



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**MOLDE PERMANENTE PARA PROBETAS DE ALEACIONES DE  
ALUMINIO APLICANDO LA NORMA ASTM B-108**

**AUTOR:**

**BYRON STALIN GÓMEZ ALENCASTRO**

**DIRECTOR:**

**ING. FERNANDO VINICIO VALENCIA AGUIRRE, MSc.**

**Ibarra, 2018**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

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

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la ley de educación superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

<b>DATOS DE CONTACTO</b>		
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003501184	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Gómez Alencastro Byron Stalin	
<b>DIRECCIÓN:</b>	Cotacachi, Calle Imbabura y Pedro Moncayo	
<b>EMAIL:</b>	bsgomeza@utn.edu.ec	
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	2-915-474	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b> 0961049287

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	<b>Molde permanente para probetas de aleaciones de aluminio aplicando la norma ASTM-B108</b>
<b>AUTOR:</b>	Gómez Alencastro Byron Stalin
<b>FECHA:</b>	26/10/2018
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Mecatrónica
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Fernando Vinicio Valencia Aguirre, MSc.

## 2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 26 días del mes de Octubre del 2018.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Byron Stalin Gómez Alencastro', is written over a horizontal line.

Firma

Nombre: Byron Stalin Gómez Alencastro

Cédula: 100350118-4

### CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado: “**MOLDE PERMANENTE PARA PROBETAS DE ALEACIONES DE ALUMINIO APLICANDO LA NORMA ASTM B108**”, certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Byron Stalin Gómez Alencastro, bajo mi supervisión.



Ing. Fernando Valencia, MSc  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTO**

*Me gustaría agradecer a mi madre Patricia Alencastro, por apoyarme a lo largo de todos estos años, por ser mi guía y consejera en todo este tiempo de estudio.*

*A mis abuelos Alfonso Alencastro y Mercedes Sarzosa por su apoyo incondicional, por creer en mi capacidad y por sentar en mí las bases de responsabilidad y superación.*

*A Katherine Haro, por su comprensión, por estar conmigo incluso en los momentos más difíciles, por su motivación y su ayuda a lo largo de toda mi etapa universitaria.*

*A mi tutor Ing. Fernando Valencia, por su apoyo y paciencia, su guía me ayudó durante todo el tiempo de investigación y desarrollo del presente proyecto.*

*Finalmente, quisiera agradecer a todos mis maestros, por ser pioneros de mis conocimientos, por instruirme y brindarme sus mejores conocimientos útiles para toda la vida.*

*Parte de este trabajo les pertenece.*

*Stalin.*

## **DEDICATORIA**

*Dedico este proyecto a mi madre, quien me dio la vida, educación, apoyo y consejos, quien supo ser padre y madre a la vez y salir adelante sin lamentarse, sin su ayuda no habría sido posible culminar este proyecto.*

*A mi padre, aunque se acabó su recorrido por este mundo, mientras estuvo presente supo guiarme por el camino de la superación.*

*A mis abuelos por estar siempre en los momentos más importantes de mi vida, y por ser el ejemplo para salir adelante. Sus canas son sinónimo de sabiduría, me enseñaron muchas cosas vitales para la vida y me encaminaron por el buen sendero.*

*A mi novia Katherine, por ser mi apoyo fundamental en momentos difíciles, por haber dedicado tiempo y esfuerzo para ayudarme a culminar una meta más y por sobre todas las cosas por ser una gran persona.*

*Los llevo siempre en mi corazón.*

*Stalin.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN .....</b>	<b>I</b>
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA .....</b>	<b>I</b>
<b>CONSTANCIAS .....</b>	<b>II</b>
<b>CERTIFICACIÓN.....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>VI</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>X</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>XV</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>XVI</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos .....	2
1.1.1 Objetivo General.....	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Problema .....	3
1.4 Justificación .....	4
1.5 Alcance .....	4
1.6 Limitaciones.....	5
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>6</b>
<b>2. FUNDAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
2.1 Especificaciones estándar para fundiciones de aleaciones de aluminio en molde permanente (ASTM B-108) .....	6
2.1.1 Límites de composición química.....	6
2.1.2 Requerimientos mecánicos.....	6
2.1.3 Probetas para ensayos de tracción.....	7
2.2 Aluminio y sus aleaciones .....	8

2.2.1	Aluminio.....	8
2.2.2	Aleaciones de aluminio para fundición.....	8
2.2.2.1	Aleaciones de aluminio-silicio-magnesio.....	9
2.3	Aceros y su clasificación.....	10
2.4	Proceso de fundición.....	11
2.4.1	Molde permanente.....	12
2.4.2	Principales elementos que conforman una fundición.....	12
2.4.3	Defectos presentes en el proceso de fundición.....	13
2.4.4	Consideraciones para el diseño de piezas fundidas.....	14
2.4.5	Tiempo Solidificación.....	14
2.4.6	Tiempo de llenado.....	15
2.5	Herramientas de corte.....	15
2.5.1	Formación de viruta.....	16
2.6	Parámetros de desbaste.....	18
2.6.1	Velocidad de corte ( $V_c$ ).....	18
2.6.2	Velocidad del husillo (N).....	18
2.6.3	Avance por diente ( $f_z$ ).....	18
2.6.4	Velocidad de avance ( $V_f$ ).....	18
2.6.5	Profundidad de corte ( $a_p$ ).....	19
2.7	Software CAD-CAM.....	19
2.8	Funciones código G y código M.....	21
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>22</b>
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>		<b>22</b>
3.1	Fuentes bibliográficas.....	22
3.2	Diseño y análisis CAD.....	23
3.3	Selección de materiales.....	23
3.4	Simulación de fundición.....	23
3.5	Herramientas CAD-CAM.....	23
3.6	Fabricación e implementación.....	24
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>27</b>
<b>4. RESULTADOS.....</b>		<b>27</b>
4.1	Parámetros de diseño.....	27
4.2	Diseño CAD del molde permanente.....	27
4.2.1	Diseño modelo de fundición.....	27



4.2.2	Análisis de ángulos de desmoldeo.....	28
4.2.3	Aplicación de ángulos de desmoldeo. ....	29
4.2.4	Tolerancias a la contracción. ....	29
4.2.5	Plano de partición del molde permanente.....	29
4.2.6	Generación del molde 3D .....	30
4.3	Selección del material a fundir .....	31
4.4	Selección del material a mecanizar.....	31
4.5	Cálculos parámetro de fundición .....	33
4.5.1	Tiempo de solidificación. ....	33
4.5.2	Tiempo y velocidad de llenado.....	34
4.6	Simulación de llenado del molde.....	36
4.7	Análisis CAM .....	42
4.8	Selección de herramental .....	43
4.9	Cálculo parámetros de corte.....	43
4.10	Simulación proceso de mecanizado. ....	50
4.11	Hoja de proceso de mecanizado.....	53
4.12	Colado y fundición.....	53
4.13	Rectificado de la probeta .....	56
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>57</b>
<b>5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>		<b>57</b>
5.1	Análisis de llenado mediante simulación.....	57
5.1.1	Temperatura de la colada a 630°C.....	57
5.1.2	Temperatura de la colada a 700°C.....	57
5.1.3	Temperatura de la colada a 750°C.....	58
5.2	Análisis de los parámetros de corte .....	59
5.3	Análisis dimensional del material fundido .....	60
5.3.1	Cilindricidad mazarota lateral .....	60
5.3.2	Cilindricidad sección de prueba .....	62
5.3.3	Longitud de la sección de prueba .....	63
5.3.4	Cilindricidad sección de sujeción.....	64
5.3.5	Copa de vaciado.....	65
5.3.6	Bebedero.....	66
5.3.7	Canal de alimentación principal .....	67
5.3.8	Pocillo.....	68

5.3.9	Mazarota superior.....	69
5.4	Análisis de piezas obtenidas mediante fundición .....	70
5.5	Análisis de porosidades.....	72
5.6	Análisis de composición química y ensayos destructivos. ....	78
<b>CAPÍTULO VI.....</b>		<b>79</b>
<b>6. ANÁLISIS DE COSTOS.....</b>		<b>79</b>
<b>CAPÍTULO VII .....</b>		<b>80</b>
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>80</b>
7.1	Conclusiones.....	80
7.2	Recomendaciones .....	81
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>82</b>

## Resumen

El objetivo del presente proyecto es construir un molde permanente para probetas de aleaciones de aluminio aplicando la norma ASTM B-108 (*Standard Specification for Aluminum-Alloy Permanent Mold Castings*) determinando de manera heurística los parámetros de fundición adecuados como son temperatura del molde, temperatura del metal, tiempo de llenado y tiempo de solidificación.

El análisis de los parámetros de fundición se realizó mediante simulaciones, mismas que mostraron posibles fallas internas de la probeta como porosidades por contracción, aire atrapado, falta de llenado y juntas frías, además se pudo analizar el comportamiento de solidificación del flujo y metalúrgico de la probeta.

La construcción del molde permanente se realizó por un proceso de arranque de viruta mediante un centro de mecanizado CNC (Control Numérico Computarizado), aprovechando la disponibilidad del laboratorio denominado Procesos de Manufactura y Centro de Mecanizado, de la UTN, que actualmente cuenta de un torno GL240 y una fresadora ROMI D800 que a diferencia de las máquinas convencionales o manuales, estas constan de un sistema que permite controlar en todo momento las trayectorias y la velocidad de la herramienta que está montada en la máquina mediante código G que es su lenguaje de programación específico.

La técnica de fundición empleada para la obtención de la probeta de aluminio fundido es denominada colado por gravedad, que se realiza vertiendo el metal fundido sobre el molde permanente llenando así el mismo por el propio peso del material, teniendo como resultado la probeta que fue analizada y validada por simulación.

### **Abstract**

The objective of the project is to build a permanent mold for aluminum alloy test tubes applying the standard ASTM B 108 (Standard specification for aluminum alloy permanent mold castings) determining heuristically the suitable casting parameters such as mold temperature, metal temperature, filling time and solidification time.

The analysis of the parameters of casting were performed by simulations, which showed possible internal faults of the specimen such as shrinkage porosities, trapped air, lack of filling and cold joints, in addition the behavior of flow solidification and metallurgical behavior can be analyzed of the test tube

The construction of the permanent mold was made by chip removal process through a CNC machining center (Computerized Numerical Control), taking advantage of the availability of the Laboratory called Manufacturing Processes and Machining Center, of the UTN, which currently has a GL240 lathe and a milling machine ROMI D800 that unlike conventional or manual machines, these consist of a system that allows to control at all times the trajectories and the speed of the tool that is mounted on the machine by means of G code that is its specific programming language.

The casting technique used to obtain the cast aluminum specimen is called gravity casting, which is carried out by pouring the molten metal onto the permanent mold, filling it by the weight of the metal, resulting in the specimen that was analyzed and validated with the previously performed simulation.

## Índice de figuras

Figura 2.1. Molde permanente para probetas de A-A.....	6
Figura 2.2. Probeta estándar para ensayos de tracción .....	7
Figura 2.3. Diagrama de equilibrio aluminio-silicio-magnesio .....	9
Figura 2.4. Tipos de moldes a) Molde abierto b) Molde cerrado .....	11
Figura 2.5. Diagrama procesos de fundición .....	11
Figura 2.6. Esquema de una fundición característica con mazarotas y compuertas. ....	12
Figura 2.7. Software CAD. ....	20
Figura 2.8. Software CAM.....	20
Figura 3.1. Diagrama metodológico .....	22
Figura 3.2. Etapas de construcción del molde permanente.....	25
Figura 3.3. Etapas del proceso de fundición .....	26
Figura 4.1. Modelo de fundición.....	27
Figura 4.2. Análisis de ángulos de salida a) dirección de desmoldeo positiva b) dirección de desmoldeo negativa.....	28
Figura 4.3. Caras sin ángulo de desmoldeo .....	29
Figura 4.4. Plano de partición a) vista lateral b) vista frontal.....	30
Figura 4.5. Molde para probetas .....	30
Figura 4.6. Volumen y área superficial modelo de fundición.....	34
Figura 4.7. Extremo y base del bebedero.....	35
Figura 4.8. Vida útil de las herramientas de corte .....	43
Figura 4.9. Máxima profundidad de corte .....	44
Figura 4.10. Cero pieza.....	50
Figura 4.11. Definición de las dimensiones del material.....	50
Figura 4.12. Forma de la pieza a mecanizar .....	51
Figura 4.13. Operaciones CAM .....	51
Figura 4.14. Fundición del metal. ....	54
Figura 4.15. Preparación de la matriz .....	54
Figura 4.16. Pre calentamiento de la matriz a 450°C .....	55
Figura 4.17. Vertido del metal fundido a 750°C.....	55
Figura 4.18. Extracción de la pieza.....	56
Figura 4.19. Probeta maquinada .....	56
Figura 5.1. Llenado del molde a $T_{Colada} = 630^{\circ}\text{C}$ .....	57
Figura 5.2. Llenado del molde a $T_{Colada} = 700^{\circ}\text{C}$ .....	58

