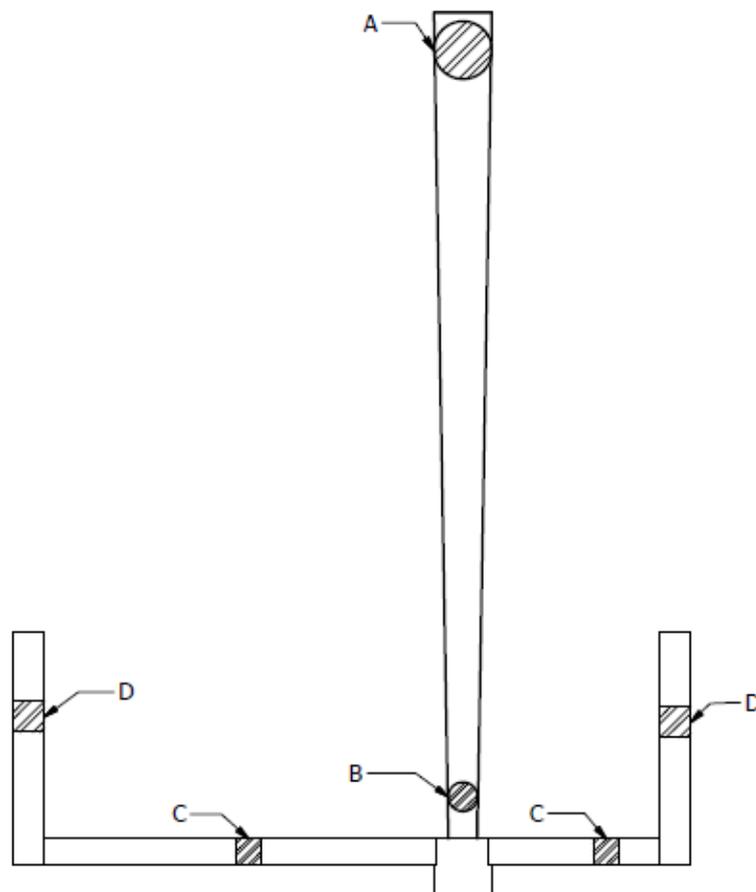


Figura 3.6 Esquema de la sección transversal del sistema de colado

Fuente: Elaboración propia

Según ASM, 1998; se obtienen buenos resultados si la sección transversal de A es el doble que la sección B.

Para obtener un flujo de régimen laminar se necesita un número de Reynolds $Re=2000$, por lo tanto, al ordenar las variables de la ecuación 1.4 para calcular el diámetro del bebedero se obtiene:

$$d_B = \frac{(2000) (1.235 \cdot 10^{-3})}{(2710) (1.77)}$$

$$d_B = 0.5 \text{ mm}$$

Este resultado deberá descartarse, ya que podría generar problemas en la fabricación del molde o solidificación prematura debido a que su diámetro es demasiado pequeño.

Como solución a este inconveniente se analizará el siguiente escenario, que la colada de aluminio llegue el menos en régimen de transición, al límite de convertirse en flujo turbulento, es decir $Re= 20000$.

Recalculando el diámetro en régimen de transición se tiene que:

$$d_B = \frac{(20000) (1.235 \cdot 10^{-3})}{(2710) (1.77)}$$

$$d_B = 5.2 \text{ mm}$$

Entonces, el área de la sección transversal de B será:

$$A_B = \frac{\pi d_B^2}{4}$$

$$A_B = \frac{\pi (5.2)^2}{4}$$

$$A_B = 21.2 \text{ mm}^2$$

La sección A debe ser el doble que la sección B, por lo tanto, se tiene que:

$$d_A = 2 d_B$$

$$d_A = 2 (5.2)$$

$$\mathbf{d_A = 10.4 mm}$$

En el punto más bajo se ha colocado una expansión en la base del bebedero, que alivia el cambio de dirección en la velocidad del flujo con la menor turbulencia posible, se obtienen buenos resultados si su diámetro y profundidad duplican al diámetro de la sección B. (ASM, 1998)

Entonces su diámetro será de 10.4 mm, con una profundidad de 10.4 mm.

A continuación, la colada pasará por los corredores, es necesario en estas secciones reducir la velocidad del flujo, con el fin de evitar generación de turbulencias, y erosión del molde; esto se logra aumentando el área de flujo de los corredores tanto horizontales como verticales. La sección transversal de los corredores puede ser circular, triangular o cuadrada, aunque de todas la triangular genera menos pérdidas por fricción, su fabricación es complicada, es por eso que se seleccionará a la sección cuadrada para los corredores debido a que las pérdidas son menores que en la de sección circular, y su fabricación es sencilla.

Las dimensiones para los corredores de sección C serán:

$$A_C + A_C = 2A_B$$

$$\mathbf{A_C = A_B = 21.2 mm^2}$$

Para una sección cuadrada cuya arista sea L_C , su dimensión será:

$$L_C = \sqrt{21.2}$$

$$\mathbf{L_C = 4.6 mm}$$

Las dimensiones para los corredores de la sección D serán:

$$A_D + A_D = 3 A_B$$

$$A_D = 1.5 (A_B)$$

$$A_D = 1.5 (21.2)$$

$$A_D = 31.8 \text{ mm}^2$$

Para una sección cuadrada cuya arista sea L_D , su dimensión será:

$$L_D = \sqrt{31.8}$$

$$L_D = 5.6 \text{ mm}$$

Haciendo uso de la Ecuación 1.4, se procede a calcular el tiempo de llenado, el valor obtenido de A_B en mm^2 se transformará a m^2 :

$$Q = (2.12 \cdot 10^{-5}) 1.77$$

$$Q = 3.75 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Si el volumen del bloque se divide para el caudal, se obtiene el tiempo de llenado, que resulta ser:

$$t = \frac{5.59 \cdot 10^{-4}}{3.75 \cdot 10^{-5}}$$

$$t = 15 \text{ s}$$

Finalmente, la Figura 3.7 muestra las dimensiones del sistema de colado del aluminio.

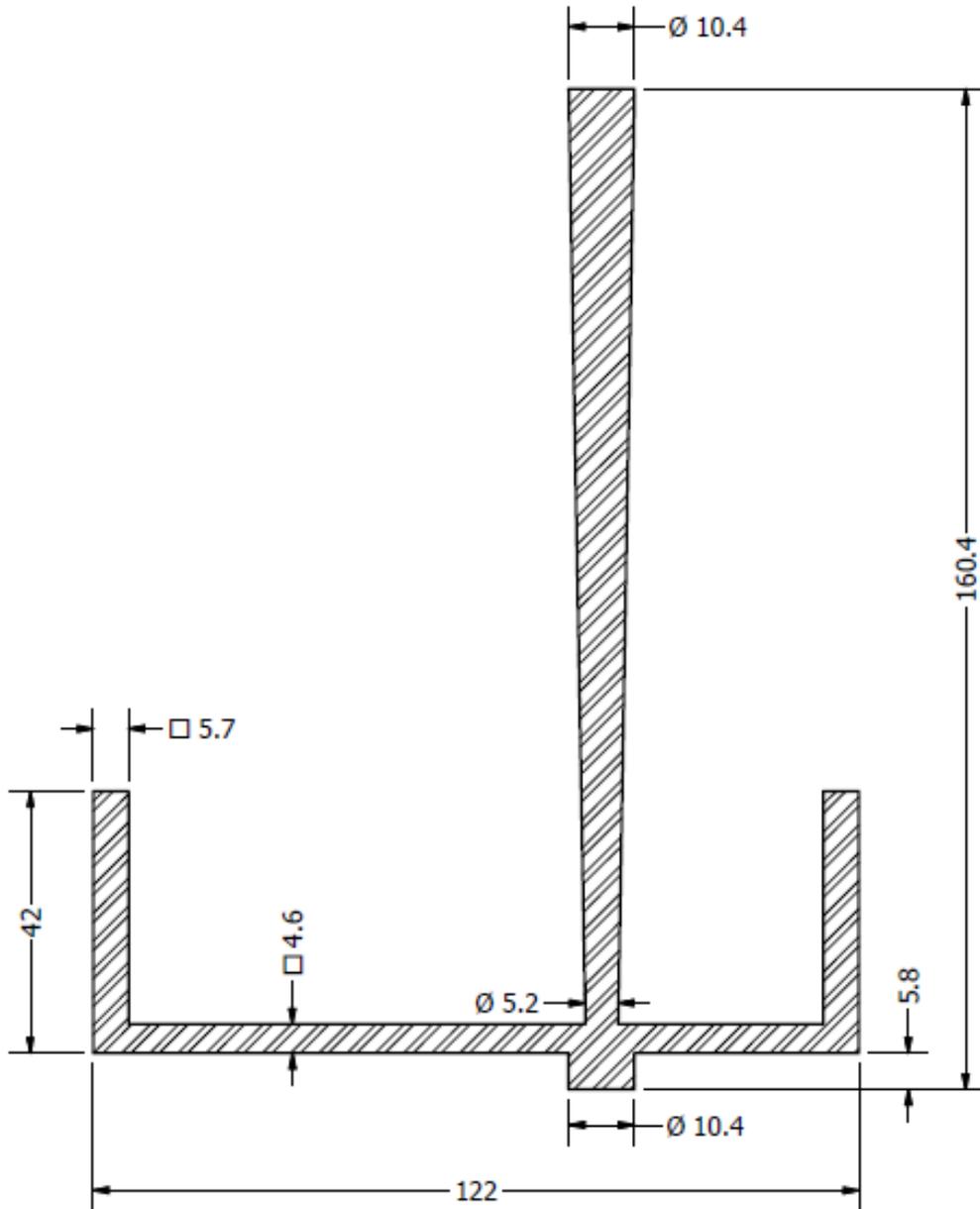


Figura 3.7 Dimensiones del sistema de colado de aluminio

Fuente: Elaboración propia

El apéndice B muestra mayor información sobre las dimensiones del sistema de colado y sus componentes.

3.3 Resultados de la simulación

En esta sección se muestran los resultados de la simulación realizada en MAGMA para el proceso de fundición, para esto se hizo uso de los cálculos realizados en la

sección anterior; se obtuvo resultados de velocidad de llenado, puntos calientes, y porosidad de la pieza obtenida, los cuales sirven para corroborar el diseño del sistema de fundición.

La Figura 3.8 muestra el sistema de colado importado a MAGMA, el proceso de la simulación se muestra con más detalles en el apéndice A de este documento.

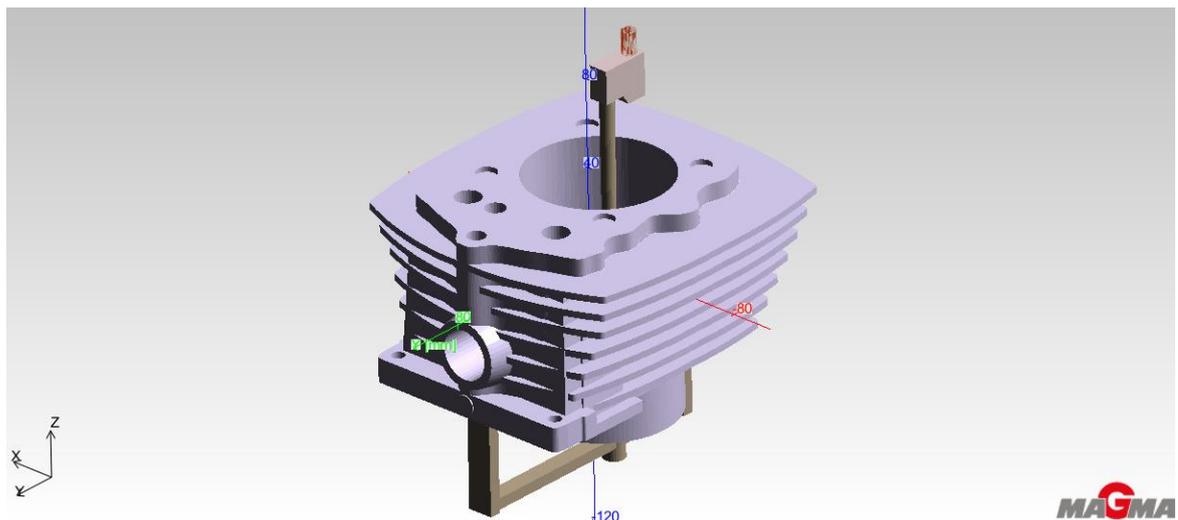


Figura 3.8 Sistema de colado de aluminio para el proceso de fundición

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.9 se muestran los resultados de la velocidad de llenado del sistema de colado de aluminio; como se observa, la velocidad máxima de llenado se encuentra alrededor de 1.7 a 1.8 m/s. Este resultado valida lo obtenido al hacer uso de la ecuación 1.3 (1.7 m/s).

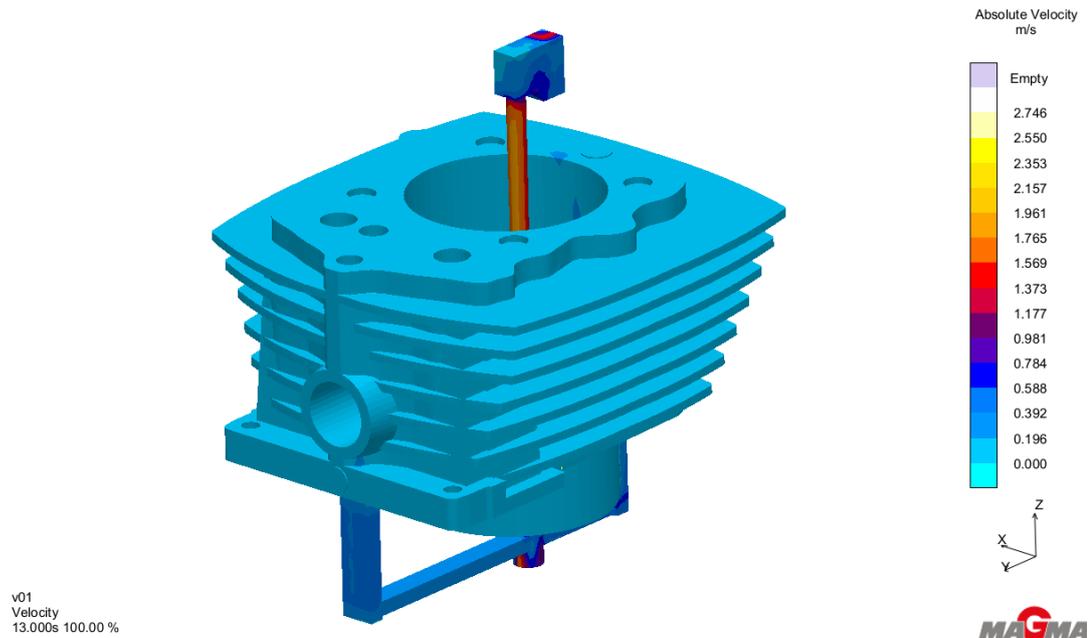


Figura 3.9 Velocidad de llenado del sistema de colado de aluminio

Fuente: Elaboración propia

La Figura 3.10 muestra que, aproximadamente 457 segundos (7.6 minutos) después de que la temperatura del metal se encuentre por debajo de la temperatura de líquido (aproximadamente 650°C), existe dentro del bloque un punto caliente de dimensiones considerables. Este defecto de fundición indica que hay gran posibilidad de que se genere porosidades en la pieza terminada ya que, al ser la última región en solidificar, obligará a que el material que lo rodea se contraiga debido al enfriamiento tardío de esta zona.