Figura 5.3. Llenado del molde a $T_{\text{Colada}} = 750^{\circ}\text{C}$ .....	58
Figura 5.4. Análisis dimensional mazarota lateral.....	61
Figura 5.5. Diferencia de medidas de la cilindridad de la mazarota lateral.....	61
Figura 5.6. Análisis dimensional del diámetro de la sección de prueba.....	62
Figura 5.7. Diferencia de medidas de la cilindridad del diámetro de sección de prueba.....	63
Figura 5.8. Longitud sección de prueba.....	63
Figura 5.9 Diferencia de medidas de longitud de la sección de prueba.....	64
Figura 5.10. Análisis dimensional sección de sujeción.....	64
Figura 5.11. Diferencia de medias de cilindridad de la sección de sujeción.....	65
Figura 5.12. Análisis dimensional copa de vaciado.....	65
Figura 5.13. Diferencia de medidas de la copa de vaciado.....	66
Figura 5.14. Análisis dimensional del bebedero.....	66
Figura 5.15. Diferencia de medidas del bebedero.....	67
Figura 5.16. Análisis dimensional canal de alimentación principal.....	67
Figura 5.17. Diferencia de medidas del canal de alimentación principal.....	68
Figura 5.18. Análisis dimensional pocillo.....	68
Figura 5.19. Diferencia de medidas del pocillo.....	69
Figura 5.20. Análisis dimensional mazarota superior.....	69
Figura 5.21. Diferencia de medidas de la mazarota.....	70
Figura 5.22. Ensayo 1.....	71
Figura 5.23. Ensayo 2.....	71
Figura 5.24. Ensayo 3.....	72
Figura 5.25. Análisis de porosidades a) vista en corte de porosidades b) vista isométrica de porosidades.....	73
Figura 5.26. Comparación de porosidades copa de vaciado y mazarotas a) simulación b) pieza fundida.....	74
Figura 5.27. Comparación de porosidades en la parte inferior de las mazarotas laterales a) simulación b) pieza fundida.....	75
Figura 5.28. Comparación de porosidades mazarota inferior a) simulación b) pieza fundida.....	76
Figura 5.29. Comparación de porosidades en la parte superior de las mazarotas laterales a) simulación b) pieza fundida.....	77

## Índice de tablas

Tabla 2.1. Dimensiones de probetas estándar para ensayos de tracción.....	7
Tabla 2.2. Sistema de designación de aleaciones de aluminio para fundición .....	9
Tabla 2.3. Clasificación de los aceros.....	10
Tabla 2.4. Defectos en fundiciones.....	13
Tabla 2.5. Tolerancias a la contracción. ....	14
Tabla 2.6. Clasificación herramientas de corte .....	16
Tabla 2.7. Tipos de viruta .....	17
Tabla 4.1. Composición química aleación 356.0 .....	31
Tabla 4.2. Propiedades termodinámicas y mecánicas de la aleación 356.0.....	31
Tabla 4.3. Composición química acero A-36 .....	32
Tabla 4.4. Propiedades termodinámicas y mecánicas acero A-36.....	33
Tabla 4.5. Simulación de llenado.....	36
Tabla 4.6. Herramientas para el maquinado del molde .....	43
Tabla 4.7. Parámetros de corte para fresas punta recta de 20mm.....	45
Tabla 4.8. Parámetros de corte para fresas punta recta de 6mm.....	47
Tabla 4.9. Parámetros de corte para fresas punta esférica de 6mm .....	48
Tabla 4.10. Parámetros de corte para brocas de 7/16 in .....	49
Tabla 4.11. Proceso de mecanizado .....	52
Tabla 5.1. Análisis de los parámetros de corte .....	59
Tabla 5.2. Análisis de composición química .....	78
Tabla 5.3. Análisis de resistencia a la tracción .....	78
Tabla 6.1. Análisis de costos del molde permanente .....	79

**Índice de ecuaciones**

Ecuación 2.1. Tiempo de solidificación.....	14
Ecuación 2.2. Tiempo de llenado.....	15
Ecuación 2.3. Número de revoluciones .....	18
Ecuación 2.4. Velocidad de avance .....	19
Ecuación 2.5. Profundidad de corte .....	19
Ecuación 4.1. Constante del tiempo de solidificación .....	33
Ecuación 4.2. Ecuación de Bernoulli.....	35
Ecuación 4.3. Ecuación velocidad de flujo volumétrico.....	35
Ecuación 4.4. Relación entre el avance y la profundidad de pasada .....	44



**ANEXOS**

ANEXO 1. Límites de composición química .....	87
ANEXO 2. Requerimientos mecánicos .....	89
ANEXO 3. Modelo de fundición para probetas de aleaciones de aluminio .....	91
ANEXO 4. Dimensiones de varios tipos de probetas para ensayos de tracción.....	93
ANEXO 5. Tipos de sujeción para probetas .....	95
ANEXO 6. Funciones código “G” y código “M.....	97
ANEXO 7. Parámetros de desbaste .....	101
ANEXO 8. Hoja de procesos .....	103
ANEXO 9. Análisis dimensional.....	110
ANEXO 10. Ensayo de composición química y tracción.....	116
ANEXO 11. Análisis de costos.....	121
ANEXO 12. Planos.....	125

## CAPÍTULO I

### 1. Introducción

Con el paso de los años, los procesos y técnicas de modelado y moldeado para las fundiciones han experimentado muchos avances desde sus inicios, las cuales se fueron perfeccionando y se convirtieron en nuevos procesos de fabricación. (González Aquino, Ramírez Alfonso, & Villalta Valenzuela, 2015, pág. 1).

Los procesos de fundición de metales consisten básicamente en el vertido del metal líquido en un molde con la geometría de la pieza a fabricar en su superficie interior, y su posterior enfriamiento y solidificación en el interior de dicho molde. Las características de cualquier proceso de fundición dependen directamente del material del que está fabricado el molde. Por ello, es muy común clasificar los moldes de fundición en función del material con el que están contruidos. De este modo, se establece una primera clasificación en la que se diferencian dos grandes grupos de moldes de fundición: desechables y permanentes. (Gutiérrez Cabanes, 2013, pág. 2).

Los moldes desechables se caracterizan por el hecho de poder ser utilizados pocas veces, debido a que deben separarse de la pieza tras su enfriamiento y así permitir su correcta evacuación. Estos moldes suelen estar formados por arena, yeso, cerámicas u otros materiales similares (Gutiérrez Cabanes, 2013, pág. 2). Usualmente la duración de este tipo de moldes esta entre 1 a 100 operaciones de vaciado aproximadamente. (Corrado, 2001, pág. 283).

Los moldes permanentes se pueden utilizar repetidamente para obtener un gran número de piezas iguales debido a que están contruidos con materiales que mantienen sus propiedades a altas temperaturas, como pueden ser el acero o el grafito. Además, son mejores conductores térmicos y por ello las velocidades de enfriamiento son mayores que en los moldes desechables, afectando esto a la microestructura o al tamaño de grano y por tanto a las propiedades mecánicas de la pieza fabricada, por una parte, y al ritmo de producción y economía del proceso de fabricación, por otro. (Gutiérrez Cabanes, 2013, pág. 2). Un molde es considerado permanente cuando supera las 1,000 operaciones de vaciado y generalmente su vida útil es de hasta 40,000 fundiciones. (Kutz, 2002, pág. 954).

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo General.

Realizar el diseño, análisis, y construcción de un molde permanente para probetas de aleaciones de aluminio aplicando la norma ASTM B-108.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Diseñar la matriz en molde permanente (coquilla) mediante software CAD.
- Determinar de manera heurística los parámetros de fundición a través de simulaciones.
- Determinar los parámetros de corte para la elaboración del molde permanente con un centro de mecanizado de control numérico.
- Construir la matriz en molde permanente mediante un proceso de mecanizado CNC.
- Validar el diseño del molde y la simulación de la fundición, mediante la comprobación de la conformidad de la probeta con la norma ASTM B-108.

## 1.2 Antecedentes

El aluminio (elemento muy abundante en la corteza terrestre) y sus aleaciones se destacan por su ligereza y resistencia a la corrosión, y por su buena conductividad térmica y eléctrica. Las propiedades mecánicas del metal puro son bastante moderadas, pero, aleado con otros elementos, mejoran notablemente. (Romeva, 2008, pág. 133).

Se han realizado investigaciones sobre el efecto del refinador de grano Ti-B sobre una nueva aleación de aluminio (Al-Zn-Mg-Cu) de alta resistencia con altas cantidades de Zn (15%) aplicado la norma ASTM B-108, cuyo objetivo es verificar si la resistencia mecánica del material es mejorada, analizando previamente si la microestructura del grano disminuye notablemente. (Mostafapoor, 2015).

En el año 2013, Mostafa Karamouz , Mortaza Azarbarmas, Masoud Emamy , Mohammad Alipour pertenecientes al Departamento de Ingeniería de Materiales, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de Tabriz realizaron el estudio de los efectos de adición de litio (Li) sobre la microestructura, la dureza y las propiedades mecánicas de la aleación de aluminio A380, logrando verificar que su resistencia a la tracción y valores de elongación aumentaron en un 3.8% a 6% respectivamente, las probetas para realizar los ensayos destructivos fueron obtenidas aplicando la norma ASTM B-108. (Kamarouz, Mortaza, Masoud, & Mohammad, 2013).

En el trabajo de Sandra Carolina Murcia perteneciente al grupo de investigación en Materiales de Ingeniería, Universidad Eafit, Medellín, Colombia realizó el análisis de sensibilidad de flujos de aluminio en moldes permanentes al tamaño de malla y coeficiente de transferencia térmica haciendo una simulación del llenado en la producción de probetas de tensión mediante fundición en molde permanente con el programa SolidCast®, mostrando los problemas de dependencia de malla que se tienen al utilizar tres parámetros de proceso diferentes y evaluando la sensibilidad que presenta el código al coeficiente de transferencia térmica (HTC). (Murcia, Ossa Henao, & Paniagua, 2011).

El propósito de este trabajo de investigación es seguir ampliando la información que existe sobre el tema, tanto desde el punto de vista teórico, así como del práctico, y ponerlo a disposición de quienes lo requieran, ya que en el Ecuador no existen trabajos relacionados con la construcción de moldes permanentes aplicando la norma antes mencionada.

### 1.3 Problema

Debido a la apertura comercial existen muchas empresas que están involucradas en el área de manufactura y que fabrican una gran cantidad de productos de aleaciones de aluminio, mismos que deben tener un control, para poder ser comercializados. Para garantizar un producto fabricado en molde permanente, la aleación debe ser sometida a un control de calidad cumpliendo con los estándares que establece la norma ASTM B 108 (*Standard Specification for Aluminum-Alloy Permanent Mold Castings*), que determina si la composición química y la resistencia mecánica de la misma, se encuentran dentro de los parámetros establecidos. (ASTM B-108).

Hoy en día se encuentran productos de aleaciones de aluminio que son importados como los acoples rápidos CAMLOCK, mismos que no son sometidos a un control de calidad dentro del país para que puedan ser comercializados. Los defectos en las aleaciones de aluminio son un problema muy frecuente como es la porosidad que se origina durante la solidificación de la pieza. Para evitar estos problemas es necesario que la aleación con la que es fabricado el producto sea sometida a un control, verificando si cumple con los estándares que establece la norma antes mencionada.

La empresa **FUNDICIÓN Y MAQUINADO INDUSTRIAL FMI S.A** de la ciudad de Otavalo, que en el transcurso de este documento se denominará FMI, se encuentra incursionando en la fabricación de acoples rápidos CAMLOCK con el fin de reemplazar a

futuro las importaciones con producción local, aportando así directamente al cambio de la matriz productiva del país.

Es por ello que se desea diseñar y construir un molde permanente para la elaboración de probetas de aleaciones de aluminio, las cuales serán utilizadas para realizar un control de calidad de la aleación, ayudando así a la empresa **FMI** a que sus productos sean comercializados, siempre y cuando cumpla con los requerimientos establecidos por la norma mencionada anteriormente.

#### **1.4 Justificación**

La producción de acoples rápidos CAMLOCK es una de las principales metas que se ha propuesto la empresa **FMI** de la ciudad de Otavalo, con el fin de reemplazar las importaciones con producción local. Aprovechando que la empresa antes mencionada se encuentra incursionando en la fabricación de acoples rápidos CAMLOCK, se va a realizar un molde permanente con materiales de comercialización nacional para elaborar probetas de aleaciones de aluminio, mismas que serán sometidas a un análisis de composición química y a ensayos destructivos (ensayo de tracción), ya que, en el país no existe una normativa que especifique los requisitos que deben cumplir dichos productos.

Logrando así, que la empresa pueda verificar si la composición química y la resistencia mecánica de la aleación con la que es fabricada el producto se encuentran dentro de los estándares establecidos por la norma ASTM B-108 (*Standard Specification for Aluminum-Alloy Permanent Mold Castings*).

La empresa **FMI** contribuye en el desarrollo económico y social, generando nuevas fuentes de empleo relacionadas con la investigación y desarrollo en proyectos metalúrgicos, mecánicos y estructurales que permitan atender demandas insatisfechas detectadas en el país y generando nuevas fuentes de riqueza.

#### **1.5 Alcance**

- Realizar el diseño 3D del molde mediante Software CAD aplicando la norma ASTM B-108 para efectuar un análisis de los parámetros de fundición, los cuales ayudan a garantizar que la probeta no presente defectos internos.
- Una vez definido el diseño 3D y realizado un análisis de los parámetros de fundición se procede a realizar los cálculos de mecanizado y las respectivas operaciones con

software CAM para determinar las trayectorias de la herramienta y verificación del código “G” del molde a fabricar.