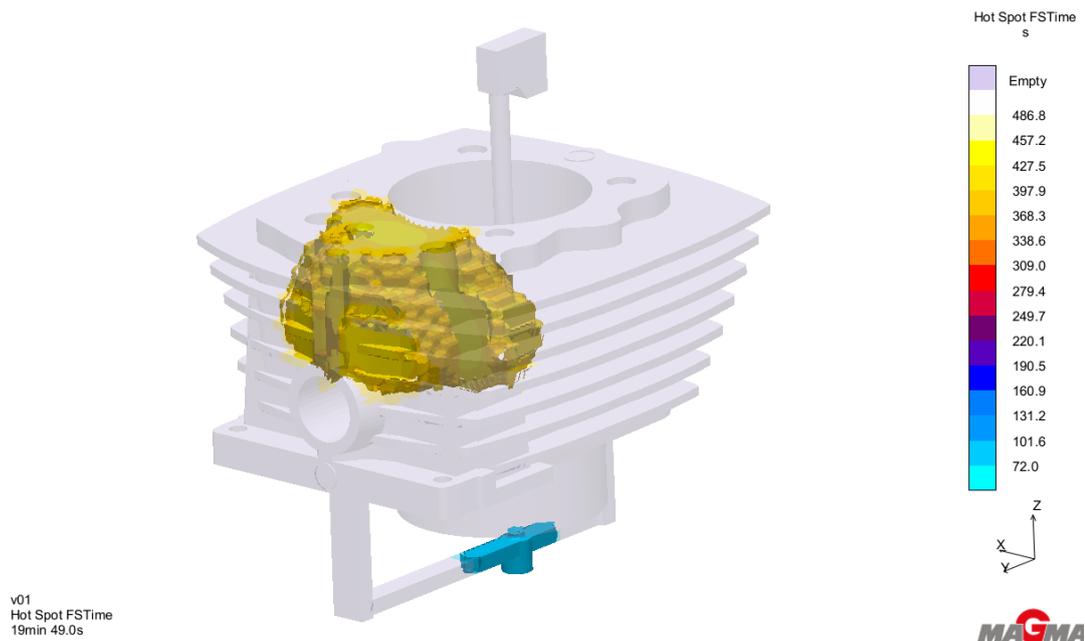


Figura 3.10 Punto caliente en el interior del bloque de aluminio

Fuente: Elaboración propia

La Figura 3.11 muestra la porosidad generada en la pieza debido a la existencia del punto caliente presentado anteriormente. Se puede observar, haciendo referencia en la barra adjunta, que en la parte superior del bloque la porosidad alcanza valores de hasta 100%.

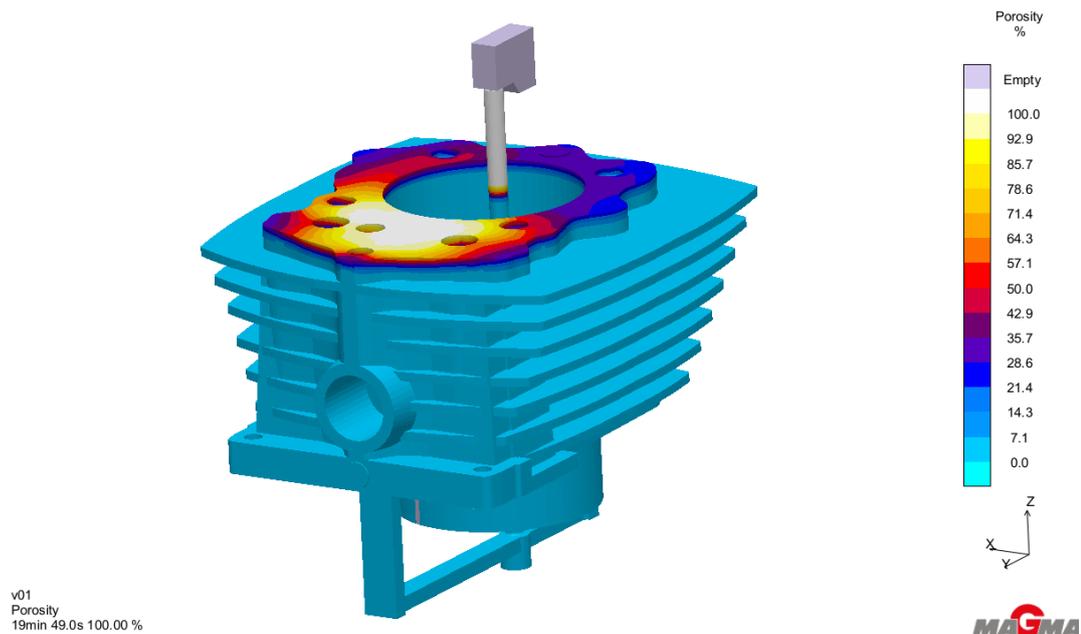


Figura 3.11 Porosidad en el sistema de colado de aluminio

Fuente: Elaboración propia

Ante estos resultados, se procede a utilizar elementos que eviten la generación de estos defectos de la fundición, los cuales se detallan a continuación.

3.4 Dimensionamiento y ubicación de la mazarota en la simulación.

El dimensionamiento de la mazarota se lo realiza haciendo uso de la regla de Chvorinov, la cual establece que la tasa de enfriamiento de un sólido es proporcional a la relación de su volumen total para su área superficial (V/A), esto quiere decir que un cuerpo con un gran volumen en comparación al área que está en contacto con el molde se enfriará lentamente y viceversa. La mazarota puede tener diferentes formas geométricas, generalmente las más utilizadas son el cilindro, el cubo y la esfera.

A continuación se procede a realizar el dimensionamiento de la mazarota, para esto se empieza igualando la ecuación de Chvorinov de la mazarota con la pieza a fundir, haciendo uso del factor de rapidez de enfriamiento f . En la tabla 3.7 se muestran las ecuaciones para calcular el volumen y área superficial de una mazarota cilíndrica, esférica y cubica.

Tabla 3.7 Volumen y Área superficial de figuras geométricas para el dimensionamiento de mazarotas

Forma	Volumen V		Área superficial A _c	
		Si h=D		Si h=D
Cilindro	$\frac{\pi D^2 h}{4}$	$\frac{\pi D^3}{4}$	$\frac{2\pi Dh + \pi D^2}{2}$	$\frac{3\pi D^2}{2}$
Esfera	$\frac{\pi D^3}{6}$		πD^2	
Cubo	l^3		$6 l^2$	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.8 se muestran los factores de enfriamiento utilizados para el diseño de la mazarota utilizando la Ecuación 1.2

Tabla 3.8 Factor de rapidez de enfriamiento

f	Enfriamiento
1.1	Rápido
1.2	Moderado
1.3	Lento

Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, se tiene que:

$$T_{TS\ mz} = f (C_m) (T_{TS\ pieza})$$

El volumen y área del sólido se obtienen de la tabla 3.6. Considerando un diseño conservador, se toma el valor de f=1.2.

$$C_m \left(\frac{V}{A_c} \right)_{mz}^2 = 1.2 C_m \left(\frac{V}{A} \right)_{pieza}^2$$

Al estar en el mismo molde, el valor de C_m es el mismo, por lo tanto se tiene que:

$$\left(\frac{V}{A_c}\right)_{mz}^2 = 1.2 \left(\frac{518640 \text{ mm}^3}{1842320 \text{ mm}^2}\right)^2$$

$$\left(\frac{V}{A_c}\right)_{mz}^2 = 1.2 (7.93 \text{ mm}^2)$$

$$\left(\frac{V}{A_c}\right)_{mz}^2 = \mathbf{9.51 \text{ mm}^2}$$

Se procede ahora a desarrollar la relación V/A para las diferentes formas geométricas de la mazarota:

1. Para una mazarota cilíndrica, donde $h=D$ se tiene que:

$$\left(\frac{\frac{\pi D^3}{4}}{\frac{3\pi D^2}{2}}\right)^2 = 9.51 \text{ mm}^2$$

$$\left(\frac{D}{6}\right)^2 = 9.51 \text{ mm}^2$$

$$\mathbf{D = 18.5 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{h = 18.5 \text{ mm}}$$

2. Para una mazarota esférica.

$$\left(\frac{\frac{\pi D^3}{6}}{\pi D^2}\right)^2 = 9.51 \text{ mm}^2$$

$$\left(\frac{D}{6}\right)^2 = 9.51 \text{ mm}^2$$

$$\mathbf{D = 18.5 \text{ mm}}$$

3. Para una mazarota cúbica.

$$\left(\frac{l^3}{6l^2}\right)^2 = 9.51 \text{ mm}^2$$

$$\left(\frac{l}{6}\right)^2 = 9.51 \text{ mm}^2$$

$$l=18.5 \text{ mm}$$

Se debe mencionar que la mazarota más eficiente es la esférica, al requerir menor cantidad de material; sin embargo, por facilidad de moldeo se selecciona la mazarota cilíndrica.

Al tener seleccionada la mazarota, se procede a ubicarla en los puntos donde se presenta la mayor cantidad de porosidad, como se muestra en la Figura 3.12. De esta manera la mazarota aporta material durante el proceso de solidificación compensando la contracción generada por el punto caliente.

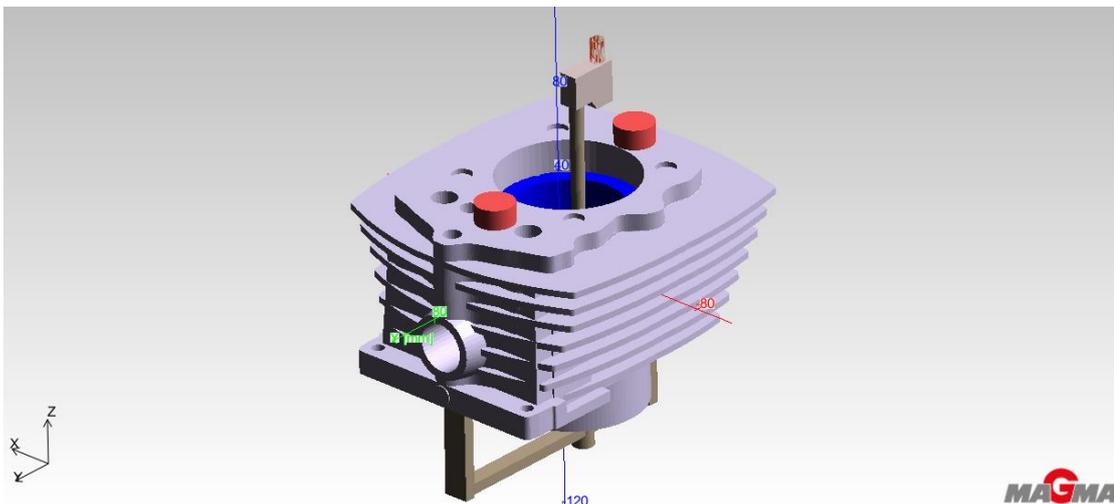


Figura 3.12 Sistema de colado de aluminio con mazarotas y enfriadores

Fuente: Elaboración propia

Uso de enfriadores.

Para contrarrestar el efecto del punto caliente, se han ubicado tres enfriadores, como se muestra en la Figura 3.13; estos elementos tienen formas geométricas simples tales como paralelepípedos y cilindros, y se los ubica en contacto con ciertas partes del sólido. Su función es incrementar la tasa de transferencia de calor en las regiones

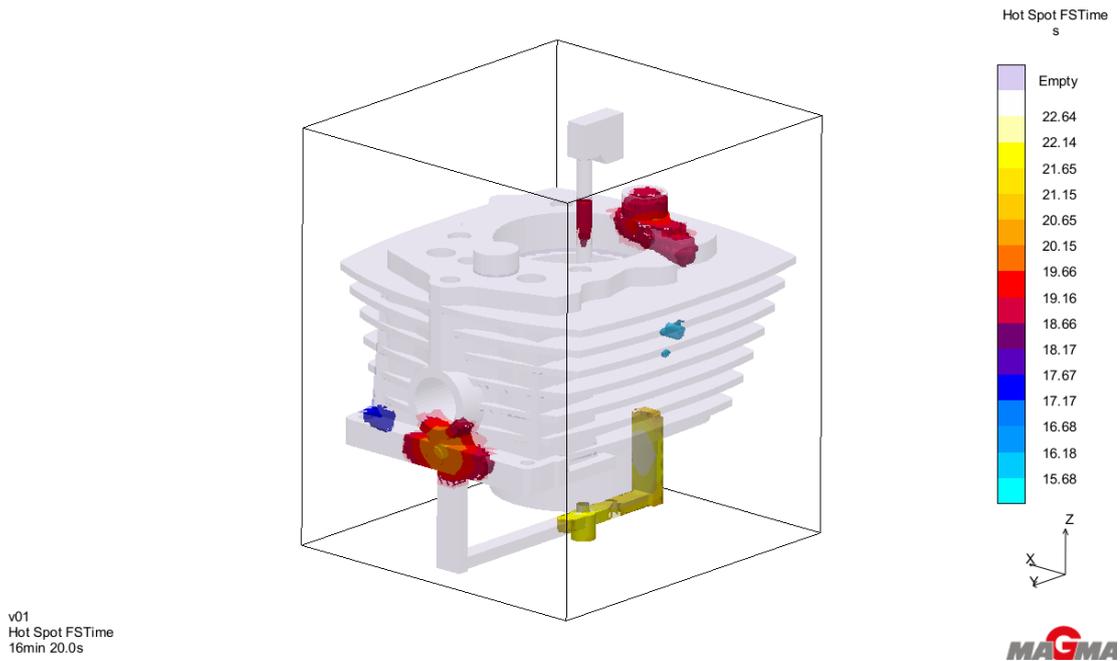


Figura 3.14 Puntos calientes luego de la adición de mazarotas y enfriadores

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.15 se muestran los resultados de la porosidad en el bloque ya solidificado, se puede apreciar que no hay rastros de porosidad en el bloque para las condiciones dadas en la simulación; no obstante, la mazarota posterior presenta un ligero nivel de porosidad, lo que indica que el defecto fue transferido a la misma, verificando su correcto funcionamiento.