- Realizar un análisis para determinar el material del molde permanente.
- Obtener la probeta de aluminio fundido mediante la técnica de fundición de colado por gravedad, para posteriormente realizar un análisis para verificar los parámetros de fundición obtenidos con la pieza fundida.
- Realizar un análisis de composición química y un ensayo de tracción de la probeta obtenida en laboratorios especializados.

## **1.6 Limitaciones**

- Con las dimensiones específicas dadas por la norma, existen ciertas zonas, las cuales se deben realizar pequeñas rectificaciones con herramientas manuales para garantizar el diseño, por razones de no contar con un cuarto eje en la máquina CNC.
- Se analizó el diseño del molde y se verifica que es necesario una máquina automatizada de cierre y apertura de matrices, debido a que el molde permanente tiene un peso elevado, pero actualmente la empresa **FMI** no dispone de este equipo, por lo tanto, se optó en utilizar una máquina de cierre y apertura de matrices manual que dificulta un poco el trabajo en la obtención de piezas fundidas.
- Para la realización de ensayos destructivos y análisis de composición química, se necesita de laboratorios certificados, por lo que se tiene previsto realizar dichas pruebas en centros especializados.

## CAPÍTULO II

### 2. Fundamento Teórico

#### 2.1 Especificaciones estándar para fundiciones de aleaciones de aluminio en molde permanente (ASTM B-108)

La norma ASTM B-108 indica los requerimientos que deben tener las fundiciones de aluminio elaboradas en molde permanente. Dicha norma proporciona información de un molde estándar alimentado por gravedad como se ilustra en la *figura 2.1* cuyo fin es la obtención de probetas de aleaciones de aluminio, mismas que serán usadas posteriormente para evaluar la calidad del metal fundido. (Lumley, 2011, pág. 161).



Figura 2.1. Molde permanente para probetas de A-A.  
Fuente: (Lumley, 2011, pág. 161).

##### 2.1.1 Límites de composición química.

Las fundiciones obtenidas deben cumplir con los requerimientos químicos que se encuentran de forma más detallada en el *ANEXO 1*, límites de composición química. La conformidad será determinada por el productor analizando las muestras al momento de verter el material fundido, muestras tomadas de las piezas fundidas o probetas representativas de las mismas. (ASTM B-108, pág. 2).

##### 2.1.2 Requerimientos mecánicos

Uno de los requerimientos principales establecidos por la norma ASTM B-108 para evaluar la calidad del metal es la resistencia a la tracción, por lo tanto, las probetas de ensayo de tensión obtenidas que representan las piezas fundidas, deberán cumplir las propiedades mecánicas que se indican detalladamente en el *ANEXO 2*, requerimientos mecánicos. (ASTM B-108, pág. 3).

### 2.1.3 Probetas para ensayos de tracción.

Las probetas coladas por separado deben ser moldeadas en un molde de acero. Un método de fabricación del molde se muestra en el *ANEXO 3*, modelo de fundición para probetas de aleaciones de aluminio. Además, la sección de prueba de una probeta estándar mostrada en la *figura 2.2*, debe ser moldeada de acuerdo con las dimensiones que se encuentran detalladas en la *tabla 2.1*. (ASTM B-108, pág. 5).

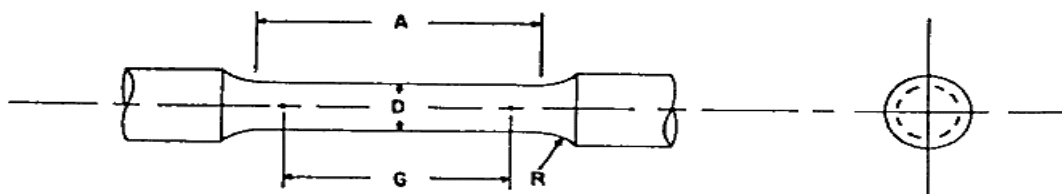


Figura 2.2. Probeta estándar para ensayos de tracción  
Fuente: (ASTM B-557, pág. 6)

Tabla 2.1.  
Dimensiones de probetas estándar para ensayos de tracción

Diámetro Nominal	Dimensiones, in			
	Muestra estándar	Muestras pequeñas proporcionales a la probeta estándar		
		0.50	0.350	0.250
<b>G-Longitud sección de prueba</b>	$2.000 \pm 0.005$	$1.400 \pm 0.005$	$1.000 \pm 0.005$	$0.640 \pm 0.005$
<b>D-Diámetro</b>	$0.5000 \pm 0.010$	$0.350 \pm 0.007$	$0.250 \pm 0.005$	$0.160 \pm 0.003$
<b>R-Radio en los extremos</b>	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{5}{32}$
<b>A-longitud de la sección reducida</b>	$2\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$

Fuente: (ASTM B-557, pág. 7)

Los extremos de la probeta pueden ser mecanizados, de tal manera que se garantice la carga axial. La probeta de ensayos de tensión debe ser de 0.500 pulgadas estándar como se muestra en la *tabla 2.1* de los Métodos de Prueba B-557 (Standard Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products) o una muestra más pequeña, proporcional a las muestras estándar. (ASTM B-108, pág. 5).

Existen además varios tipos de probetas para ensayos de tensión con sus respectivas dimensiones ilustradas de una forma detallada en el *ANEXO 4*, dimensiones de varios tipos de probetas para ensayos de tracción. Este tipo de probetas cuentan con extremos diferentes los



cuales sirven para ajustarse a los soportes de la máquina de ensayos de tracción para así garantizar una buena sujeción al momento de aplicar cargas axiales, ver de forma más detallada en el ANEXO 5, tipos de sujeción para probetas. (ASTM B-557, pág. 7).

## **2.2 Aluminio y sus aleaciones**

### **2.2.1 Aluminio.**

Las principales características del aluminio son su peso ligero y su baja densidad, además de tener una buena maleabilidad, formabilidad, alta resistencia a la corrosión, gran conductividad eléctrica y térmica. El aluminio no es tóxico, ni magnético y no produce chispa. (Avner, 1988, pág. 477)

La característica no magnética hace al aluminio útil para diversos fines de protección eléctrica, como cajas para barras conductoras o cubiertas para equipo eléctrico. El aluminio puro tiene una resistencia a la tensión de unas 13 000 lb/in<sup>2</sup>, sin embargo grandes incrementos de resistencia se obtienen mediante el trabajo en frío o por aleación. Algunas aleaciones, adecuadamente tratadas en forma térmica, se aproximan a resistencias a la tensión de 100000lb/in<sup>2</sup>. (Avner, 1988, pág. 477)

### **2.2.2 Aleaciones de aluminio para fundición.**

Las aleaciones de fundición son materiales utilizados para la producción de piezas fundidas, de acuerdo con diferentes estimaciones, se sabe que alrededor del 20% al 30% de todos los productos de aluminio son fabricados por este método. (Zolotarevskiĭ & Glazoff, 2007, pág. 300).

Las cualidades de los aluminios de moldeo o aluminios para fundición son una buena colabilidad (aptitud para llenar correctamente la cavidad del molde), una contracción relativamente pequeña y la no formación de fisuras (causa de la fragilidad) en la contracción. (Romeva, 2008, pág. 138). En la *tabla 2.2* se ilustra algunas aleaciones de aluminio con su respectivo sistema de designación que es el siguiente:

- El primer dígito indica el grupo de la aleación.
- El segundo y tercer dígito identifican la aleación de aluminio específica.
- El cuarto dígito el cual está separado de los demás por un punto decimal, indica la forma del producto ya sea por fundición o lingote. (Handbook, 1990, pág. 39).

Tabla 2.2.  
Sistema de designación de aleaciones de aluminio para fundición

Aleación	Principal aleante
1xx.x	Aluminio Puro ( 99% o más)
2xx.x	Aleaciones de Al-Cu
3xx.x	Aleaciones de Al-Si más Cu y/o Mg
4xx.x	Aleaciones de Al-Si
5xx.x	Aleaciones de Al-Mg
6xx.x	No asignada
7xx.x	Aleaciones de Al-Zn
8xx.x	Aleaciones de Al-Sn
9xx.x	Aleaciones de Al-Otros elementos (Fe-Sn)

Fuente: (Handbook, 1990, pág. 39).

El silicio es el elemento de aleación más importante, pues aumenta la fluidez del metal fundido y su dureza, otros elementos como el magnesio y cobre son añadidos para incrementar la resistencia a altas temperaturas. (Smith, 2006, pág. 418). Con la composición química y los diagramas de fases correspondientes, se puede establecer las propiedades de la aleación tales como: punto de fusión, punto eutéctico, tipo de fase que tiene la microestructura. (Quillupangui Morales, 2018, pág. 3).

### 2.2.2.1 Aleaciones de aluminio-silicio-magnesio.

Con la adición de pequeños porcentajes de *Mg*, las aleaciones *Al-Si* se convierten en bonificables, y consiguen valores de resistencia y dureza considerablemente más altos y mejoran la maquinabilidad. El tratamiento térmico tiene lugar en la fundición sobre la pieza moldeada, antes de ser mecanizada. En la *figura 2.3* se observa que la máxima solubilidad del silicio y manganeso en el aluminio es de 1.85% a una temperatura aproximada de 600°C. (Romeva, 2008, pág. 138).

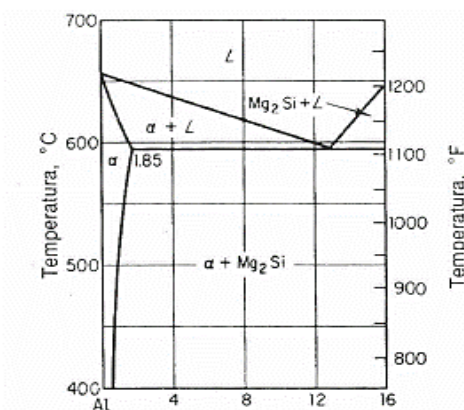


Figura 2.3. Diagrama de equilibrio aluminio-silicio-magnesio  
Fuente: (Avner, 1988, pág. 487).

### 2.3 Aceros y su clasificación

El acero es una aleación de hierro que tiene un contenido de carbono que varía entre 0.02% y 2.11%. Es frecuente que también incluya otros ingredientes de aleación: manganeso, cromo, níquel y molibdeno; pero es el contenido de carbono lo que convierte al hierro en acero. Existen cientos de composiciones de acero disponibles en el comercio. Aquí, para propósitos de organización se agrupan en las categorías siguientes: 1) aceros al carbono simples, 2) aceros bajos de aleación, y 3) aceros para herramientas. (Groover, 2007, pág. 103). Véase detalladamente en la *tabla 2.3*.

Tabla 2.3.  
Clasificación de los aceros

CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
<p style="text-align: center;"><b>Aceros al carbono</b></p>	<p>Estos aceros contienen carbono como elemento principal de la aleación, y sólo pequeñas cantidades de otros elementos (lo normal es alrededor de 0.5% de manganeso).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Aceros al bajo carbono.-</b> Contienen menos del 0.20% de C y son por mucho los más utilizados.</li> <li>➤ <b>Aceros al medio carbono.-</b> Su contenido de carbono varía entre 0.20% y 0.50%, y se especifican para aplicaciones que requieren una resistencia mayor que las de los aceros al bajo carbono.</li> <li>➤ <b>Aceros al alto carbono.-</b> Contienen carbono en cantidades superiores a 0.50% y se especifican para aplicaciones que necesitan resistencias aún mayores y también rigidez y dureza.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Aceros de baja aleación</b></p>	<p>Son aleaciones de hierro - carbono que contienen elementos adicionales en cantidades que totalizan menos de 5% del peso. Debido a estas adiciones, los aceros de baja aleación tienen propiedades mecánicas superiores a las de los aceros al carbono.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Aceros para herramientas</b></p>	<p>Los aceros para herramientas son una clase (por lo general) altamente aleada diseñada para su uso en herramientas de corte industriales, troqueles y moldes. A continuación, se detallan algunos tipos de acero con su prefijo y su aplicación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>T, M Aceros para herramientas de alta velocidad.</b> - Se usan como herramientas de corte en procesos de maquinado.</li> <li>➤ <b>H Aceros de herramientas para trabajos en caliente.</b> - Están pensados para usarse con troqueles de trabajos en caliente para forjado, extrusión y moldes para fundición.</li> <li>➤ <b>D Aceros de herramientas para trabajos en frío.</b> - Son aceros para troqueles que se emplean en operaciones de trabajo en frío.</li> <li>➤ <b>P Aceros para moldes.</b> - Se utilizan para fabricar moldes para plásticos y caucho.</li> </ul>

Fuente: (Groover, 2007, pág. 104)

## 2.4 Proceso de fundición

Uno de los procesos más antiguos es la fundición, que básicamente consiste calentar el metal a una temperatura suficientemente alta que lo transforme por completo al estado líquido. Después se vierte, o se dirige, hacia la cavidad del molde. En un molde abierto, *figura 2.4a*, el metal líquido simplemente se vierte hasta que llena la cavidad abierta. En un molde cerrado, *figura 2.4b*, se adapta un pasaje denominado sistema de paso, que permite que el metal derretido fluya desde el exterior del molde hasta la cavidad. (Groover, 2007, pág. 197).