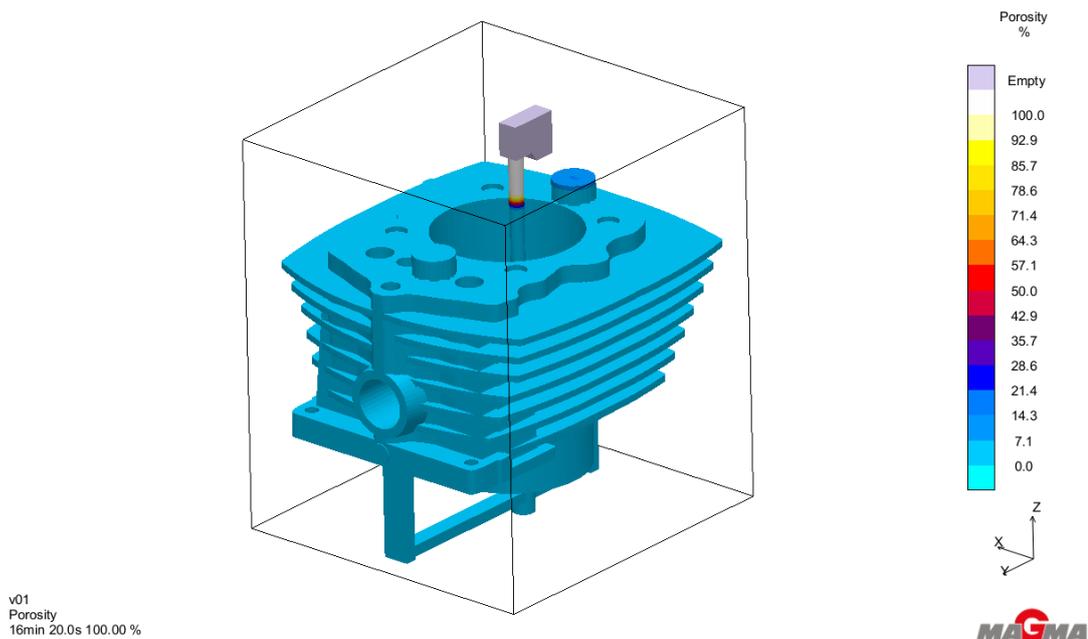


Figura 3.15 Porosidad luego de la adición de mazarotas y enfriadores

Fuente: Elaboración propia

3.5 Desarrollo y resultados de los ensayos realizados a la aleación de aluminio silicio hipereutéctico.

Para el desarrollo de esta aleación se usa como materia prima pistones de aluminio reciclados, los cuales son aleaciones de aluminio resistentes a elevadas temperaturas. Se debe mencionar que se desea obtener una aleación cuyo contenido de silicio sea alrededor del 17%, con la finalidad de ser lo más análoga posible a la aleación A390.0. En la Tabla 3.9 se muestra la composición química de aleaciones de aluminio para pistones.

Tabla 3.9 Composición química porcentual (%) de aleaciones de aluminio para pistones

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
12	0.7 máx.	1.2	0.3 máx.	1.05	0.3 máx.	0.2 máx.

Fuente: Mahle, 2012

Inicialmente se procedió a registrar el peso del lingote de aluminio, esto con la finalidad de determinar la cantidad en peso de silicio que se agregaría al fundido metálico. Los datos y cálculos se muestran a continuación:

Peso del lingote de aluminio **$W_{Al} = 6.82 \text{ kg}$**

La cantidad en kg del 12% de silicio contenido en el lingote corresponde a:

$$100\%_{(\text{lingote})} = 12\%_{(\text{Si})} + 88\%_{(\text{Elementos restantes})}$$

$$6.82 \text{ kg} = (x \text{ kg})\text{Si} + (y \text{ kg})\text{Elementos restantes}$$

Por lo tanto se tiene que:

$$\mathbf{x = 0.8184 \text{ kg}}$$

$$\mathbf{y = 6.0016 \text{ kg}}$$

La cantidad en kg del 17% de silicio deseado, contenido en el lingote correspondería a:

$$100\%_{(\text{lingote})} = 17\%_{(\text{Si})} + 83\%_{(\text{Elementos restantes})}$$

$$6.82 \text{ kg} = (x_1 \text{ kg})\text{Si} + (y_1 \text{ kg})\text{Elementos restantes}$$

Por lo tanto se tiene que:

$$\mathbf{x_1 = 1.1594 \text{ kg}}$$

$$\mathbf{y_1 = 5.6606 \text{ kg}}$$

Finalmente, la cantidad de silicio en kg a ser agregada corresponde a la diferencia entre el peso de silicio deseado y el del lingote original:

$$W_{Si} = x - x_1$$

$$W_{Si} = 1.1594 - 0.8184$$

$$\mathbf{W_{Si} = 0.34 \text{ kg}}$$

Por lo tanto, se requiere agregar 0.34 kg de silicio a una colada de 6.82 kg de aluminio, para conseguir una aleación hipereutéctica con 17% de silicio.

Para facilitar la disolución del silicio en el aluminio, se procedió a triturarlo como se muestra en la Figura 3.16.



Figura 3.16 Silicio triturado, tamiz 3 mm

Fuente: Elaboración propia

La adición de silicio se llevó a cabo cuando el aluminio fundido alcanzó la temperatura de sobrecalentamiento, esto se realizó haciendo uso del diagrama de fase mostrado en la Figura 1.6. Se debe mencionar que la mezcla debe ser agitada para lograr homogeneidad de la misma.

3.5.1 Resultados del análisis químico de la aleación desarrollada.

Este análisis se llevó a cabo haciendo uso del espectrómetro de emisión atómica LECO GDS500A. Como resultado se obtuvo la siguiente composición de elementos aleantes en cantidades porcentuales.

Tabla 3.10 Composición química porcentual (%) de la aleación desarrollada

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
17.4	0.688	3.52	0.065	0.725	0.344	0.039

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 3.10, la composición química corresponde a una aleación de aluminio silicio hipereutéctico ya que su contenido porcentual de silicio es 17.4%.

3.5.2 Resultados del análisis metalográfico de la aleación desarrollada.

Para realizar este análisis, se llevó a cabo el mismo procedimiento que en la probeta del bloque original, manteniéndose el tipo de reactivo y el tiempo de acción del mismo con la superficie de la probeta.

Posteriormente, se colocó la probeta del prototipo diseñado en el microscopio, de esta manera se pudo revelar la microestructura mostrada en la Figura 3.17.

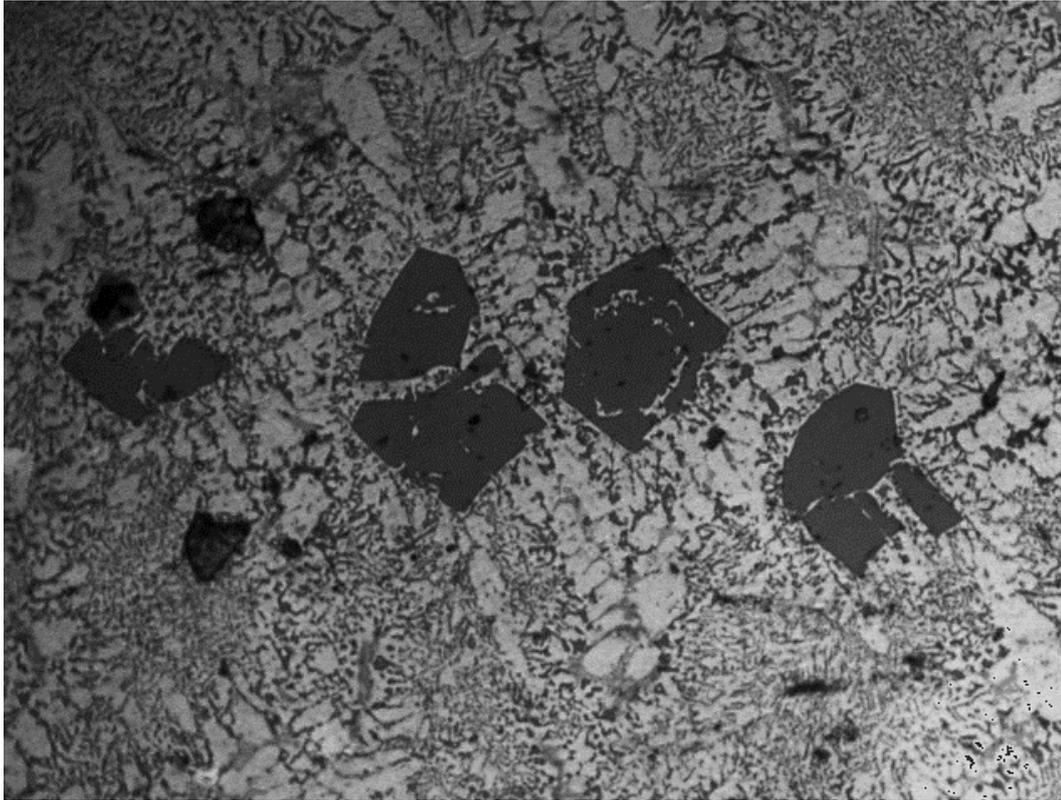


Figura 3.17 Micrografía de la aleación desarrollada, x500. Ataque con Keller

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la Figura 3.17 la formación de silicio primario (partículas color gris) en la matriz de aluminio, lo cual es requerido para el desarrollo de este proyecto.

3.5.3 Resultados del ensayo de dureza a la aleación desarrollada.

Este ensayo fue realizado haciendo uso del durómetro de impacto Leeb Hardness Tester MH310, se registró 3 mediciones de dureza en diferentes lugares de la superficie analizada para, finalmente, tener su promedio el cual se muestra en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Ensayo de dureza de la aleación desarrollada

Medición	Dureza Brinell
1	78
2	79
3	82

Fuente: Elaboración propia

De la aleación desarrollada se tiene que la dureza promedio es 80 HB. Esto es favorable, ya que se obtuvo una dureza similar a las aleaciones análogas sin realizar tratamiento térmico posterior a la fundición.

3.6 Análisis de costos.

Costos directos.

En la Tabla 3.12 se detallan los costos directos involucrados en el proceso de fundición.

Tabla 3.12 Costos directos en la fundición

Material	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Chatarra de Aluminio	2.27 kg	\$1.32/kg	\$ 3.00
Silicio	0.12 kg	\$3.19/kg	\$ 0.38
Total			\$3.38

Fuente: Elaboración propia

Costos Indirectos.

En la Tabla 3.13 se detallan los costos indirectos, estos abarcan los materiales y elementos implicados para realizar el proceso de fundición.

Tabla 3.13 Costos indirectos en la fundición

Material	Cantidad		Precio unitario	Precio Total
Cilindro GLP	1		\$2.50	\$ 2.50
Arena de moldeo	9.1 kg		\$0.24/kg	\$ 2.18
Mano de obra	8 horas		\$3.12/hora	\$ 25.00
Energía eléctrica	2 horas	0.44 kW	\$0.095/kWh	\$ 0.08
Total				\$29.76

Fuente: Elaboración propia

Como imprevistos, se ha asumido un 30% de los costos indirectos, como se muestra en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14 Costos del proyecto

Costos directos	\$ 3.38
Costos indirectos	\$ 29.76
Imprevistos (30 % CI)	\$ 9.00
Total	\$ 42.14

Fuente: Elaboración propia

Cabe recalcar que al costo total mostrado en la Tabla 3.14 se le debe añadir un valor de \$ 700, el cual representa el costo del diseño del proyecto, lo que resultaría en un valor total de \$742.14. Este último valor está calculado para la fabricación de una sola pieza; sin embargo, si este elemento se lo produce en masa, el costo total por unidad sería más bajo.

3.7 Cronograma de trabajo

En la Figura 3.18, se presenta el cronograma de trabajo para llevar a cabo el diseño del proceso de fundición y el desarrollo de la nueva aleación.

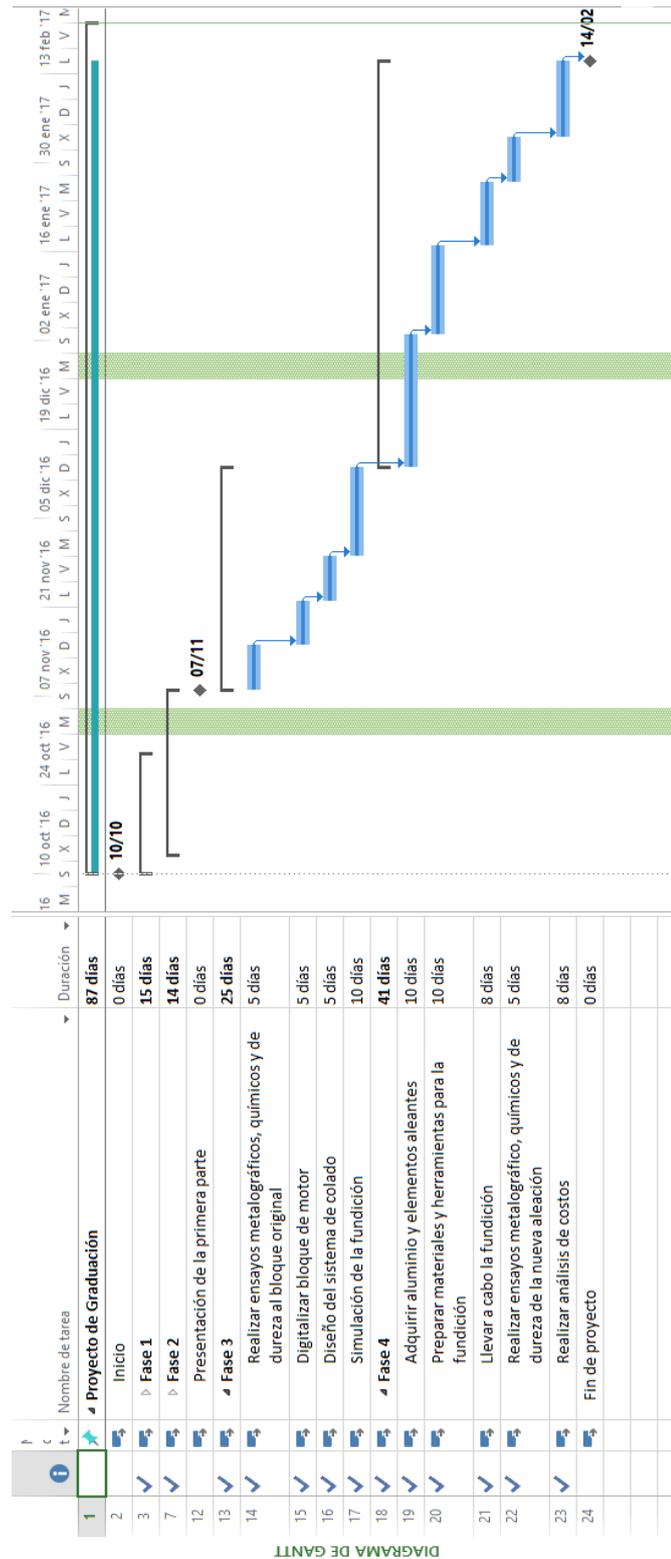


Figura 3.18 Cronograma de trabajo

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El presente proyecto está orientado principalmente al desarrollo de una aleación para la manufactura de un bloque de motor de motocicleta. Su realización se tornó compleja al no existir la disponibilidad del principal elemento aleante, es decir, el silicio.

Por otra parte, la puesta en marcha de la simulación implicó el uso de criterio ingenieril, debido a que se debió analizar cuáles son las secciones más críticas del proceso. Una vez que fueron identificadas las zonas críticas, las cuales son las aletas y la camisa del bloque, donde el metal fundido no llegaría debido al espesor, se procedió a mejorar las condiciones para su respectivo análisis, esto se refiere a aumentar la fineza del mallado y verificar las condiciones de no turbulencia en las mencionadas secciones.

Para la instalación de MAGMASOFT fue necesario enlazar la computadora a los servidores de la ESPOL, ya que no se contaba con la capacidad recomendada por el fabricante del software, que es mínimo 32 Gb de memoria RAM.

Con MAGMASOFT se detectaron los defectos de fundición en el bloque antes de añadir los componentes del sistema de fundición; el más relevante fue el punto caliente, que produce rechupe y porosidad en el producto final. Estos defectos se eliminaron con la adición de la mazarota y tres enfriadores, produciendo una reducción significativa de los mismos.

En un primer ensayo de fundición no se pudo lograr la disolución del silicio en el aluminio, esto se debió principalmente a que no se realizó una correcta agitación y a que la temperatura a la que se agregó el silicio no era la adecuada. Posteriormente, se realizó un segundo ensayo en el cual se mejoró las condiciones de agitación, se trituró el silicio hasta obtener partículas finas para facilitar su solubilidad; además, se elevó la temperatura para la agregación del silicio, con lo que finalmente se obtuvo los resultados deseados.

4.1 Conclusiones.

- Se desarrolló una aleación de aluminio silicio hipereutéctico con 17.4% de contenido de silicio, con la finalidad de generar una microestructura resistente al desgaste a elevadas temperaturas.
- Se verificó que la microestructura es similar a la de las aleaciones hipereutécticas, con contenido de silicio superiores al 16%.
- Se logró que la composición química de la aleación desarrollada sea similar al rango especificado para la aleación 390.0, la cual es utilizada para este tipo de aplicaciones debido a la resistencia al desgaste que ofrece a elevadas temperaturas, así como una buena conductividad térmica.
- La aleación química desarrollada puede reemplazar al hierro fundido del cual está hecho el cilindro interno del bloque, disminuyendo así el peso y los costos de manufactura del componente.
- Con el uso del programa MAGMASOFT, se detectó los defectos en el proceso de fundición, tales como porosidad y puntos calientes, estos disminuyeron al usar mazarotas y enfriadores.

4.2 Recomendaciones.

- Para realizar un ensayo con el durómetro Leeb Hardness Tester MH310, es necesario verificar la calibración del equipo, de no estar calibrado debe realizarse siguiendo los procedimientos indicados por el manual. La superficie donde se registrará la dureza debe estar libre de irregularidades como poros y suciedad.

- Para la selección de la geometría de los elementos del sistema de colado, se deberá tener en cuenta la disponibilidad de los recursos técnicos para su fabricación. La forma de los componentes no debe complicar la etapa de fabricación del molde. Se recomienda el uso de secciones circulares para el bebedero, cuadradas para los corredores y cilíndricas para la mazarota.
- Para el desarrollo de la simulación, se debe verificar que luego de realizar el mallado no se distorsione la forma del sólido. La pared de menor espesor y las de forma curva se consideran críticas, y deben tener al menos tres elementos de malla. Se recomienda usar diferentes tipos de mallado en el sólido, con la finalidad de disminuir el uso de recursos computacionales.
- Para obtener una fácil disolución del silicio en el aluminio fundido, se recomienda triturarlo hasta obtener una granulometría menor a 10 mm, junto con una constante agitación de la colada.
- Se debe agregar 0.5% de cobre a la aleación desarrollada, para que de esta manera la composición química se encuentre en el rango especificado para la aleación 390.0.
- Kaufman recomienda realizar un tratamiento térmico de envejecimiento artificial T6, con lo que se puede alcanzar durezas de hasta 140HB otorgándole al material una excelente resistencia al desgaste.
- Para realizar procesos de mecanizado en aleaciones de aluminio que contienen entre el 10 – 20% de silicio, se recomienda utilizar una herramienta de diamante con una velocidad de corte de 750 m/min.
- Para obtener un mejor acabado superficial en el producto terminado, se recomienda usar un molde permanente en su fabricación.

BIBLIOGRAFÍA

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

ASM International. (1990). *Properties and selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials* (Vol. 2).

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

Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. (2013). *Anuario AEADE*.

Crouse, W. H. (1992). *MECÁNICA DE LA MOTOCICLETA*. Barcelona: MARCOMBO.

Diario El Comercio. (26 de Octubre de 2016). *El Comercio*. Obtenido de <http://www.elcomercio.com/actualidad/salvaguardia-precio-motos-nacionales-arancel.html>

Diario El Telégrafo. (18 de Octubre de 2016). *El Telégrafo*. Obtenido de <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/en-ecuador-se-vende-un-promedio-de-100-000-motos-al-ano>

Diario El Universo. (26 de Octubre de 2016). *El Universo*. Obtenido de <http://www.eluniverso.com/2010/05/10/1/1356/importacion-motos-baja-6158-ensamble-sube.html>

Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna* (Tercera ed.). McGraw-Hill.

Heywood, J. B. (1988). *INTERNAL COMBUSTION ENGINE FUNDAMENTALS*. McGraw-Hill .

Jelínek. (2010). *Chorinov's rule and determination of coefficient of heat accumulation of moulds with non-quartz base sands.*

Kaufman. (2004). *Aluminium Alloy Casting, Properties, Processes, and Applications.*

MAGMA Engenharia do Brasil Ltda. (2015). *Apostila de Treinamento MAGMA 5.3.*

Mahle, G. (2012). *Pistons and engine testing.*

MIPRO. (27 de Octubre de 2016). *Ministerio de Industrias y Productividad.* Obtenido de <http://www.industrias.gob.ec/bp-178-el-ministerio-de-industrias-y-la-aeemae-impulsan-mayor-integracion-de-componente-nacional-en-el-ensamblaje-de-motocicletas/>

Morales, F. (JUNIO de 2003). ESTUDIO DE ADHESIBILIDAD ENTRE UNA ALEACION DE ALUMINIO A319.0 Y UNA CAMISA DE ALUMINIO BASE Al-Si-Cu-Mg, PARA APLICACIONES AUTOMOTRICES.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Proceso de simulación de la fundición

A.1 Proceso de simulación.

El proceso de simulación empieza con definir el material a fundir y el tipo de molde que se usará, para este proyecto será arena y aluminio, respectivamente como se muestra en la Figura A.1.

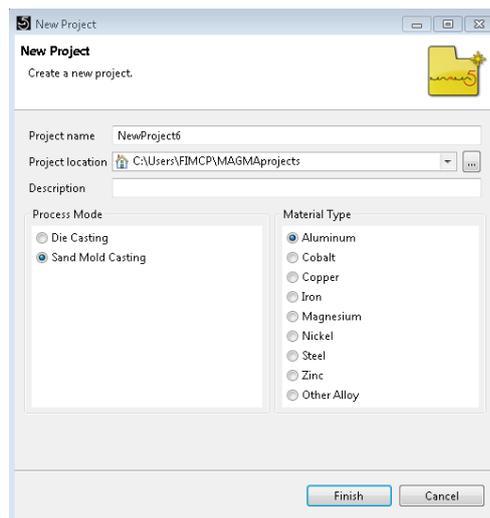


Figura A. 1 Selección del tipo de molde y del material a fundir

Fuente: Elaboración propia

Una vez definido los materiales, se procede a importar el sólido en una extensión **.stl**, como se muestra en la Figura A.2, en este paso se debe verificar que no se han alterado las dimensiones de la figura al cargarlo en MAGMA, de ser así se deberá incrementar o disminuir la escala del sólido.

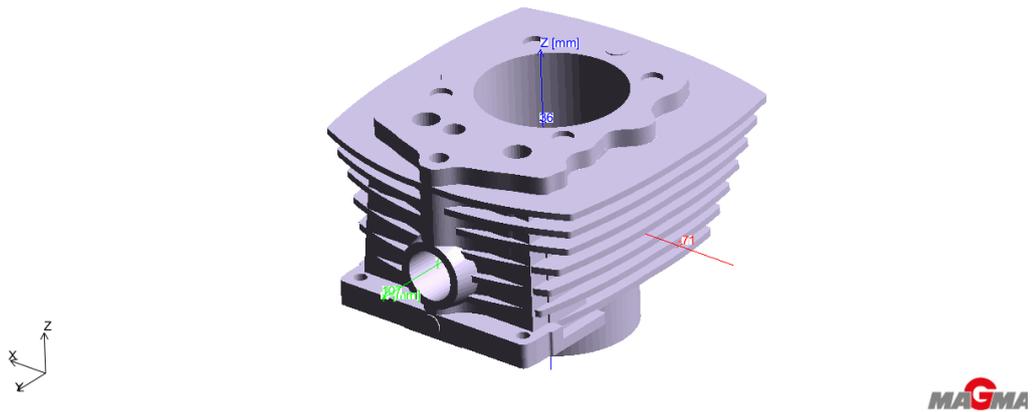


Figura A. 2 Geometría del bloque cargada en MAGMA

Fuente: Elaboración propia

A continuación se procede a importar los componentes del sistema de colado por separado, para luego ensamblarlos, como en la Figura A.3.

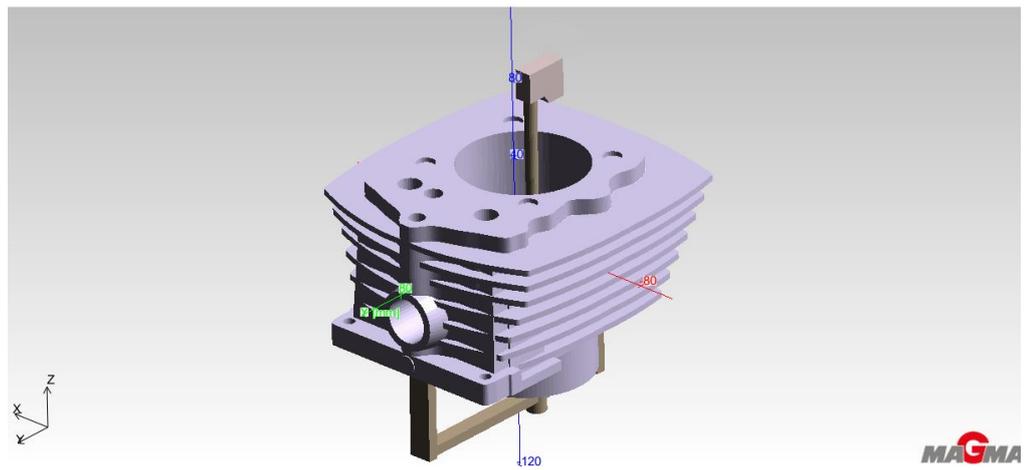


Figura A. 3 Ensamblaje de los corredores del sistema de colado

Fuente: Elaboración propia

Luego de ensamblar todos los componentes del sistema de colado, se obtiene la configuración mostrada en la Figura A.4.

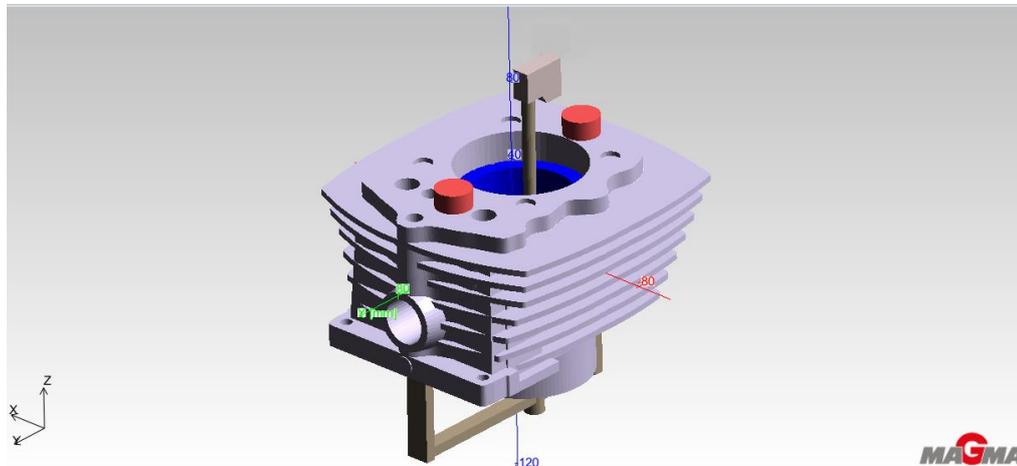


Figura A. 4 Ensamblaje de los componentes del sistema de colado

Fuente: Elaboración propia

Después de realizar el ensamble de todos los componentes del sistema de colado, se debe crear el molde de arena (Figura A.5).