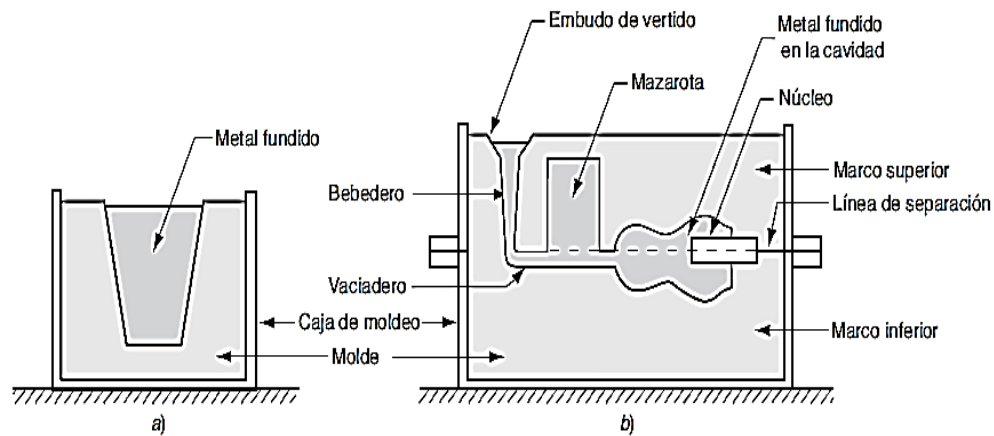


Figura 2.4. Tipos de moldes a) Molde abierto b) Molde cerrado  
Fuente: (Groover, 2007, pág. 197).

En la *figura 2.5* se muestran los procesos de fundición más empleados de acuerdo al tipo de molde.

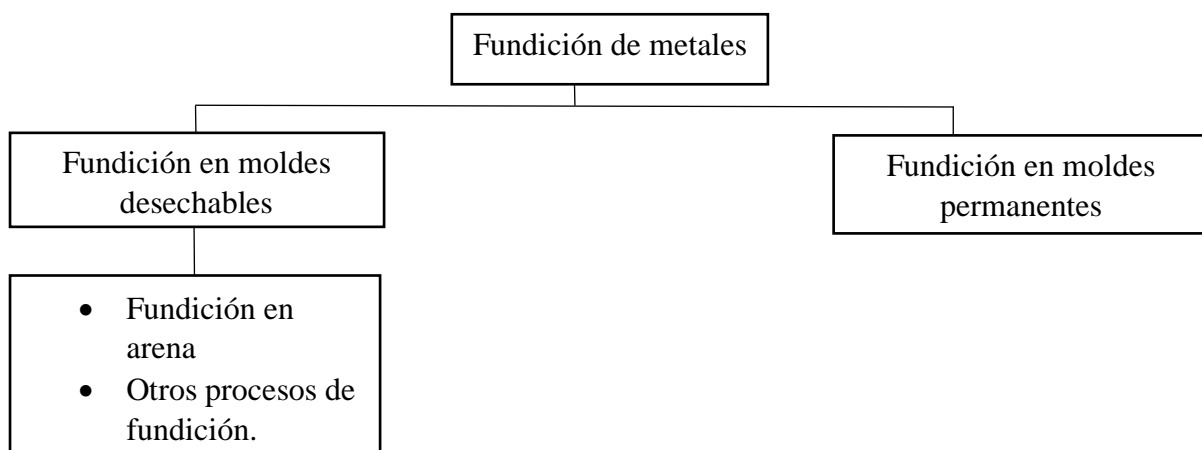


Figura 2.5. Diagrama procesos de fundición  
Fuente: (Groover, 2007, pág. 195).

### 2.4.1 Molde permanente.

Este tipo de molde se utiliza una y otra vez para producir muchos fundidos. Está hecho de metal (o de un material refractario) que soporte las temperaturas elevadas de la operación de fundido. La fundición en molde permanente consiste en dos o más secciones que se abren para permitir el retiro de la pieza terminada. El troquel de fundición es el proceso más familiar de este grupo. (Groover, 2007, pág. 198).

Con los procesos de molde desechable por lo general son posibles formas más complicadas para el fundido. En los procesos con molde permanente las formas de la pieza están limitadas por la necesidad de abrir el molde. Por otro lado, algunos de los procesos con molde permanente tienen ciertas ventajas económicas en operaciones de producción elevada. (Groover, 2007, pág. 198).

### 2.4.2 Principales elementos que conforman una fundición.

Para enfatizar la importancia del flujo del fluido en la fundición, describamos brevemente un sistema básico de fundición por gravedad como el que se muestra en la *figura 2.6*.

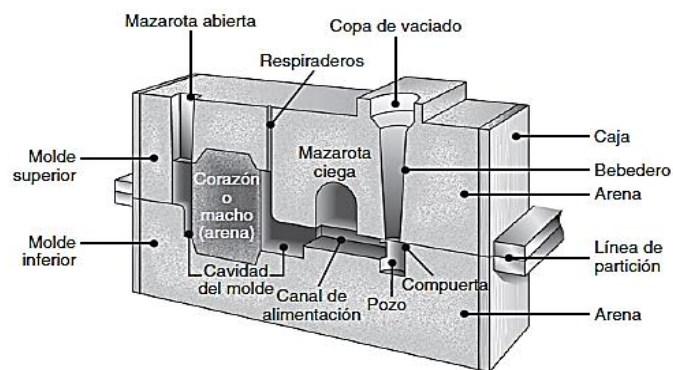


Figura 2.6. Esquema de una fundición característica con mazarotas y compuertas.

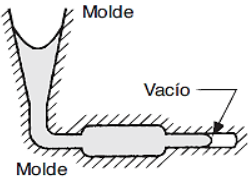
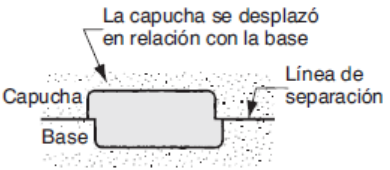
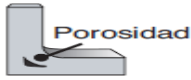
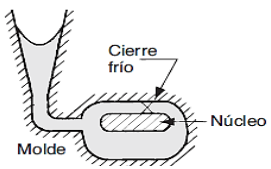
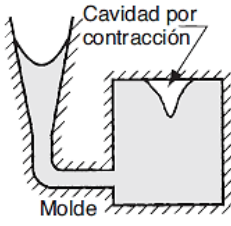
Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008, pág. 290).

**La Caja**, es la parte que soporta el propio molde; **la copa de vaciado**, es aquella en la cual se vierte el metal fundido; **el bebedero** es la zona por la cual el metal fundido fluye hacia abajo; **el sistema de canales de alimentación** llevan el metal fundido desde el bebedero hasta la cavidad del molde; **mazarotas**, que suministran metal fundido adicional a la fundición conforme ésta se contrae durante la solidificación; **machos o corazones**, se colocan en el molde para formar regiones huecas o para definir la superficie interior de la fundición; **respiraderos**, que se colocan en los moldes para extraer los gases producidos cuando el metal fundido entra en contacto con el molde. (Kalpakjian & Schmid, 2008, pág. 290).

### 2.4.3 Defectos presentes en el proceso de fundición.

En los procesos de manufactura pueden desarrollarse diversos defectos, dependiendo de factores como los materiales, el diseño de la pieza y las técnicas de procesamiento. En tanto que algunos defectos sólo afectan la apariencia de las partes producidas, otros pueden tener efectos adversos importantes en su integridad estructural. (Kalpakjian & Schmid, 2008, pág. 275). Véase *tabla 2.4*.

Tabla 2.4.  
Defectos en fundiciones

DEFECTO	DESCRIPCIÓN	FIGURA
<b>Fundición incompleta</b>	Fallas causadas por una solidificación prematura debido a una temperatura muy baja de la colada o de un vaciado lento.	 El diagrama muestra un molde con una cavidad. La parte superior del molde está etiquetada como 'Molde'. En la parte inferior de la cavidad, se indica un espacio etiquetado como 'Vacío', lo que sugiere que el metal no llenó completamente el molde debido a una solidificación prematura.
<b>Dimensiones o formas incorrectas</b>	Ocasionadas debido a factores como tolerancias inapropiadas para la contracción, modelo de fundición deformado o por desplazamiento del molde.	 El diagrama muestra un molde con una 'Capucha' y una 'Base'. Una línea horizontal indica la 'Línea de separación'. Una etiqueta indica: 'La capucha se desplazó en relación con la base', lo que resulta en una pieza con una forma irregular.
<b>Porosidades</b>	Ocasionadas por la contracción, gases, o por ambos.	 El diagrama muestra un molde con una cavidad. Una etiqueta indica 'Porosidad' con una flecha que apunta a un espacio dentro de la cavidad, representando los poros atrapados durante el proceso de fundición.
<b>Juntas frías</b>	Ocurren cuando dos porciones del metal fluyen juntas, pero no hay fusión entre ellas debido a la solidificación prematura.	 El diagrama muestra un molde con una cavidad. Una etiqueta indica 'Cierre frío' con una flecha que apunta a una línea de unión entre dos partes del metal. Otra etiqueta indica 'Núcleo' con una flecha que apunta a una parte central del metal. El molde está etiquetado como 'Molde'.
<b>Cavidad de fuga (rechupes)</b>	Es un vacío interno en el fundido, ocasionado por fugas en la solidificación.	 El diagrama muestra un molde con una cavidad. Una etiqueta indica 'Cavidad por contracción' con una flecha que apunta a un espacio dentro de la cavidad. El molde está etiquetado como 'Molde'.

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008, pág. 277)

#### 2.4.4 Consideraciones para el diseño de piezas fundidas.

- Ángulo de salida, por lo general se da un pequeño ángulo de salida (conicidad) en los modelos para moldes de arena o permanentes, que permita extraer el modelo sin dañar el molde. Dependiendo de la calidad del modelo, es común que los ángulos de salida sean de 0.5° a 2°. (Kalpakjian & Schmid, 2008, pág. 326).
- Tolerancias dimensionales a la contracción, las tolerancias dimensionales dependen del proceso de fundición en particular, del tamaño de la fundición y del tipo de modelo utilizado. Deben ser lo más amplias que sea posible, dentro de los límites del buen desempeño de la parte; de lo contrario, el costo de la fundición aumenta. Por lo general, en la práctica comercial, las tolerancias se encuentran en el intervalo de  $\pm 0.8$  mm (1/32 pulgadas) para pequeñas fundiciones y se incrementan con el tamaño de las fundiciones. (Kalpakjian & Schmid, 2008, pág. 327). Véase *tabla 2.5*.

Tabla 2.5.  
Tolerancias a la contracción.

<b>TOLERANCIA NORMAL A LA CONTRACCIÓN PARA ALGUNOS METALES FUNDIDOS</b>	
<b>Metal</b>	<b>%</b>
Hierro fundido gris	0.83-1.3
Hierro fundido blanco	2.1
Hierro fundido maleable	0.78-1.0
Aleaciones de aluminio	1.3
Aleaciones de magnesio	1.3
Latón amarillo	1.3-1.6
Bronce de fósforo	1.0-1.6
Bronce de aluminio	2.1
Acero de alto manganeso	2.6

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008, pág. 326).

#### 2.4.5 Tiempo Solidificación.

Sea que el fundido consista en un metal puro o en una aleación, la solidificación toma tiempo. El tiempo total de solidificación es el que se requiere para que el fundido se solidifique después del vertido. Este tiempo depende del tamaño y forma del fundido, en una relación empírica conocida como regla de Chvorinov, que establece lo siguiente:

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

Ecuación 2.1. Tiempo de solidificación  
Fuente: (Groover, 2007, pág. 206).

Donde:

$T_{TS}$ = tiempo de solidificación (min).

$V$ = volumen del fundido ( $\text{cm}^3$ ).

$A$ = área superficial ( $\text{cm}^2$ ).

$C_m$ = constante del molde ( $\text{min}/\text{cm}^2$ ).

#### 2.4.6 Tiempo de llenado

El tiempo que la colada tarda en llenar al molde se denomina tiempo de llenado y tiene un papel fundamental en la fundición, conviene que el molde se llene en el menor tiempo posible. Un tiempo de vertido muy lento requiere mayor temperatura de vertido, un tiempo de vertido muy rápido genera un flujo turbulento dentro del molde, por lo que la pieza obtenida saldría con defectos. El tiempo de llenado depende de algunos factores, como son: material, complejidad, espesor y tamaño de la pieza a obtener. (Rao, 2013, pág. 137).

$$MTF = \frac{V}{Q}$$

Ecuación 2.2. Tiempo de llenado.

Fuente: (Giménez & Guillamón, Madrid, pág. 12)

Donde:

$MTF$ = tiempo mínimo de llenado (s)

$V$ = Volumen de la pieza fundida ( $\text{cm}^3$ )

$Q$ = caudal ( $\text{cm}^3/\text{s}$ ).

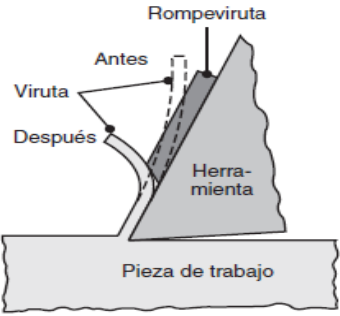
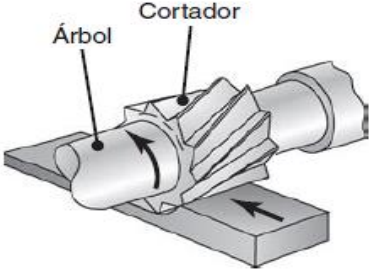
#### 2.5 Herramientas de corte

Es un elemento que sirve para remover el exceso de material de una pieza de trabajo, de tal manera que el material remanente sea la forma de la pieza deseada. La acción predominante del corte involucra la deformación cortante del material de trabajo para formar la viruta; al removerse la viruta, queda expuesta una nueva superficie. (Groover, 2007, pág. 481).