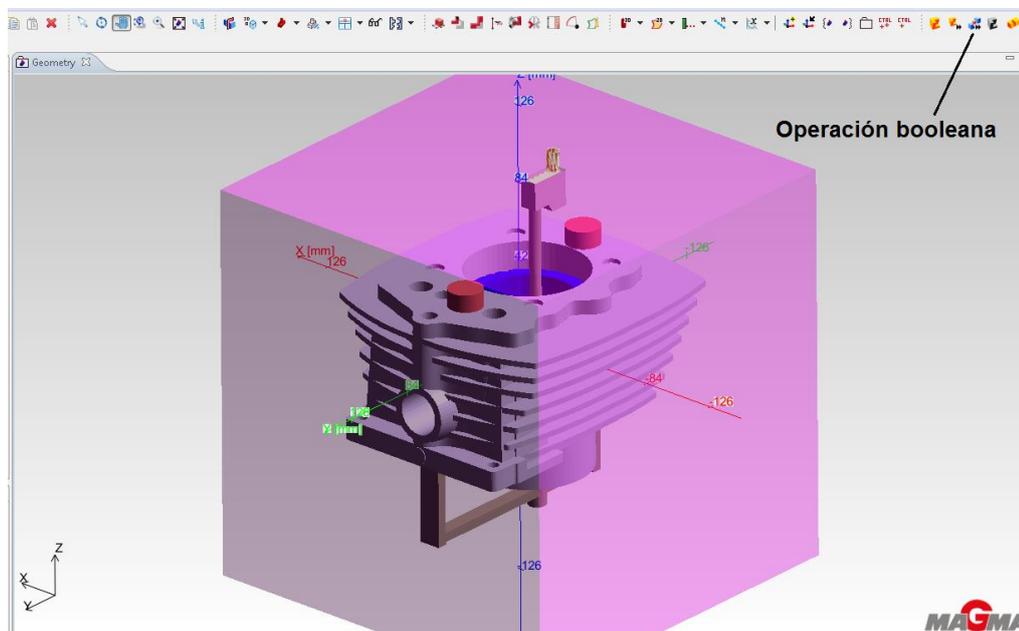


Figura A. 5 Creación del molde de arena en MAGMA

Fuente: Elaboración propia

Se debe definir el ingreso de la colada de aluminio en la copa de vaciado, esto se logra dejando fuera del molde la cara superior de esta y definiendo una entrada circular, como muestra la Figura A.6.

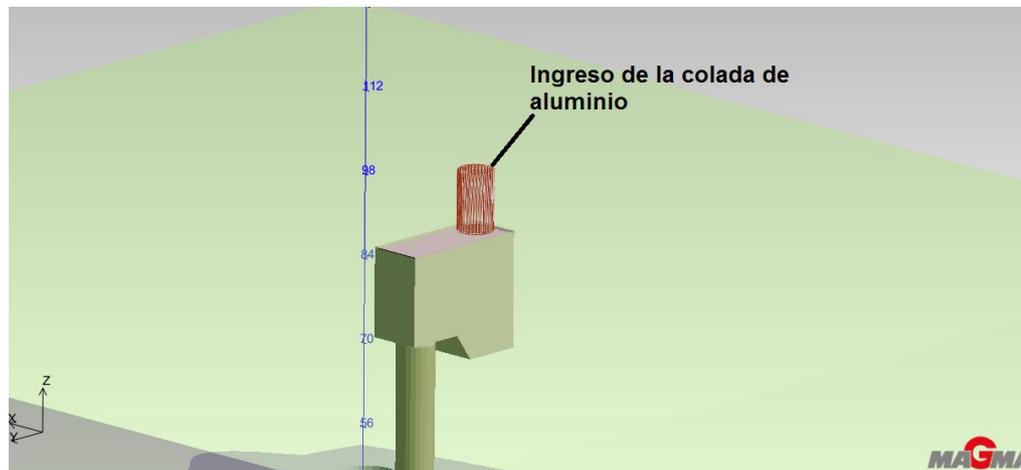


Figura A. 6 Creación del ingreso de la colada de aluminio

Fuente: Elaboración propia

Posterior al ensamblaje se debe definir la función de cada componente del sistema de colado, tales como molde de arena, entrada de aluminio, corredor, copa de vaciado y mazarotas. Es importante que en la lista de la Figura A.7 el molde se ubique en la primera posición, ya que la operación booleana resta los componentes que se encuentran debajo del primero, con el cual el programa generará la cavidad al realizar una operación booleana entre el molde y todos los elementos insertados.

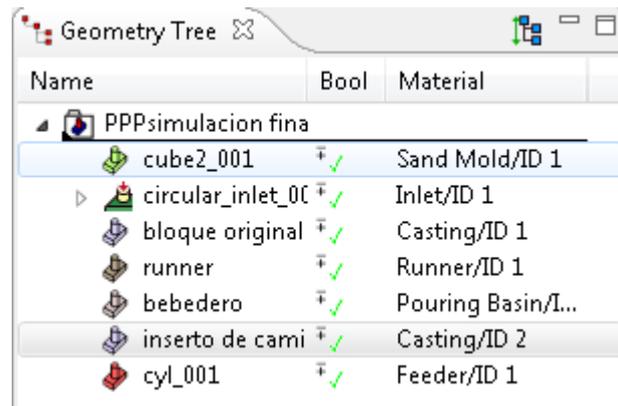


Figura A. 7 Arbol de geometrías de MAGMA

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente lista se define el material del molde a usar, se escogió la sílice seca, la cual lleva bentonita como aglutinante y es la más utilizada en el moldeo en verde (Figura A.8).

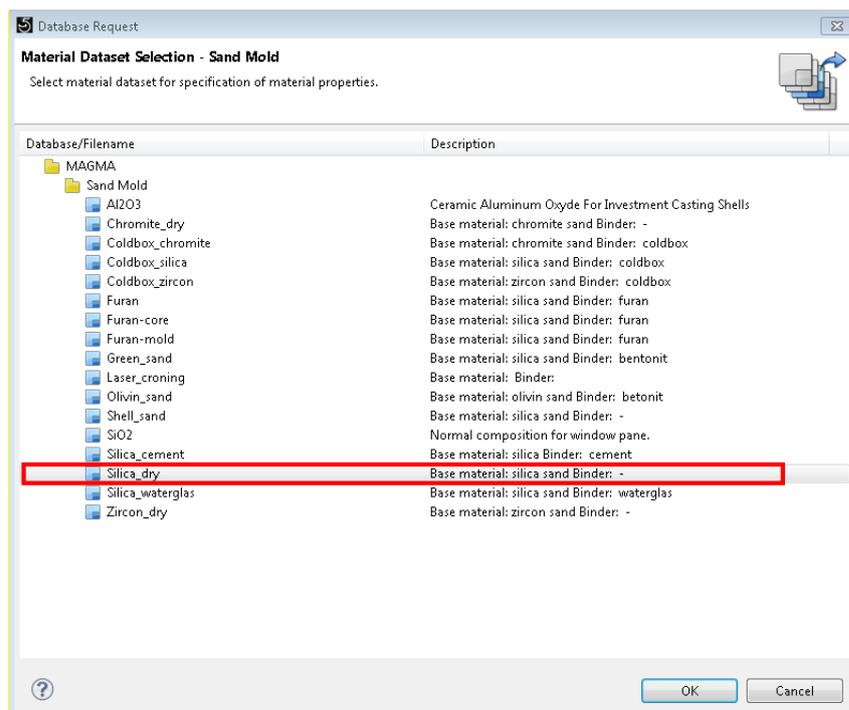


Figura A. 8 Lista de materiales para molde de arena

Fuente: Elaboración propia

La Figura A.9 muestra la configuración de la malla para el molde de arena, al no ser el elemento principal de análisis, se le asigna un mallado elevado con un tamaño de 5 mm.

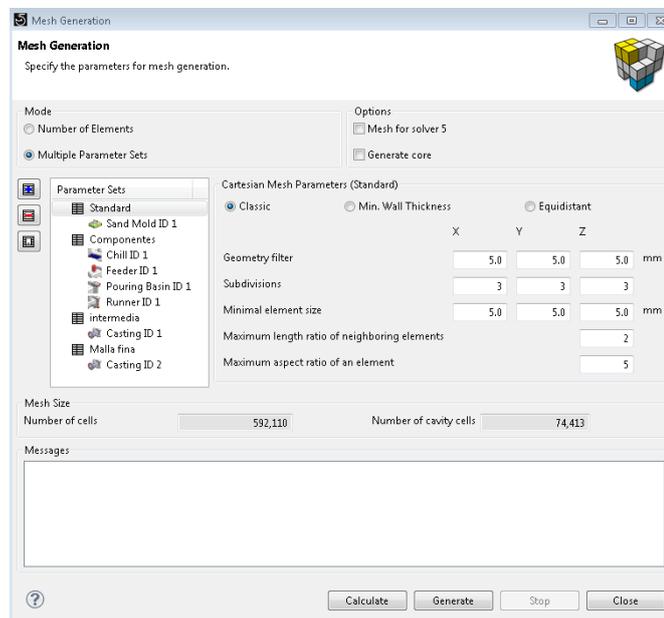


Figura A. 9 Configuración de la malla para el molde

Fuente: Elaboración propia

En la Figura A.10 se muestra la configuración del mallado para los componentes del sistema de colado, aquí se ha seleccionado un tamaño de 3 mm.

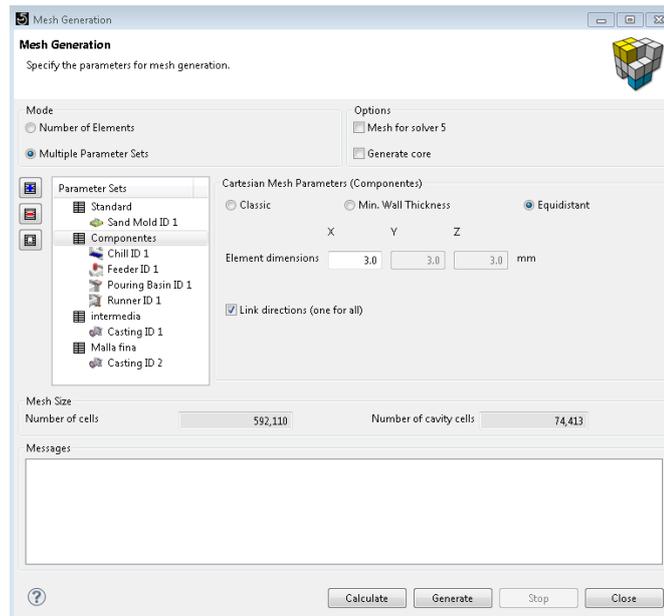


Figura A. 10 Configuración de la malla para los componentes del sistema de colado

Fuente: Elaboración propia

La Figura A.11 muestra la configuración del mallado del bloque, para este paso se lo separó con el fin de que las aletas sean la pared más fina del sólido, como estas tienen un espesor de 3 mm, se seleccionó un tamaño de malla de 1 mm.

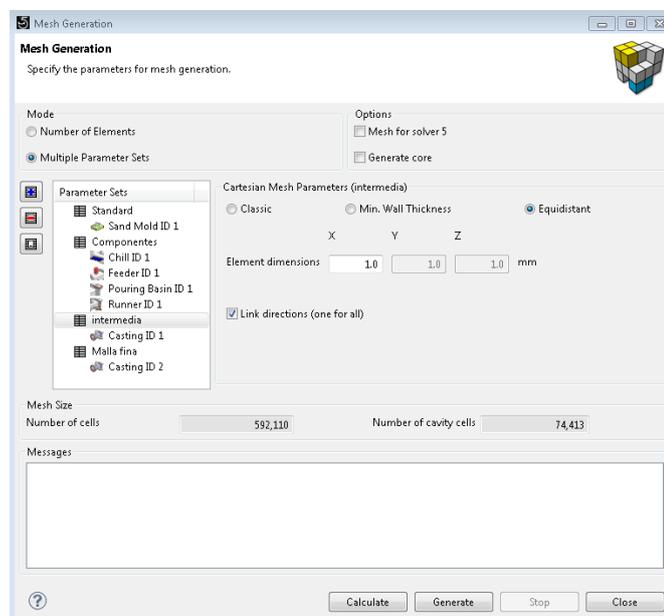


Figura A. 11 Configuración de la malla para el bloque

Fuente: Elaboración propia

La Figura A.12 muestra la configuración del mallado para la camisa, se identifica como malla fina, como se espesor es de 1 mm, se seleccionó un tamaño de malla de 0.3 mm.

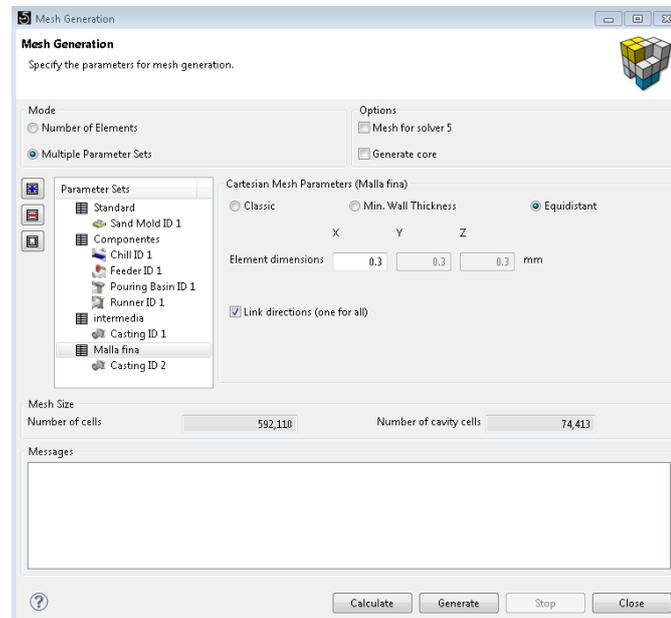


Figura A. 12 Configuración de la malla para la camisa del bloque

Fuente: Elaboración propia

En la Figura A.13 se presenta una vista de la malla generada en el sólido, se puede apreciar las diferencias en los tamaños de mallado.

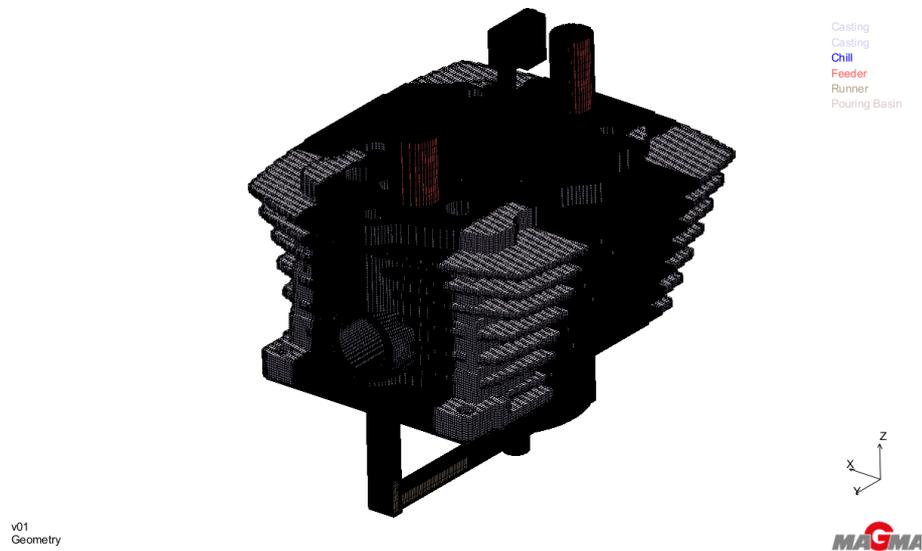


Figura A. 13 Vista de la malla generada

Fuente: Elaboración propia

En la Figura A.14 se verifica la existencia del número recomendado de elementos de la malla, para las aletas del bloque.

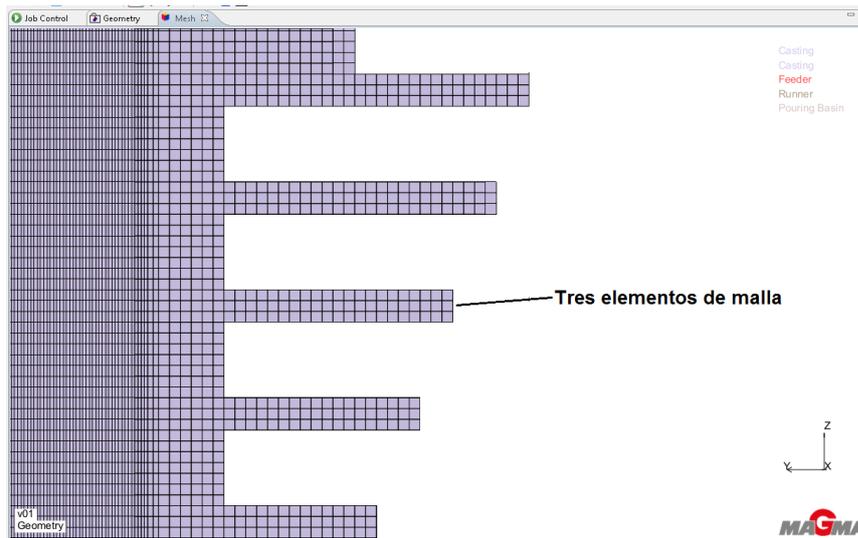


Figura A. 14 Vista de los elementos en las aletas del bloque

Fuente: Elaboración propia

En la Figura A.15 se muestra una vista aumentada de la camisa del cilindro se verifica la existencia de al menos tres elementos y que el sólido conserve su forma.

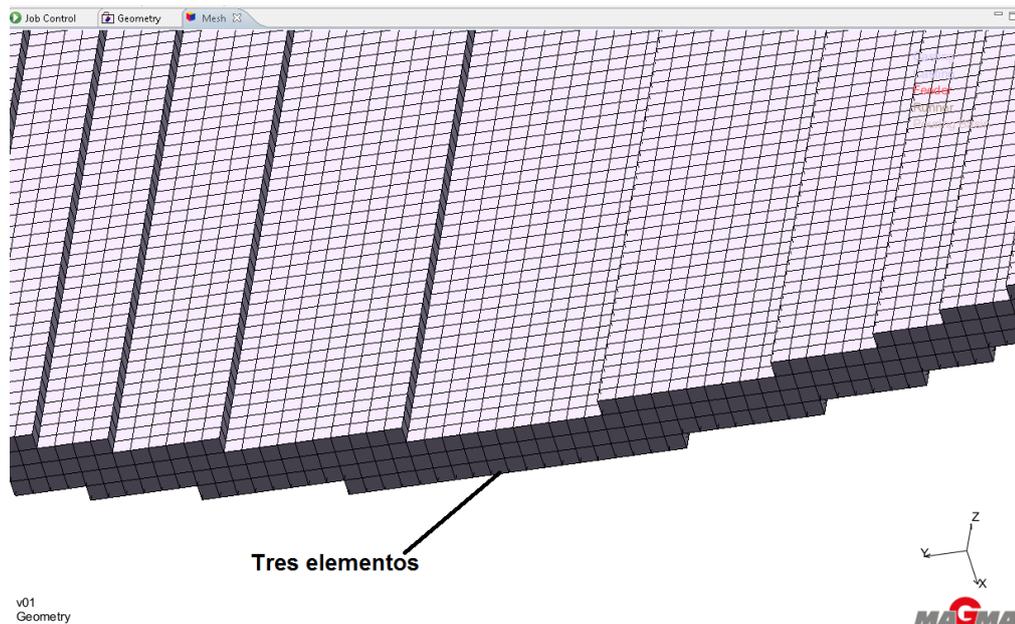


Figura A. 15 Vista de los elementos de la camisa

Fuente: Elaboración propia

En la Figura A.16 se muestra las temperaturas iniciales de los componentes del sistema de colado.

Material	Mat ID	Database/File name	Initial Temperature (°C)
+ Cast Alloy		MAGMA/AISi17Cu3	750.0
Material	Mat ID	Database/File name	Initial Temperature (°C)
+ Sand Mold		MAGMA/Silica_dry	110.0
Material	Mat ID	Database/File name	Initial Temperature (°C)
+ Chill		MAGMA/GJS-400	110.0

Figura A. 16 Condiciones iniciales de los componentes del sistema de colado

Fuente: Elaboración propia

La figura A.17 muestra el proceso de fundición que simulará MAGMA, aquí se detalla el proceso de preparación, llenado, solidificación y enfriamiento de la pieza.

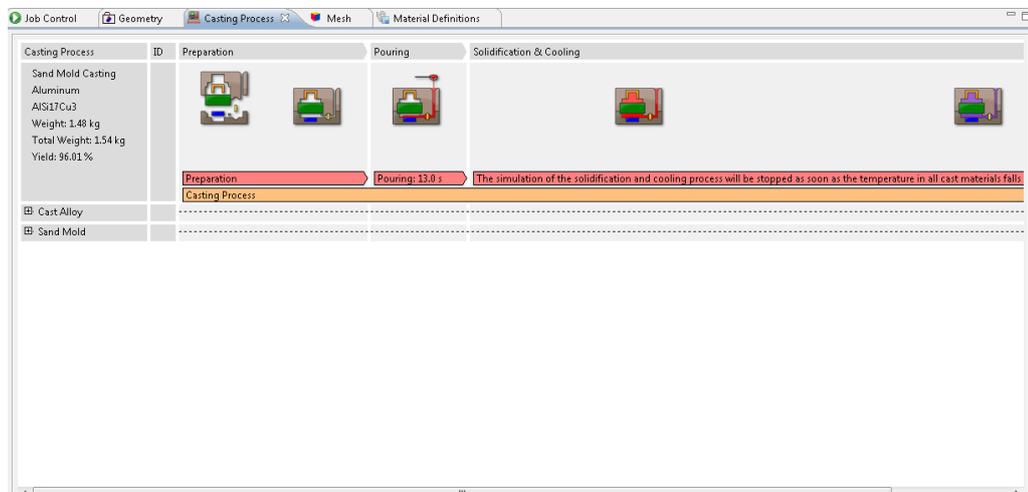


Figura A. 17 Proceso de fundición en MAGMA

Fuente: Elaboración propia

La Figura A.18 muestra a la simulación en proceso, aquí se aprecia el porcentaje de avance de la simulación, junto con cada iteración que realiza el programa.

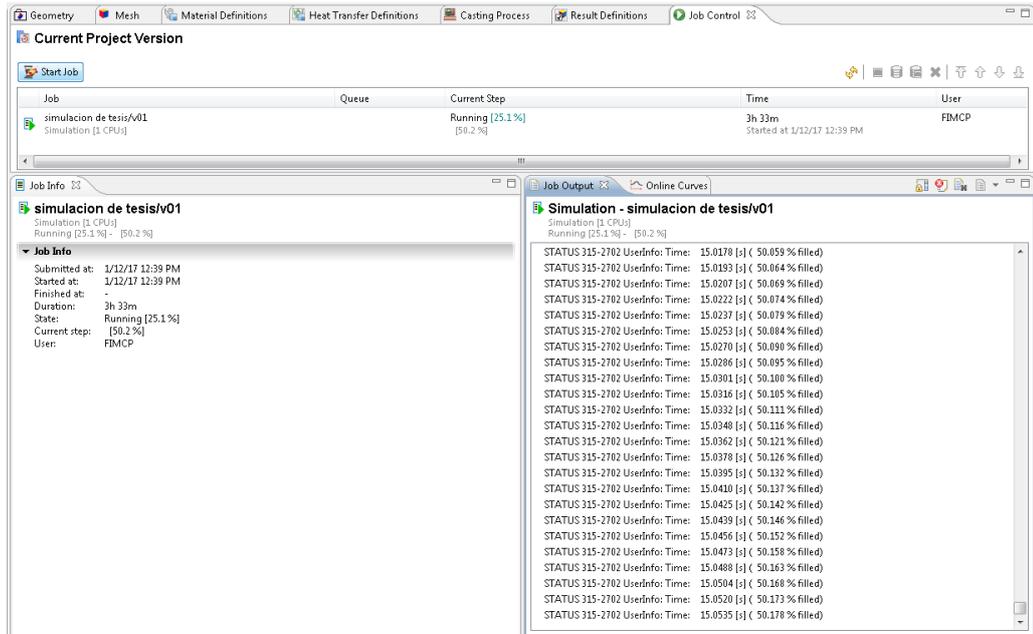


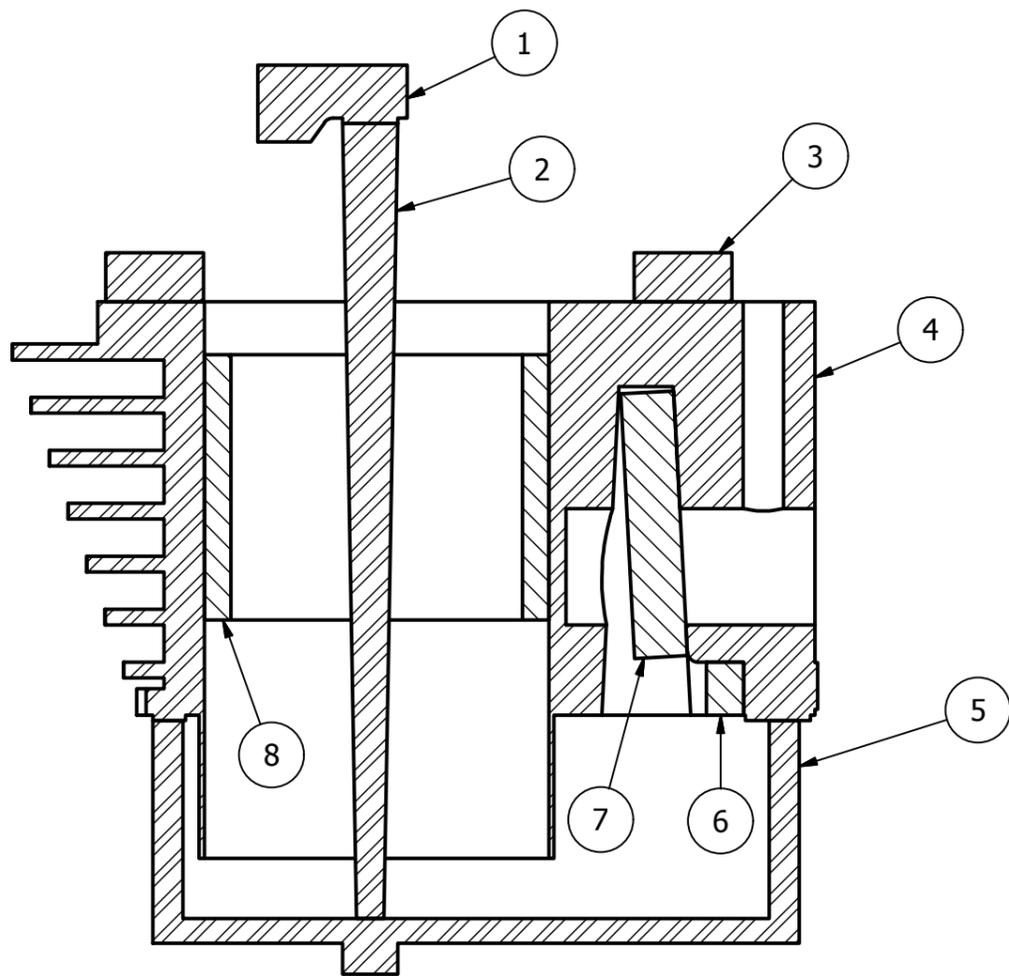
Figura A. 18 Ventana de la simulación en proceso