Una herramienta de corte tiene uno o más filos cortantes y está hecha de un material que es más duro que el material de trabajo. El filo cortante sirve para separar una viruta del material de trabajo, hay dos tipos básicos de herramientas cortantes cuyos ejemplos se ilustran en la *tabla 2.6*. (Groover, 2007, pág. 484).



Tabla 2.6.  
Clasificación herramientas de corte

HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN	FIGURA
<p><b>Herramientas de una sola punta</b></p>	<p>Una herramienta de una sola punta tiene un filo cortante y se usa para operaciones como el torneado.</p>	
<p><b>Herramientas de múltiples filos cortantes</b></p>	<p>Las herramientas de múltiples filos cortantes tienen más de un borde de corte y generalmente realizan su movimiento respecto a la pieza de trabajo mediante rotación. El taladrado y el fresado usan herramientas rotatorias de múltiples filos cortantes.</p>	

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008)

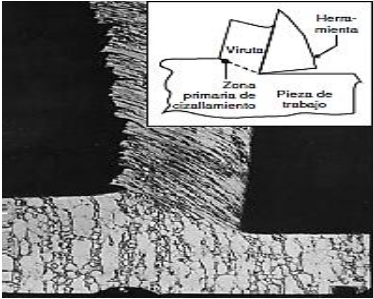
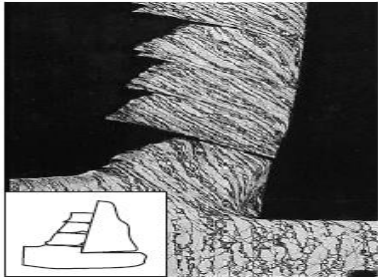
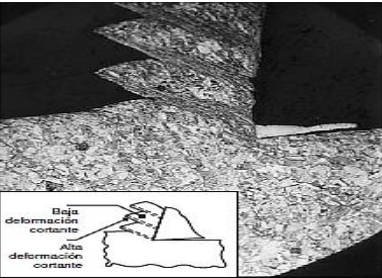
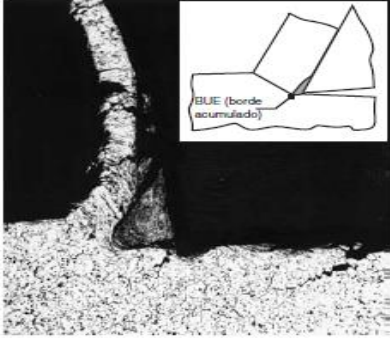
### 2.5.1 Formación de viruta.

La formación de la viruta depende del tipo de material que se mecaniza y de las condiciones de corte de la operación. Se pueden distinguir cuatro tipos básicos de viruta:

- Continua
- De borde acumulado (o recrecido)
- Aserrada o segmentada
- Discontinua

La *tabla 2.7* muestra de forma detallada la descripción de cada tipo de viruta:

Tabla 2.7.  
Tipos de viruta

TIPO	DESCRIPCIÓN	FIGURA
<b>Virutas continuas</b>	<p>Cuando se cortan materiales de trabajo dúctiles a velocidades altas con avances y profundidades pequeños, se forman virutas largas y continuas. Cuando se forma este tipo de viruta se obtiene un buen acabado de la superficie</p>	
<b>Viruta discontinua</b>	<p>Cuando se maquinan materiales relativamente frágiles (por ejemplo, hierro fundido) a bajas velocidades de corte, la viruta se forma frecuentemente en segmentos separados. Esto tiende a impartir una textura irregular a la superficie maquinada</p>	
<b>Viruta aserrada o segmentada</b>	<p>Estas virutas son semi-continuas en el sentido de que poseen una apariencia de diente de sierra, que se produce por una formación repetitiva de viruta de alta resistencia alternativa al corte seguida de una baja resistencia al corte.</p>	
<b>Viruta con acumulación de borde</b>	<p>Cuando se maquinan materiales dúctiles a velocidades bajas o medias de corte, la fricción entre la herramienta y la viruta tiende a causar la adhesión de porciones de material de trabajo en la cara inclinada de la herramienta cerca del filo cortante. Esta formación se llama acumulación en el borde</p>	

Fuente: (Groover, 2007, pág. 489).

## 2.6 Parámetros de desbaste

### 2.6.1 Velocidad de corte ( $V_c$ )

Uno de los factores de mayor importancia que afectan la eficiencia de una operación de fresado es la velocidad de corte de la fresa. La velocidad de corte de un metal se puede definir como la velocidad en pies/min o m/min a la cual el metal se puede maquinar con eficiencia e indica la velocidad lineal a la que el filo mecaniza la pieza. (Krar & Check, 2002, pág. 466).

En vista que los distintos metales varían en su dureza, estructura y maquinabilidad, deben utilizarse diferentes velocidades de corte para cada tipo de metal y para varios materiales de la fresa. (Krar & Check, 2002, pág. 466).

### 2.6.2 Velocidad del husillo (N).

Es el número de revoluciones que realiza la herramienta de fresado sobre el husillo en cada minuto. El número de revoluciones depende de la velocidad de corte admitida y el diámetro de la fresa dada en milímetros. (Gerling, 2006, pág. 153).

$$N = \frac{V_c * 1000}{\pi * D}$$

Ecuación 2.3. Número de revoluciones

Fuente: (Gerling, 2006, pág. 153).

Donde:

**$V_c$** : velocidad de corte (m/min).

**$D$** : diámetro de la fresa (mm).

**$N$** : número de revoluciones (rpm).

### 2.6.3 Avance por diente ( $f_z$ )

El avance por diente ( $f_z$ ) es la distancia que recorre la herramienta entre el corte de uno de los dientes y el siguiente, es decir, es la cantidad de material que debe ser eliminado por cada uno de los dientes de la fresa conforme esta gira y avanza. (Krar & Check, 2002, pág. 467).

### 2.6.4 Velocidad de avance ( $V_f$ )

Es la velocidad a la cual se mueve la pieza hacia la fresa giratoria, y se mide ya sea en pulgadas por minuto o en milímetros por minutos. (Krar & Check, 2002, pág. 467).

$$V_f = N * Z_c * f_z$$

Ecuación 2.4. Velocidad de avance  
Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008, pág. 525).

Donde:

**N:** número de revoluciones (rpm).

**Z<sub>c</sub>:** número de dientes (unidades).

**F<sub>z</sub>:** avance por diente (mm/diente).

**V<sub>f</sub>:** velocidad de avance (mm/min).

Por lo general, el avance por diente va de alrededor de 0.1 mm (0.004 pulgada) a 0.5 mm (0.02 pulgada) y las profundidades de corte van de 1 mm a 8 mm (0.04 a 0.30 pulgada). (Kalpakjian & Schmid, 2008, pág. 735).

### 2.6.5 Profundidad de corte (ap)

Es la profundidad de la capa arrancada de la superficie de la pieza en una pasada de la herramienta y se mide en sentido perpendicular. Habitualmente se expresa en mm. (Rodríguez Montes, 2009, pág. 92).

$$a_p = \frac{P_c * 60 * 10^6}{a_e * v_f * k_c}$$

Ecuación 2.5. Profundidad de corte  
Fuente: (Sandvik, 2017).

Donde:

**a<sub>p</sub>:** profundidad de corte (mm).

**p<sub>c</sub>:** potencia de la máquina (Kw).

**a<sub>e</sub>:** empañe (mm).

**v<sub>f</sub>:** velocidad de avance (mm/min)

**k<sub>c</sub>:** fuerza de corte específica. (N/mm<sup>2</sup>).

## 2.7 Software CAD-CAM

CAD/CAM significa diseño asistido por computador y manufactura asistida por computadora respectivamente. El diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en

inglés) comprende el uso de computadoras para crear planos de diseño y modelos de productos. Por lo común, el diseño asistido por computadora se asocia con gráficos interactivos por computadora, conocidos como sistema CAD. Los sistemas de diseño asistido por computadora son herramientas poderosas y se utilizan en el diseño y modelado geométrico de componentes y productos. Uno de los softwares más utilizado en diseño es Solidworks. Véase *figura 2.7*. (Kalpakjian & Schmid, 2008, pág. 1195).



Figura 2.7. Software CAD.

La manufactura asistida por computadora (CAM, por sus siglas en inglés) comprende el uso de computadoras para auxiliar en todas las fases de manufactura de un producto. Debido a los beneficios conjuntos, a menudo el diseño asistido por computadora y la manufactura asistida por computadora se combinan en **sistemas CAD/CAM**. Esta combinación permite transferir información de la etapa de diseño a la etapa de planeación de manufactura sin necesidad de introducir manualmente los datos sobre la geometría de la parte otra vez. (Kalpakjian & Schmid, 2008, pág. 1203). Cabe mencionar que se necesita tener conocimientos acerca de código ISO para validar el código generado por el CAM. Ver *figura 2.8*.



Figura 2.8. Software CAM.

## 2.8 Funciones código G y código M

Un lenguaje de programación es un medio de comunicación con la computadora; comprende el uso de caracteres simbólicos. El programador describe en este lenguaje el componente que se va a procesar y la computadora convierte dicha descripción en comandos para la máquina NC. El programa crea en forma automática el código de la máquina (Código G). Este código es valioso para comunicar instrucciones de maquinado al hardware CNC. (Kalpakjian & Schmid, 2008, pág. 1160). El *ANEXO 6*, Funciones código “G” y código “M”, muestra los comandos más utilizados en la programación ISO.

Existen otros tipos de códigos denominados “M” que realizan funciones similares a las operaciones "G", pero cumplen funciones programadas dentro de la máquina y se utiliza muchas veces para ejecutar programas como repeticiones, finales de mecanizados, activación y desactivación de refrigerante, entre otros. (Pineda, 2017, pág. 37).

El *ANEXO 6*, Funciones código “G” y código “M”, muestra una lista de los códigos “M” propios del controlador SINUMERIK 828D.

## CAPÍTULO III

### 3. Metodología

En este capítulo se va a detallar las fases para el desarrollo del presente proyecto como son diseño, simulaciones, selección de materiales y selección de herramental para la construcción del molde permanente, para que quede como referencia para investigaciones posteriores relacionadas con este tema. En la *figura 3.1* se muestra un diagrama metodológico para tener claro las etapas que se van a seguir para el desarrollo de esta investigación.

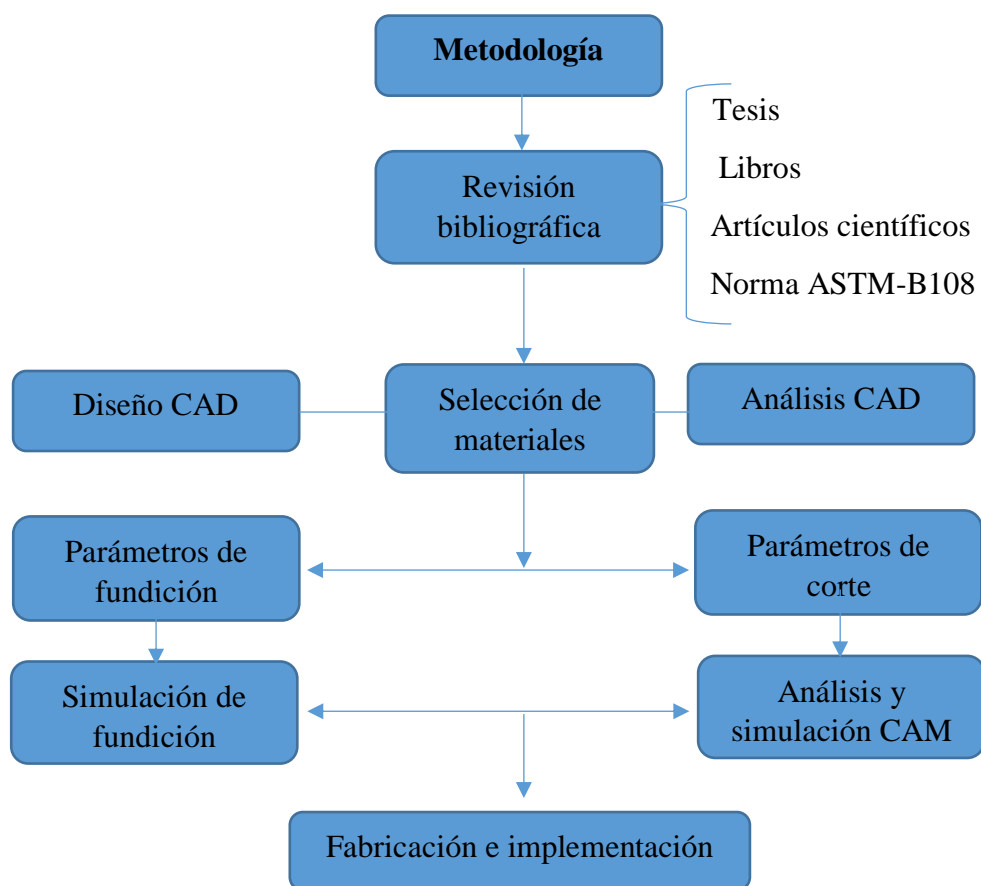


Figura 3.1. Diagrama metodológico

#### 3.1 Fuentes bibliográficas

Para el presente estudio se va a tomar en cuenta todos los requerimientos de la norma ASTM B-108, datos obtenidos en libros y artículos científicos, como son dimensiones, composición química, temperaturas del molde y colada, que son los parámetros más críticos al momento de realizar la fundición. Además, en otras investigaciones se obtiene datos de la influencia que tiene el coeficiente de transferencia de calor (HTC) al momento de la solidificación, así como también, la predicción de porosidades de una pieza fundida.