Fuente: Elaboración propia

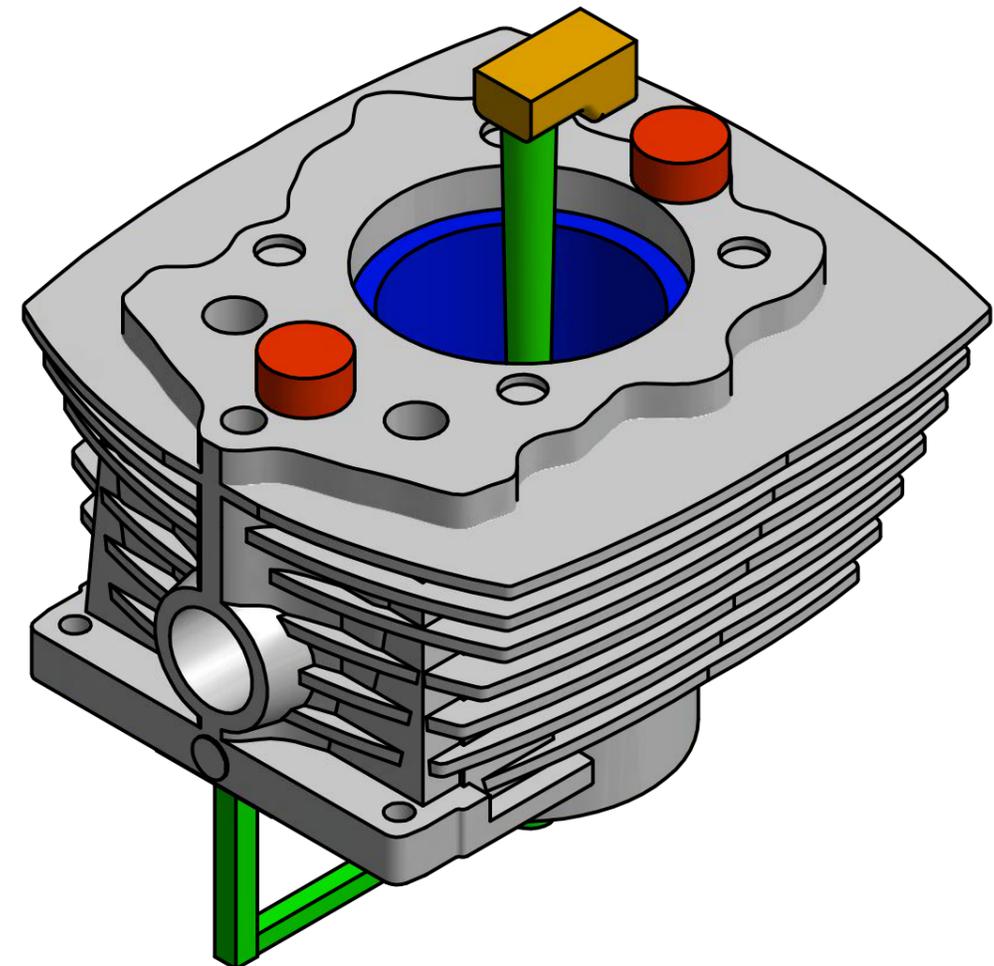
APÉNDICE B

Planos del sistema de colado

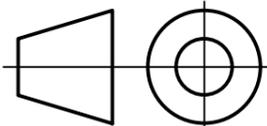
LISTA DE PARTES			
Nº DE PARTE	CANTIDAD	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
1	1	Copa de vaciado	Aluminio Al17Si3.5CuMg
2	1	Bebedero	Aluminio Al17Si3.5CuMg
3	2	Mazarota	Aluminio Al17Si3.5CuMg
4	1	Bloque	Aluminio Al17Si3.5CuMg
5	1	Corredor	Aluminio Al17Si3.5CuMg
6	1	Enfriador 1	ASTM A536
7	1	Enfriador 2	ASTM A536
8	1	Enfriador 3	ASTM A536



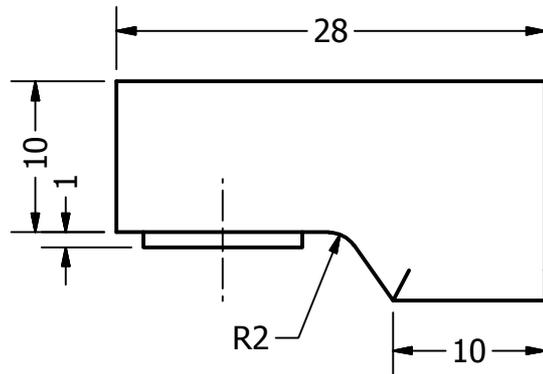
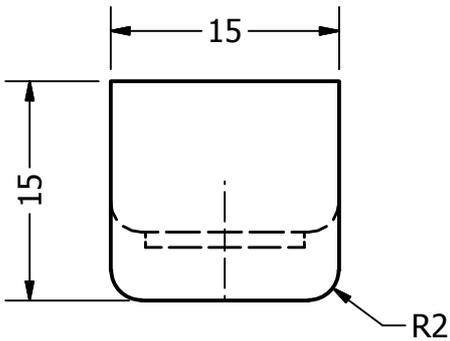
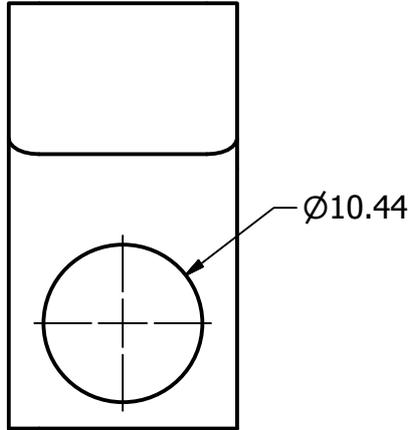
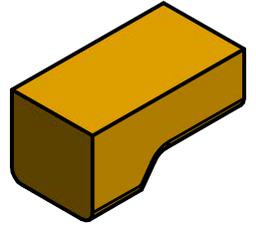
VISTA EN CORTE



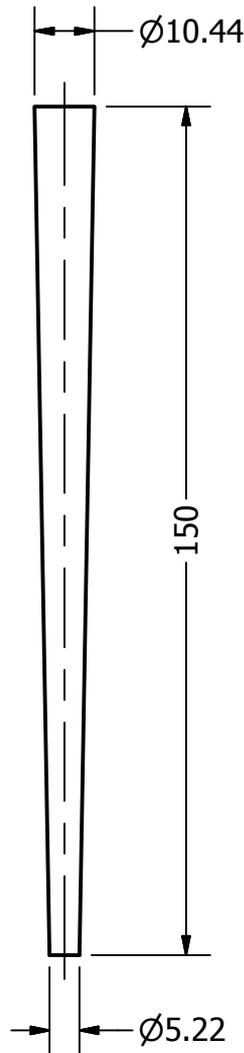
DIBUJADO POR Portilla - Torres	11/02/2017	PROYECTO DISEÑO DEL PROCESO DE FUNDICIÓN Y DESARROLLO DE UNA ALEACIÓN PARA LA MANUFACTURA DE UN BLOQUE DE MOTOR DE MOTOCICLETA		
REVISADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017	TÍTULO		
APROBADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017	VISTA DEL CONJUNTO		
		ESCALA 3 : 4		Peso 2,150 kg
				LÁMINA 1/10
				REV 1

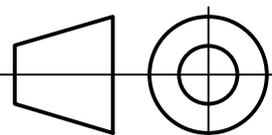


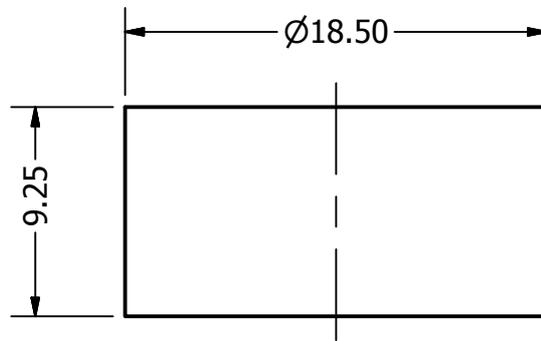
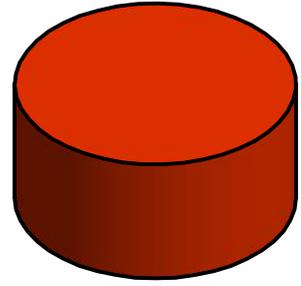
REBARBAR
Y ROMPER
ARISTAS VIVAS

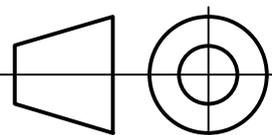


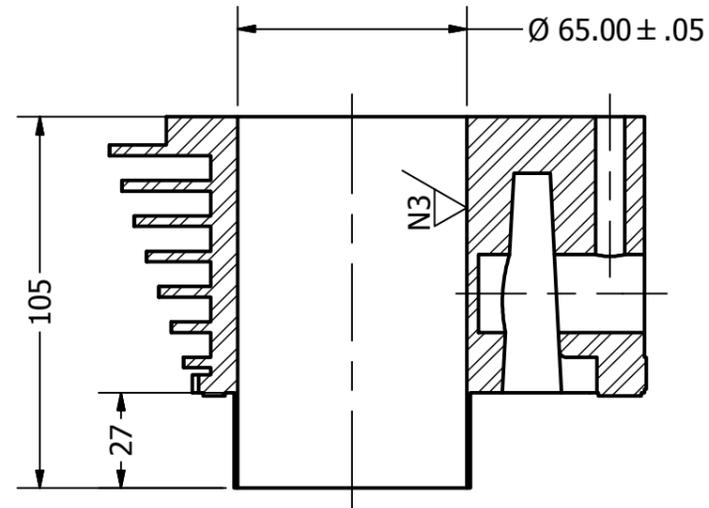
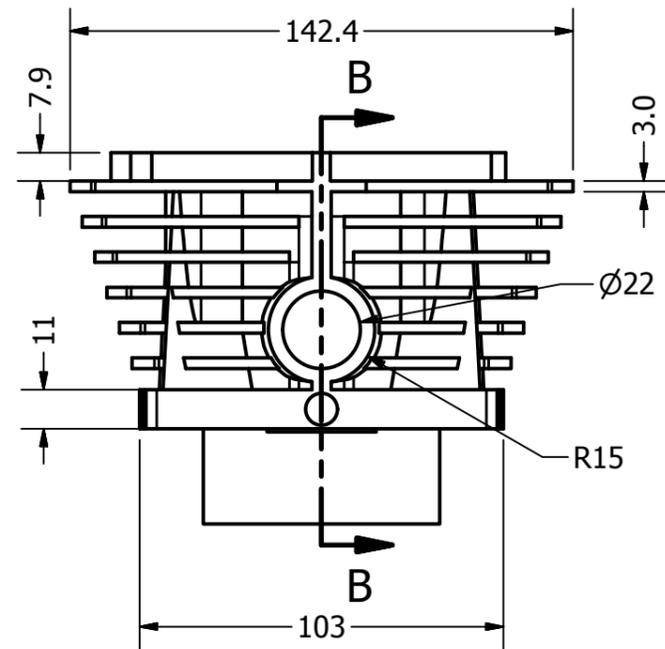
DIBUJADO POR Portilla - Torres	11/02/2017	PROYECTO DISEÑO DEL PROCESO DE FUNDICIÓN Y DESARROLLO DE UNA ALEACIÓN PARA LA MANUFACTURA DE UN BLOQUE DE MOTOR DE MOTOCICLETA			
REVISADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017	TÍTULO COPA DE VACIADO			
APROBADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017				
	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	A4	DIMENSIONES milímetros	INSTITUCIÓN ESPOL	REV 1
		ESCALA 2 : 1		Peso 0,014 kg	LÁMINA 2/10



DIBUJADO POR Portilla - Torres	11/02/2017	PROYECTO DISEÑO DEL PROCESO DE FUNDICIÓN Y DESARROLLO DE UNA ALEACIÓN PARA LA MANUFACTURA DE UN BLOQUE DE MOTOR DE MOTOCICLETA				
REVISADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017	TÍTULO BEBEDERO				
APROBADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017					
		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	A4	DIMENSIONES milímetros	INSTITUCIÓN ESPOL	REV 1
ESCALA 3 : 4		Peso 0,020 kg	LÁMINA 3/10			



DIBUJADO POR Portilla - Torres	11/02/2017	PROYECTO DISEÑO DEL PROCESO DE FUNDICIÓN Y DESARROLLO DE UNA ALEACIÓN PARA LA MANUFACTURA DE UN BLOQUE DE MOTOR DE MOTOCICLETA			
REVISADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017	TÍTULO MAZAROTA			
APROBADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017				
	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	A4	DIMENSIONES milímetros	INSTITUCIÓN ESPOL	REV 1
ESCALA 3 : 1		Peso 0,007 kg		LÁMINA 4/10	