### **3.2 Diseño y análisis CAD**

En esta etapa del proceso se inicia con el diseño usando las herramientas computacionales como es el paquete de SolidWorks, con el cual, se va a realizar las operaciones CAD para generar el modelo de fundición basándose en las medidas establecidas por la norma mencionada anteriormente y en la información ya recopilada, posteriormente se verifica las tolerancias dimensionales a la contracción para llevarlo a un análisis de ángulos de salida, que consiste en verificar las zonas rectangulares o cuadradas que necesitan ángulo de desmoldeo para que no existan retenciones y así evitar la erosión del molde. Una vez culminada esta etapa se selecciona el plano de partición para generar la matriz, que será usada para posteriores simulaciones, tanto de fundición como de mecanizado.

### **3.3 Selección de materiales**

Para la selección del material con la que se va a fabricar el molde se considera materiales de comercialización nacional, costos, propiedades mecánicas y termodinámicas, siendo los más destacados el acero A36, W300, W400, entre otros, que son específicos para trabajos en caliente muy empleados en aplicaciones en las que la temperatura superficial se encuentra por encima de los 200°C.

Para la selección del material a fundir se va a utilizar una aleación 356.0 - F (establecida por la norma) que es una aleación de aluminio para fundición (aluminio – silicio – magnesio) con la que se fabrican los acoples rápidos (CAMLOCK), misma que la empresa FMI facilitará para el desarrollo del presente proyecto. (A-A-59326B, 2005, pág. 6).

### **3.4 Simulación de fundición**

Previo a una simulación de fundición se debe realizar los cálculos necesarios, entre ellos, el tiempo de llenado y tiempo de solidificación, ya que el resultado de los mismos serán ingresados al software para determinar los posibles defectos que se puedan producir durante la etapa de colado, logrando así seleccionar los parámetros adecuados (temperatura del molde y colada), para evitar imperfecciones en el fundido y obtener una pieza de mejor calidad. El objetivo principal de realizar esta simulación es la de mejorar el proceso de fundición para así reducir costos y recursos, ya que si una fundición está mal realizada implica volver a refundir el metal y esto causa el aumento de tiempo y dinero.

### **3.5 Herramientas CAD-CAM**

Una vez definidos los parámetros de fundición (temperatura del molde y colada), se procede hacer el uso de herramientas CAD- CAM, mismas que facilitan el análisis de la geometría de



la pieza para la selección de las diferentes herramientas de corte, con las que se va a realizar los cálculos de mecanizado y construcción del molde. Además, este proceso permite seleccionar las estrategias de maquinado, logrando verificar mediante simulación las trayectorias programadas por código G. Otro propósito de realizar la simulación CAM es reducir tiempos de maquinado para optimizar el proceso de fabricación, siempre y cuando se respeten los parámetros de corte establecidos por el fabricante. Una gran ventaja de tener un sistema CAD-CAM es que ofrece una interfaz amigable con el usuario. Es importante mencionar que, para conseguir mejores resultados, los usuarios deben tener conocimiento sobre máquinas herramientas y código G. Además, para evitar errores en la fabricación se debe considerar realizar una hoja de procesos, misma que detalla todas las operaciones de maquinado y especificaciones de corte de la herramienta.

### **3.6 Fabricación e implementación**

La Universidad Técnica del Norte dispone de un laboratorio de mecanizado CNC, el cual consta de una fresadora ROMI D800 de 3 ejes, esta dispone de varios accesorios entre ellos un sistema de sujeción por bridas (CK-12), un cono BT-40 que sirve para sujetar a la herramienta mediante una boquilla del mismo tipo y el herramental necesario para el maquinado del molde permanente. Durante el mecanizado del molde se utiliza las bridas de sujeción (CK-12), mismas que garantizan el apriete de la pieza a mecanizar evitando así que se mueva. Para la sujeción de la herramienta se hará el uso del cono BT-40 y una boquilla ER-32, que aseguran que la herramienta no presente vibraciones, evitando así dimensiones incorrectas al finalizar el mecanizado. En la *figura 3.2* se muestra un diagrama en el que se detalla las etapas de cómo se va a llevar a cabo la construcción del molde.

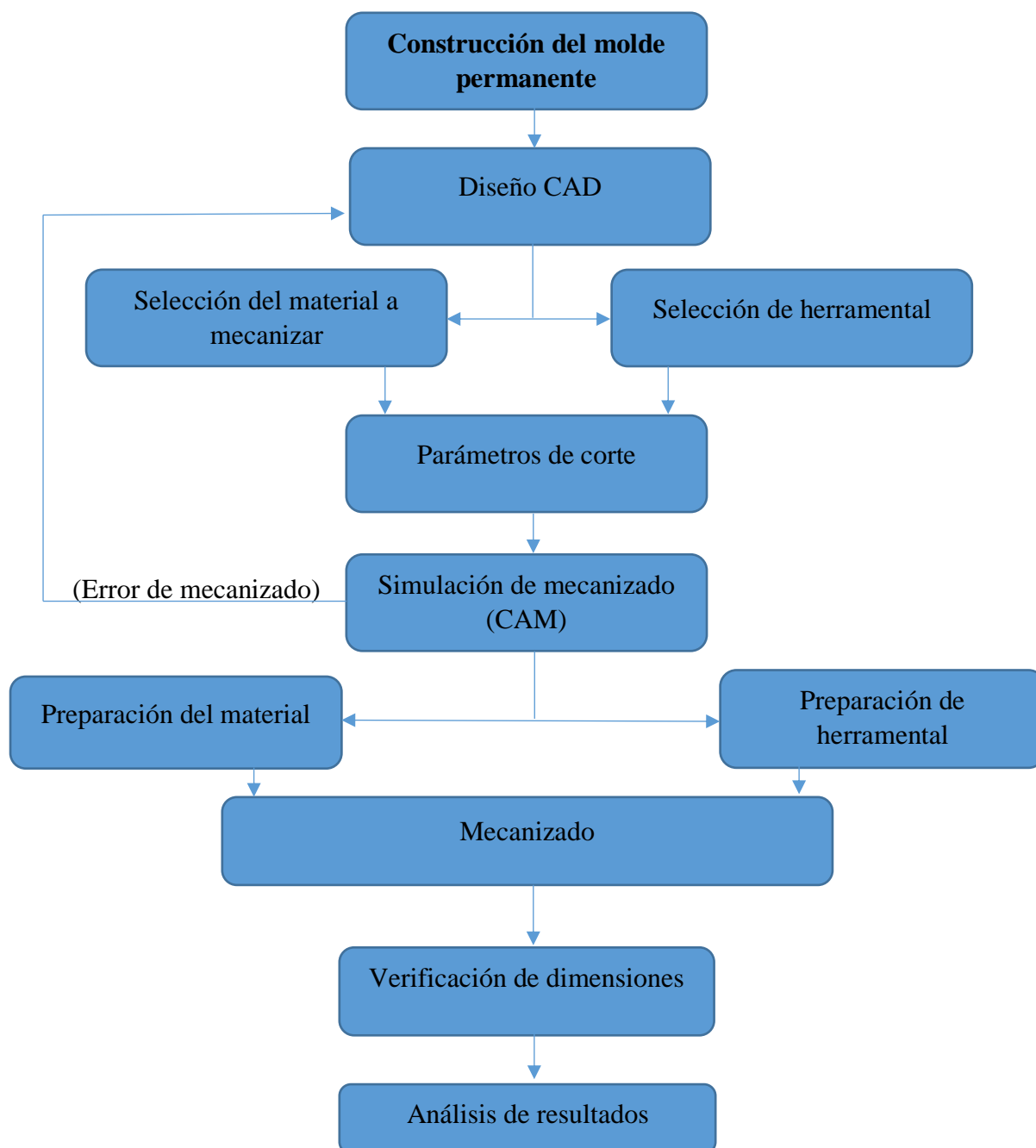


Figura 3.2. Etapas de construcción del molde permanente

Una vez culminado el proceso de fabricación se procede a realizar las pruebas de fundición en la empresa FMI, misma que facilita sus instalaciones, 1 horno de crisol fijo de 100 kg y herramientas manuales para la realización del presente proyecto. Para realizar el análisis de composición química y ensayos destructivos se optó por el laboratorio certificado ILPM (Ingeniería líder en proyectos y materiales), que es una empresa independiente destinada a la prueba de materiales, ingeniería y consultoría situada en la ciudad de Quito. En la *figura 3.3* se

muestra un diagrama en el que se detalla las etapas de cómo se va a llevar a cabo el proceso de fundición y análisis de resultados.

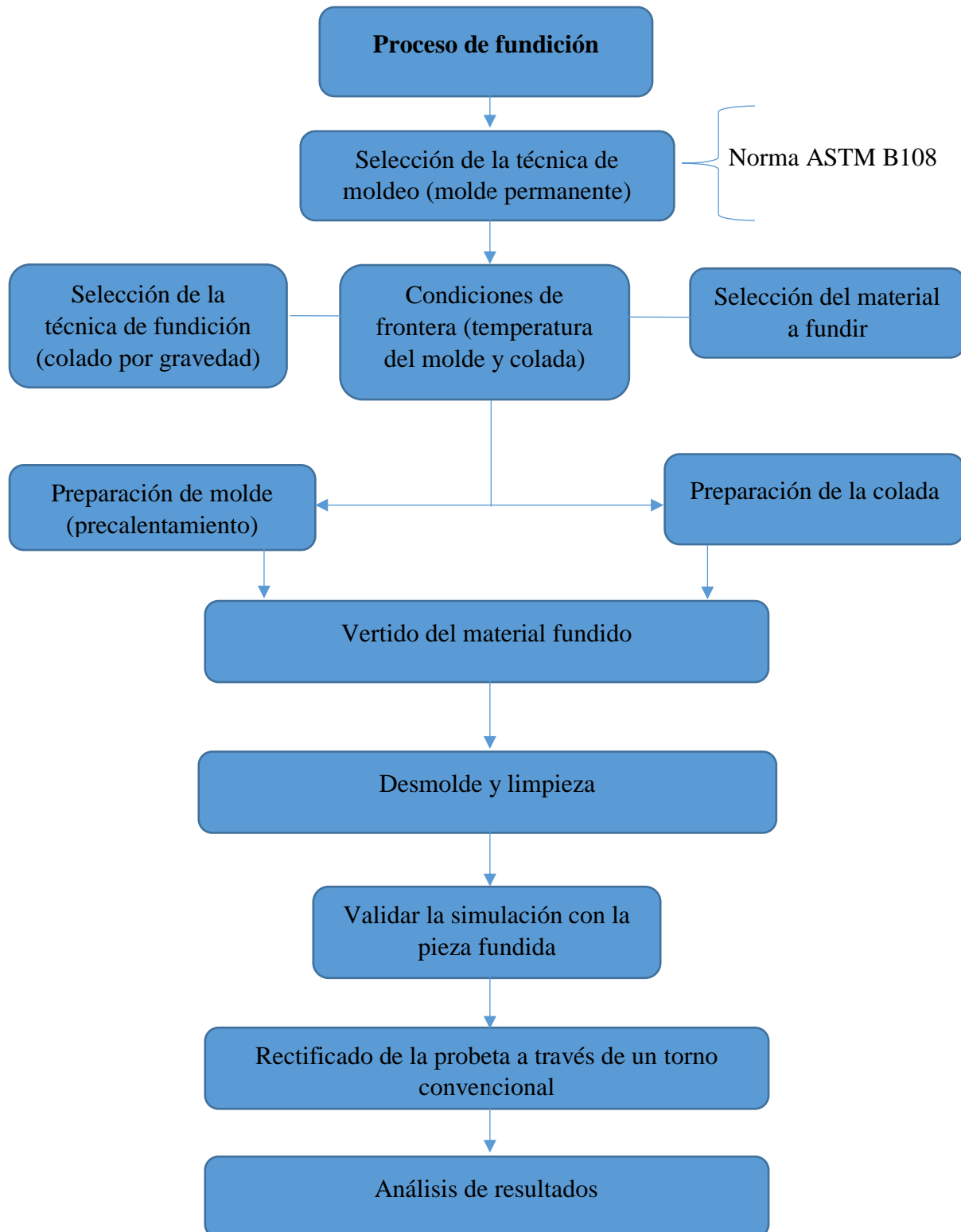


Figura 3.3. Etapas del proceso de fundición

## CAPÍTULO IV

### 4. Resultados

#### 4.1 Parámetros de diseño

El diseño del molde permanente se realiza aplicando la norma ASTM B-108 cumpliendo con las dimensiones establecidas que se encuentran de forma detallada en el *ANEXO 3*, mismas que corresponden al modelo de fundición.

#### 4.2 Diseño CAD del molde permanente

##### 4.2.1 Diseño modelo de fundición.

Para el dibujo del modelo de fundición se emplea el software Solidworks que ofrece herramientas de fácil uso para el diseño mecánico 3D. Las dimensiones del sistema de alimentación, mazarotas, respiraderos y pocillo vienen ya definidas en la norma ASTM B-108, detalladas en el *ANEXO 3*. Ver *figura 4.1*.

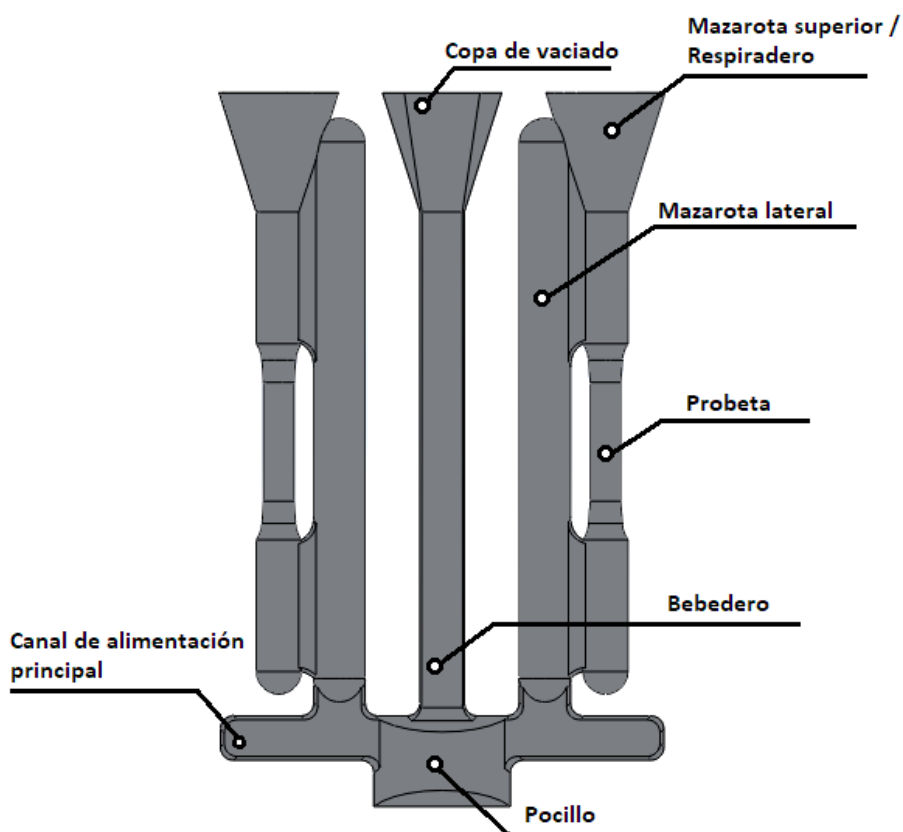


Figura 4.1. Modelo de fundición  
Fuente: (ASTM B-108, pág. 7)

#### 4.2.2 Análisis de ángulos de desmoldeo.

Los ángulos de desmoldeo o también conocidos como ángulos de salida son muy necesarios para facilitar la extracción de la pieza fundida. (Kalpakjian & Schmid, 2008, pág. 384).

Para nuestro molde permanente se escogió un ángulo de desmoldeo de  $20^\circ$  debido a que es el valor establecido por la norma para secciones que sean cuadradas o rectangulares. Para el análisis de ángulos de salida se va a usar la herramienta de diseño de moldes, con la que cuenta el software antes mencionado, en el cual se va a realizar el siguiente procedimiento:

- Se selecciona la dirección de desmoldeo de la pieza y se ingresa el valor del ángulo de salida, obteniendo una clasificación de colores en los que se puede observar las zonas donde no poseen ángulos de desmoldeo. Ver *figura. 4.2*.

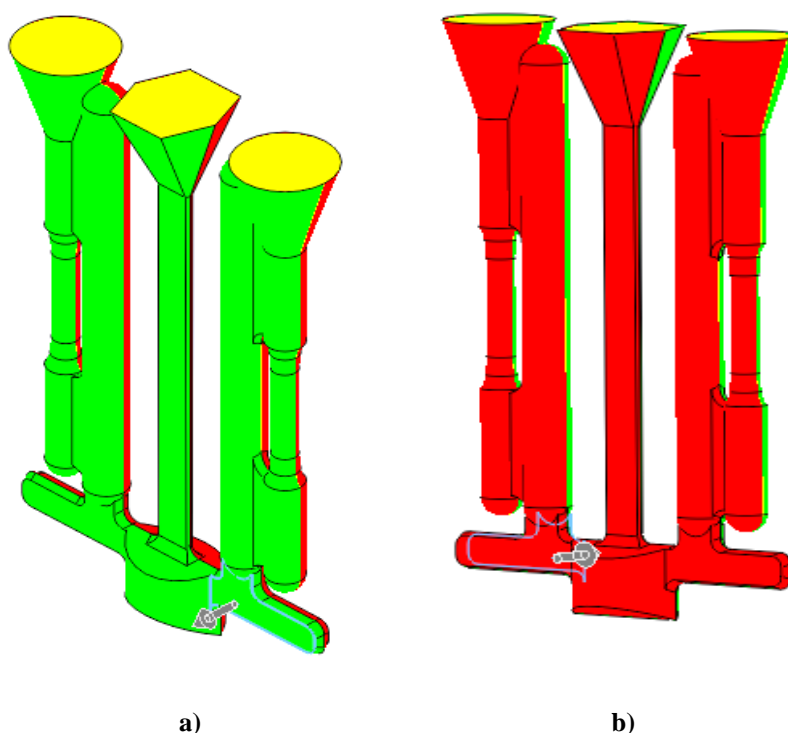


Figura 4.2. Análisis de ángulos de salida a) dirección de desmoldeo positiva b) dirección de desmoldeo negativa.

Se puede visualizar 3 tipos de colores verde, rojo y amarillo, los colores verde y rojo significan que el ángulo de salida en todas las caras es igual o mayor al ángulo de referencia con respecto a la dirección de desmoldeo ya sea positiva o negativa, mientras que el color amarillo muestra las caras en las que es necesario aplicar un ángulo de desmoldeo para que no existan retenciones. Ver *figura 4.3*.

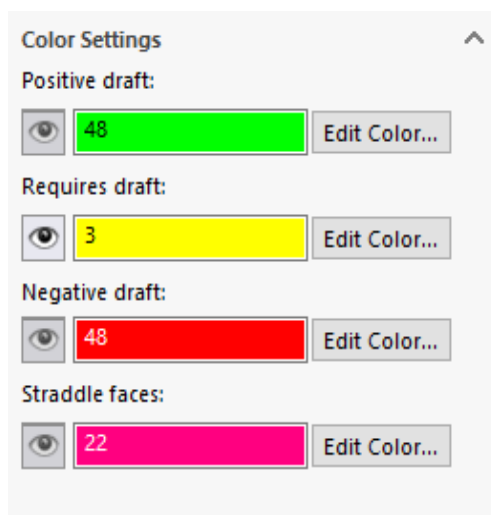


Figura 4.3. Caras sin ángulo de desmoldeo

#### 4.2.3 Aplicación de ángulos de desmoldeo.

Como se observa en la *figura 4.2* las caras de color verde y rojo se encuentran con ángulos de desmoldeo, mientras que en las caras de color amarillo (copa de vaciado y mazarotas) no es necesario aplicar ángulos de salida, debido a que están en contacto con el ambiente, es por ello que no existe ningún tipo de retención al momento del desmoldeo de la pieza fundida.

#### 4.2.4 Tolerancias a la contracción.

Debido a sus características de dilatación térmica, los metales en general se contraen (comprimen) durante la solidificación y se enfrían a la temperatura ambiente. (Kalpakjian & Schmid, 2008, pág. 274).

Para obtener una pieza con las medidas exactas se debe considerar la contracción que presenta el material durante la solidificación. Estas tolerancias dimensionales se encuentran detalladas en la *tabla 2.5*, que para una aleación de aluminio debe ser aproximadamente el 1.3%. Es importante mencionar que las dimensiones establecidas por la norma ya presentan un sobre espesor, es por ello que no es necesario aumentar el factor de escala ya que el modelo puede quedar sobredimensionado.

#### 4.2.5 Plano de partición del molde permanente.

Con la ayuda del análisis de ángulos de salida y la dirección del desmoldeo basada en la geometría de la pieza, se procede a escoger el plano de partición adecuado como se muestra en la *figura 4.4*, mismo que indica donde se separa el molde al momento de la obtención de la pieza fundida.

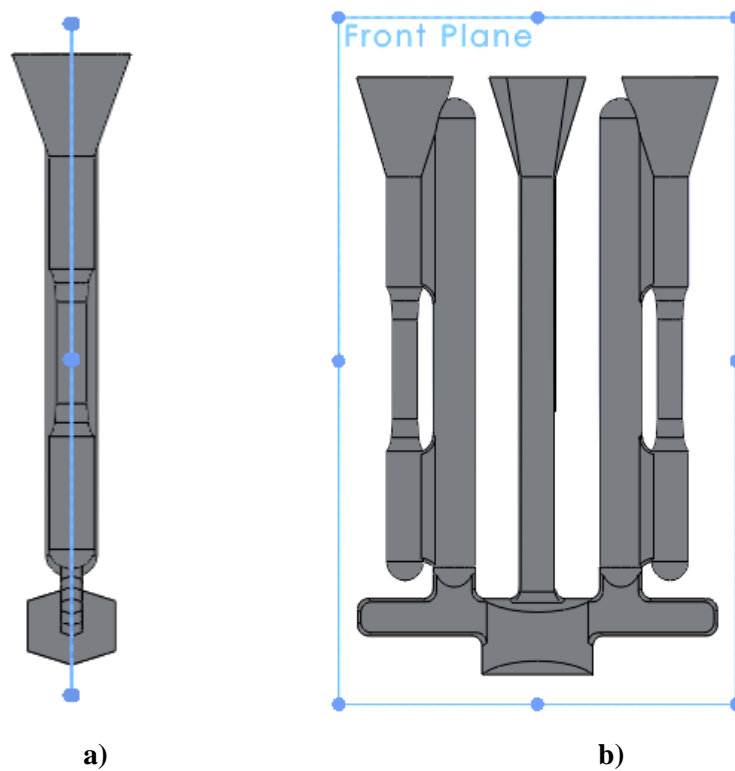


Figura 4.4. Plano de partición a) vista lateral b) vista frontal

#### 4.2.6 Generación del molde 3D

Con la ayuda de la herramienta cavidad se genera el diseño del molde, mismo que consta de dos caras simétricas, como se muestra en la *figura 4.5*.

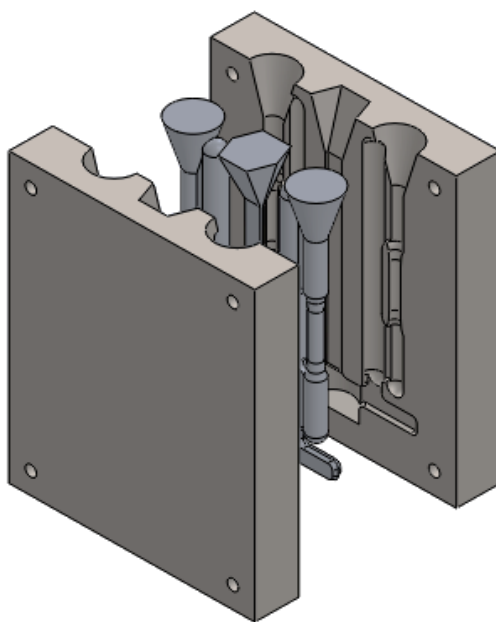


Figura 4.5. Molde para probetas

### 4.3 Selección del material a fundir

A nivel nacional en Ecuador la industria de la fundición tanto de aleaciones ferrosas como no ferrosas se basa en el reciclaje y reutilización de chatarra de diferentes fuentes. Esta chatarra forma parte en los procesos de fundición como materia prima en las empresas nacionales mismas que con la experiencia y el paso de los años han desarrollado sus técnicas de clasificación para obtener la aleación adecuada de acuerdo al uso de las piezas que se va a fabricar. (Garcés García, 2016, pág. 64).

En este caso la empresa FMI usa una aleación aluminio-silicio-magnesio (356.0 - F) para la fabricación de acoples rápidos, obteniendo el elemento principal de perfiles de aluminio y realizando una compensación de los elementos químicos restantes, para llegar a los porcentajes establecidos por la norma. Las propiedades químicas, termodinámicas y físicas del material se ven detalladas en las *tablas 4.1* y *4.2* respectivamente.

Tabla 4.1.  
Composición química aleación 356.0

Composición %							
Aluminio	Silicio	Hierro	Manganeso	Cobre	Magnesio	Zinc	Titanio
restante	6.5-7.5	0.2	0.1	0.2	0.25-0.45	0.1	0.2

Fuente: (ASTM B-108, pág. 2)

Tabla 4.2.  
Propiedades termodinámicas y mecánicas de la aleación 356.0

Punto de fusión	560-615°C	Conductividad térmica	150 W/m*K
Solidus	560°C	Resistencia a la tracción	228 Mpa
Liquidus	615°C	Calor específico	963 J/Kg*°C
Densidad	2.68g/cm <sup>3</sup>	Calor latente de fusión	389 KJ/Kg

Fuente: (Kaufman & Rooy, 2004, pág. 72).