CORTE B-B

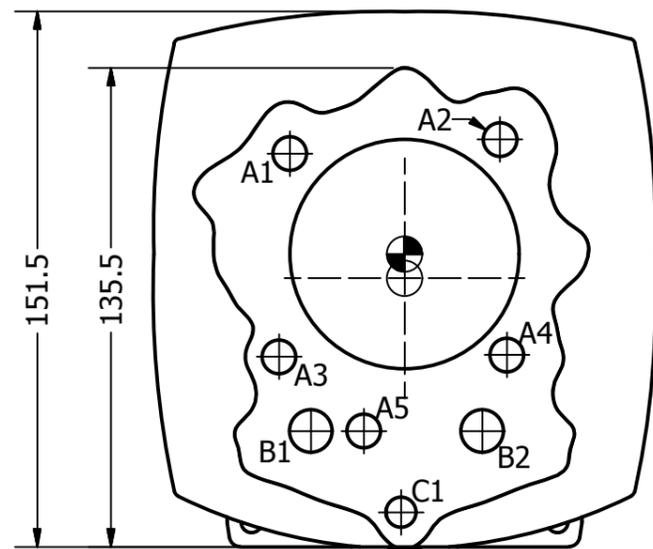
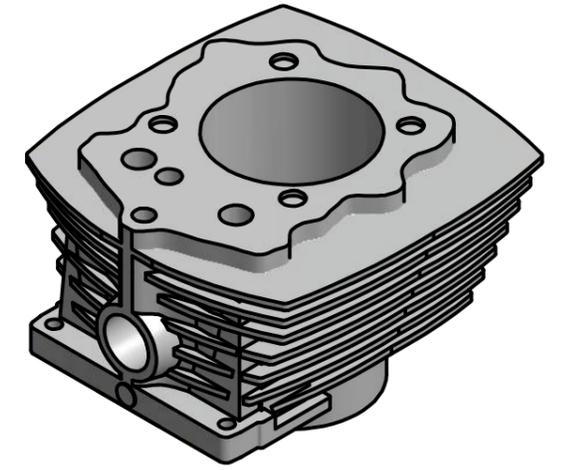
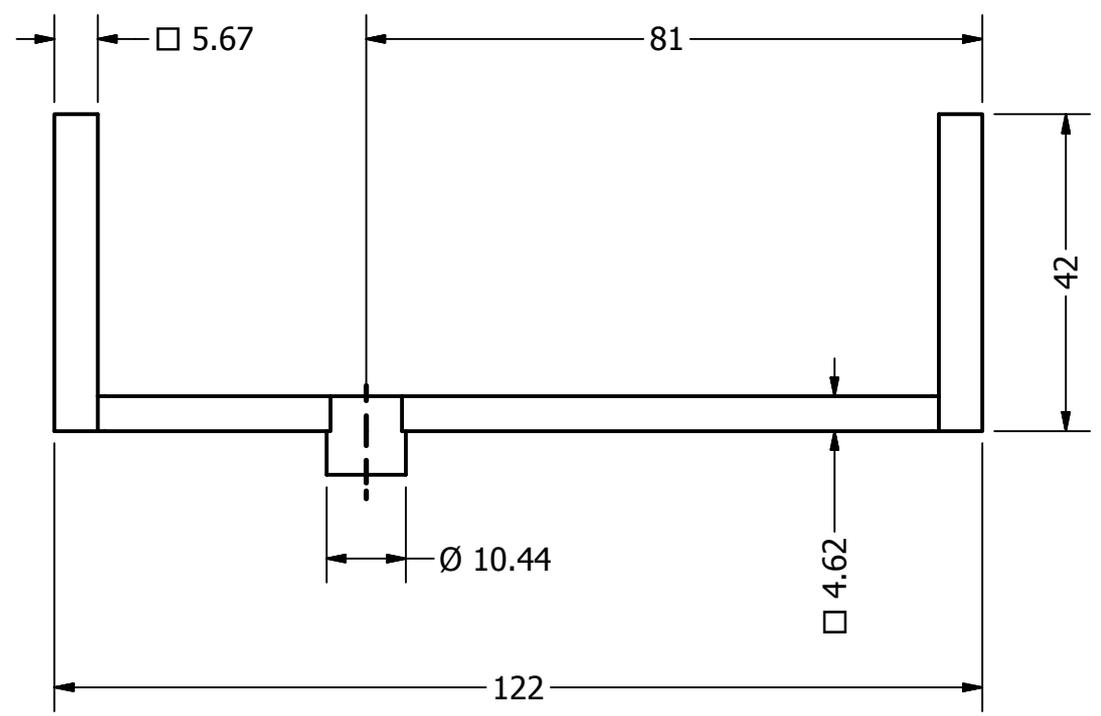
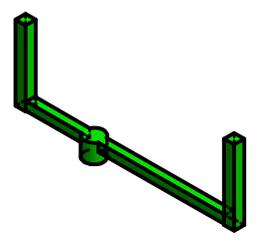


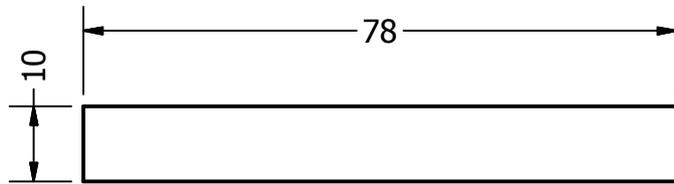
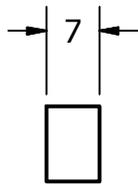
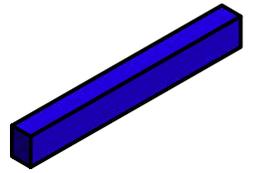
TABLA DE AGUJEROS			
AGUJERO	XDIM	YDIM	DESCRIPCIÓN
A1	-32.50	28.50	Ø9.50 ∇ 8.00
A2	27.00	32.50	Ø9.50 ∇ 8.00
A3	-35.50	-29.00	Ø9.50 ∇ 8.00
A4	29.00	-28.50	Ø9.50 ∇ 8.00
A5	-11.50	-50.00	Ø9.50 ∇ 8.00
B1	-26.50	-50.00	Ø12.00 ∇ 8.00
B2	22.00	-50.00	Ø12.00 ∇ 8.00
C1	-1.00	-73.00	Ø8.50 ∇ 44.00

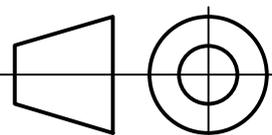
DIBUJADO POR Portilla - Torres	11/02/2017
REVISADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017
APROBADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	

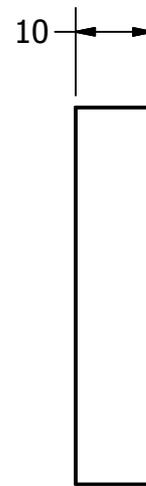
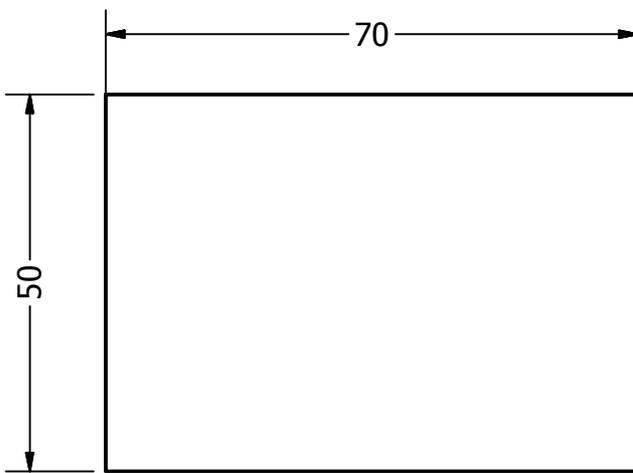
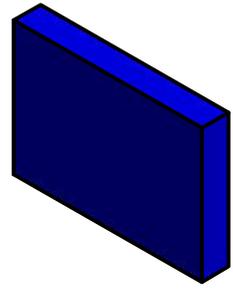
PROYECTO DISEÑO DEL PROCESO DE FUNDICIÓN Y DESARROLLO DE UNA ALEACIÓN PARA LA MANUFACTURA DE UN BLOQUE DE MOTOR DE MOTOCICLETA			
TÍTULO BLOQUE DE MOTOCICLETA			
A3	DIMENSIONES milímetros	INSTITUCIÓN ESPOL	REV 1
ESCALA 1 : 2		Peso 1,465 kg	LÁMINA 5/10

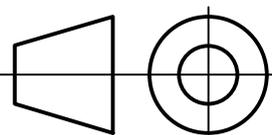


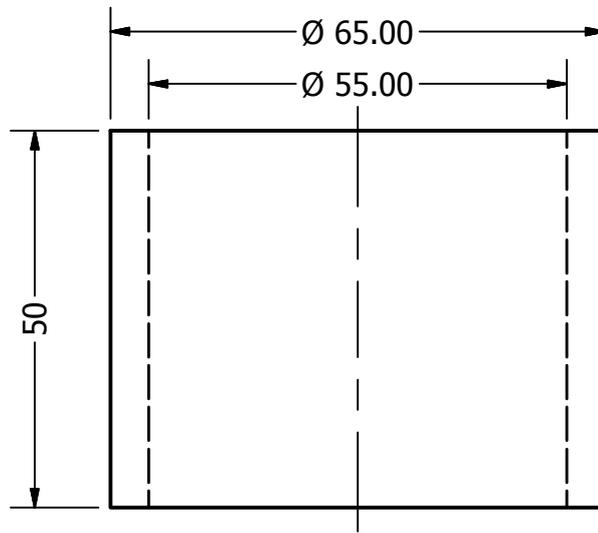
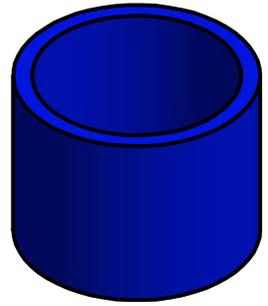
DIBUJADO POR Portilla - Torres	11/02/2017	PROYECTO DISEÑO DEL PROCESO DE FUNDICIÓN Y DESARROLLO DE UNA ALEACIÓN PARA LA MANUFACTURA DE UN BLOQUE DE MOTOR DE MOTOCICLETA			
REVISADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017	TÍTULO CORREDOR			
APROBADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017				
	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	A4	DIMENSIONES milímetros	INSTITUCIÓN ESPOL	REV 1
		ESCALA 1 : 1		Peso 0,016 kg	LÁMINA 6/10

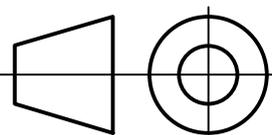


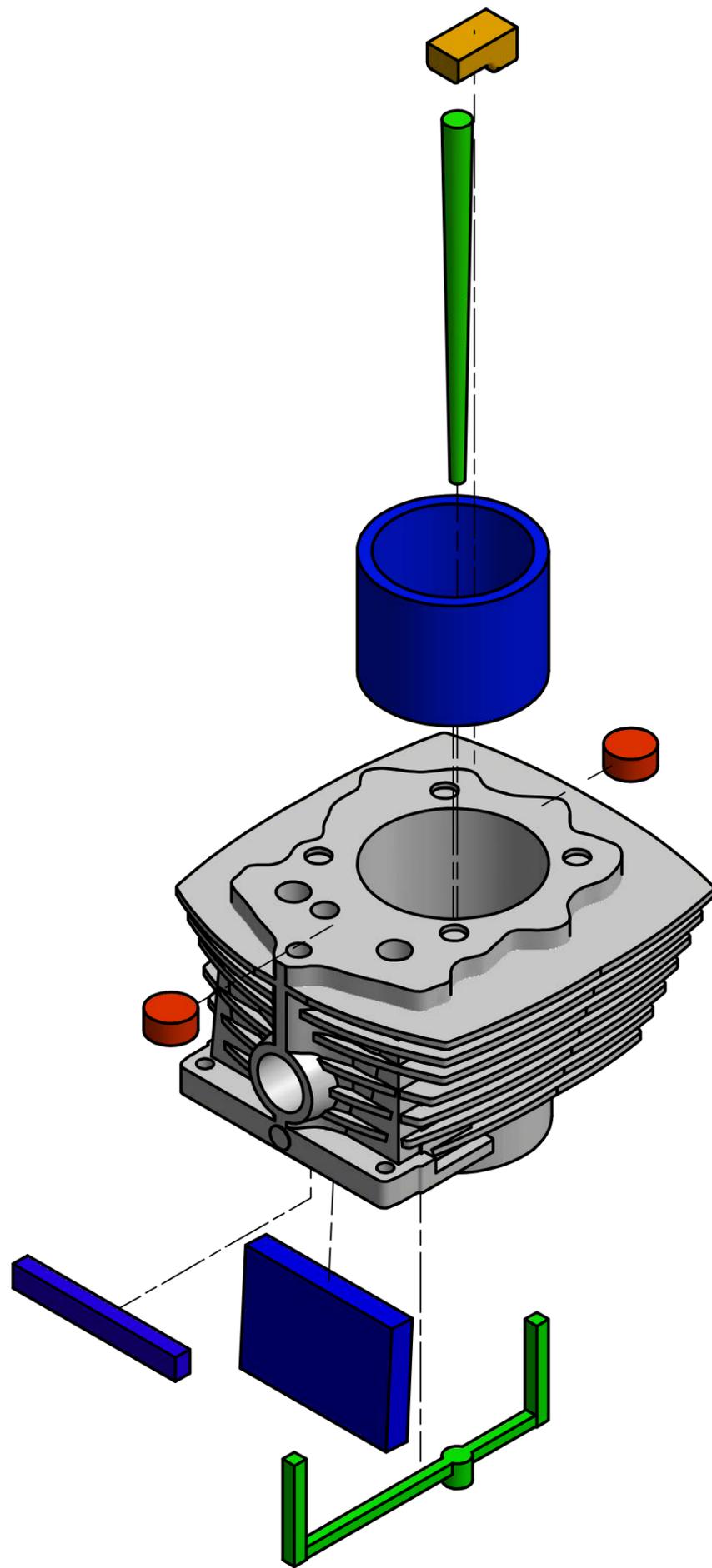
DIBUJADO POR Portilla - Torres	11/02/2017	PROYECTO DISEÑO DEL PROCESO DE FUNDICIÓN Y DESARROLLO DE UNA ALEACIÓN PARA LA MANUFACTURA DE UN BLOQUE DE MOTOR DE MOTOCICLETA			
REVISADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017	TÍTULO ENFRIADOR 1			
APROBADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017				
	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	A4	DIMENSIONES milímetros	INSTITUCIÓN ESPOL	REV 1
		ESCALA 1 : 1		Peso 0,039 kg	LÁMINA 7/10



DIBUJADO POR Portilla - Torres	11/02/2017	PROYECTO DISEÑO DEL PROCESO DE FUNDICIÓN Y DESARROLLO DE UNA ALEACIÓN PARA LA MANUFACTURA DE UN BLOQUE DE MOTOR DE MOTOCICLETA			
REVISADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017	TÍTULO ENFRIADOR 2			
APROBADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017				
	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	A4	DIMENSIONES milímetros	INSTITUCIÓN ESPOL	REV 1
		ESCALA 1 : 1		Peso 0,249 kg	LÁMINA 8/10



DIBUJADO POR Portilla - Torres	11/02/2017	PROYECTO DISEÑO DEL PROCESO DE FUNDICIÓN Y DESARROLLO DE UNA ALEACIÓN PARA LA MANUFACTURA DE UN BLOQUE DE MOTOR DE MOTOCICLETA			
REVISADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017	TÍTULO ENFRIADOR 3			
APROBADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017				
	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	A4	DIMENSIONES milímetros	INSTITUCIÓN ESPOL	REV 1
		ESCALA 1 : 1		Peso 0,335 kg	LÁMINA 9/10



DIBUJADO POR Portilla - Torres	11/02/2017	PROYECTO DISEÑO DEL PROCESO DE FUNDICIÓN Y DESARROLLO DE UNA ALEACIÓN PARA LA MANUFACTURA DE UN BLOQUE DE MOTOR DE MOTOCICLETA		
REVISADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017	TÍTULO VISTA EN EXPLOSIÓN DEL SISTEMA DE COLADO		
APROBADO POR Msc. Carola Sánchez	13/02/2017			
		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		A3 DIMENSIONES milímetros
		INSTITUCIÓN ESPOL		REV 1
ESCALA 1 : 2		Peso 2,150 kg	LÁMINA 10/10	