### 4.4 Selección del material a mecanizar

Cuatro factores principales afectan la selección de materiales para moldes y núcleos permanentes:

- La temperatura de vertido del metal a fundir
- El tamaño de la fundición
- El número de piezas moldeadas por molde
- Costo del material del molde



El hierro gris es el material de moldeo más comúnmente utilizado. Los moldes de aluminio o grafito a veces se usan para la producción de cantidades pequeñas de aluminio y magnesio. Con aleaciones de fundición de aluminio o magnesio, no es raro obtener 100.000 piezas fundidas, o más, por molde; sin embargo, los moldes para aleaciones de fundición de cobre o hierro gris tienen una vida más corta debido a las mayores temperaturas de vertido requeridas. (ASM Handbook , 1988, pág. 597).

La vida del molde puede variar desde tan solo 100 a 250,000 vertidos (o incluso más), dependiendo de algunas variables como son el precalentamiento del molde, recubrimiento del molde, entre otras. Un molde para un pistón de aluminio, por ejemplo, puede producir 250,000 piezas fundidas antes de requerir reparación. Después de la producción de 250,000 piezas más, el molde reparado requerirá una revisión general. (ASM Handbook , 1988, pág. 597).

Con repetidas reparaciones y revisiones, el molde puede producir hasta 3.5 millones de piezas fundidas antes de ser descartadas. Sin embargo, un molde de pistón, con su diseño relativamente simple, tendrá una vida mucho más larga que un molde que requiera una perforación de núcleo interno. (ASM Handbook , 1988, pág. 597).

Para este proyecto se va a utilizar el acero A36 que es un acero estructural de bajo contenido de carbono, muy usado en maquinarias, herramientas y construcciones, mismo que presenta características similares a la del hierro gris. Debido a que los aceros para trabajos en caliente como el W300 tienen un costo elevado se optó por este material, y además, por que la geometría del diseño no es compleja, por lo que el desgaste superficial del molde será mínimo.

Las propiedades del material químicas, termodinámicas y físicas se ven detalladas en las *tablas 4.3 y 4.4* respectivamente.

Tabla 4.3.  
Composición química acero A-36

Composición %						
Hierro	Silicio	Carbono	Manganeso	Azufre	Fosforo	Cobre
restante	0.4	0.26	.....	0.05	0.04	0.2

Fuente: (ASTM A36, 2008, pág. 2)

Tabla 4.4.  
Propiedades termodinámicas y mecánicas acero A-36

Punto de fusión	1154°-1538°C
Solidus	1154°C
Liquidus	1538°C
Densidad	7850 kg/m <sup>3</sup>
Conductividad térmica	51.9 W/m*K
Resistencia a la tracción	400-550 Mpa
Calor específico	460 J/Kg°K

Fuente: (Mangonon, 2001, pág. 466)

## 4.5 Cálculos parámetro de fundición

### 4.5.1 Tiempo de solidificación.

El tiempo de solidificación relaciona el volumen de una fundición con su área superficial, como se muestra en la *ecuación 2.1* (regla de Chvorinov), donde  $C_m$  es una constante que refleja (a) el material del molde, (b) las propiedades del metal (incluyendo el calor latente) y (c) la temperatura. El valor de dicha constante  $C_m$  se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$C_m = \left[ \frac{\rho_m * L}{(T_m - T_0)} \right]^2 \left[ \frac{1}{(k\rho c)} \right] \left[ \frac{\pi}{4} \right]$$

Ecuación 4.1. Constante del tiempo de solidificación

Fuente: (Poirier & Geiger, 1994, pág. 332)

Donde:

$\rho$ : densidad del molde

$\rho_m$ : densidad del material

$L$ : calor latente del material

$T_m$ : Temperatura de fusión del material

$T_0$ : Temperatura inicial del molde

$k$ : Conductividad térmica del molde

$c$ : Calor específico del molde

Reemplazando los valores y realizando los cálculos se obtiene:

$$C_m = 2788 \text{ min/m}^2$$

Por medio de la herramienta de propiedades másicas se obtiene el volumen y el área superficial del modelo que son de 538591.4385 mm<sup>3</sup> y 102882.0677 mm<sup>2</sup> respectivamente. Ver figura 4.6.

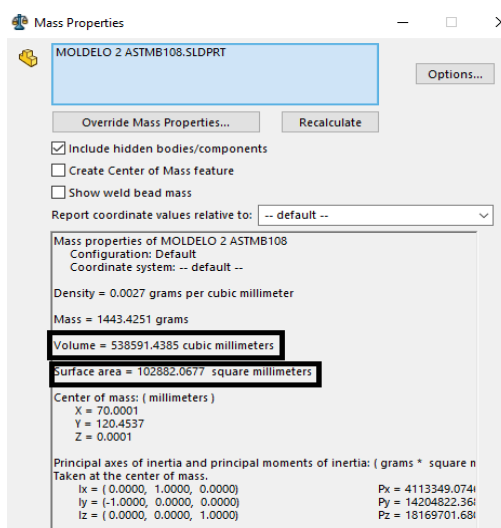


Figura 4.6. Volumen y área superficial modelo de fundición.

Entonces:

$$T_{TS} = 2788 \text{ min/m}^2 \left( \frac{0.0005385914385}{0.1028820677} \text{ m} \right)^2$$

$$T_{TS} = 0.08 \text{ min} \approx 5 \text{ seg}$$

#### 4.5.2 Tiempo y velocidad de llenado

Este cálculo se refiere al tiempo mínimo requerido que va a tardar el molde en llenarse, incluyendo, mazarotas, respiraderos y el sistema de alimentación. Para dicho cálculo se va a utilizar un método estándar que se describe en la *ecuación 2.2*, en la cual se debe calcular la velocidad de flujo en el bebedero, aplicando el teorema de Bernoulli entre el punto 1 y 2 de la *figura 4.7*, omitiendo las pérdidas por fricción y trabajando a presión atmosférica. (Giménez & Guillamón, Madrid, pág. 12).

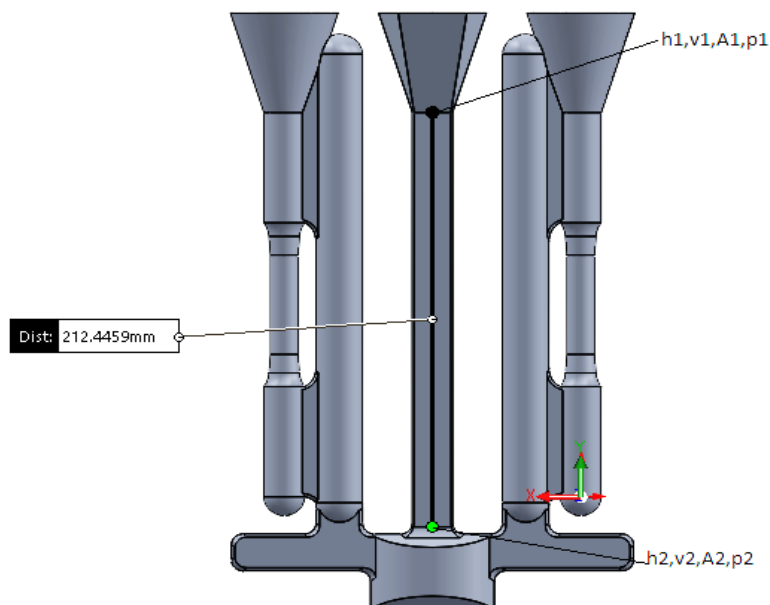


Figura 4.7. Extremo y base del bebedero

$$h_2 + \frac{v_2^2}{2g} = h_1 + \frac{v_1^2}{2g}$$

Ecuación 4.2. Ecuación de Bernoulli

Fuente: (Giménez & Guillamón, Madrid, pág. 12)

Siendo  $v_1$  la velocidad en la parte superior del bebedero,  $v_2$  la velocidad en la base del bebedero y  $h_2=0$ , donde:

$$v_2 = \sqrt{h_1 * 2g}$$

$$v_2 = \sqrt{2 * 981 * 21.24}$$

$$v_2 = \mathbf{204.14 \text{ cm/s}}$$

Aplicando la ley de continuidad, se va a calcular la velocidad de flujo volumétrico, donde  $A$  es el área de la base del bebedero, siendo igual a  $0.684 \text{ cm}^2$ .

$$Q = A * v_2$$

Ecuación 4.3. Ecuación velocidad de flujo volumétrico.

Fuente: (Giménez & Guillamón, Madrid, pág. 12)

$$Q = 0.684 * 204.13$$

$$Q = 139.6 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Reemplazando los valores y realizando los cálculos se obtiene:

$$MTF = \frac{538.591 \text{ cm}^3}{139.6 \text{ cm}^3/\text{s}}$$

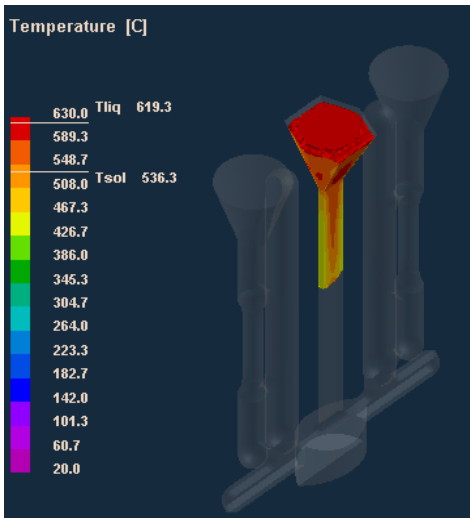
$$MTF = 3.86 \approx 4 \text{ s}$$

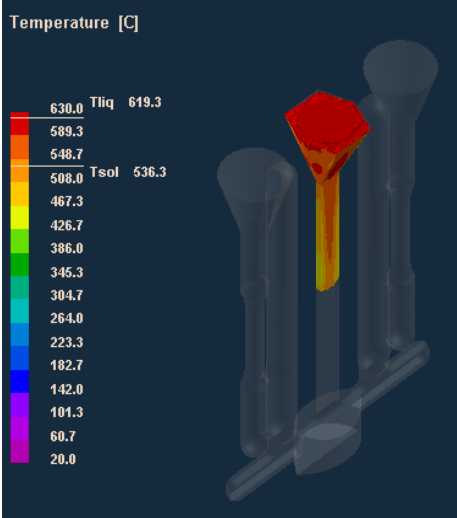
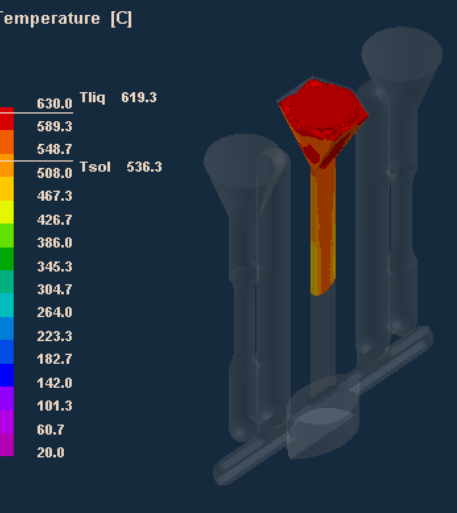
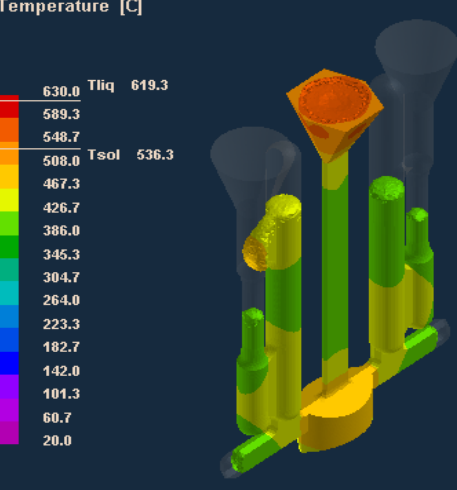
#### 4.6 Simulación de llenado del molde

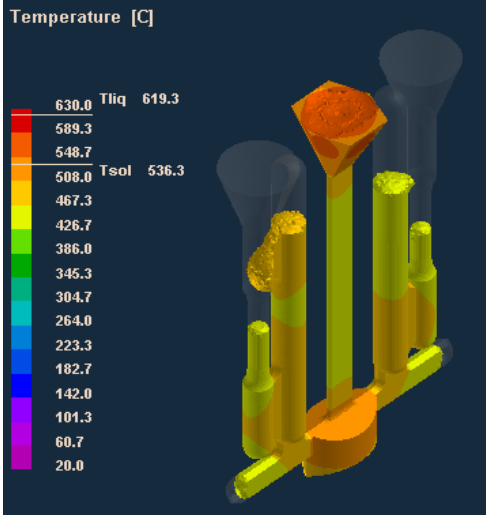
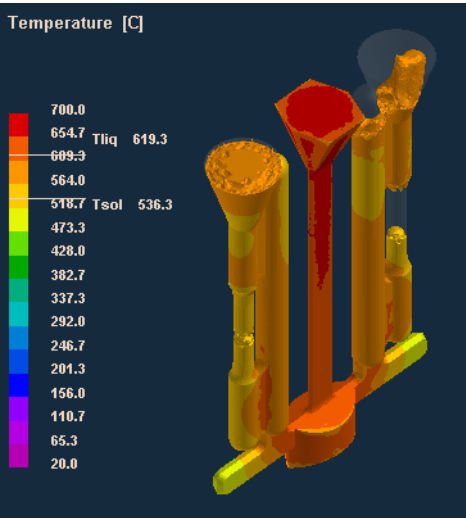
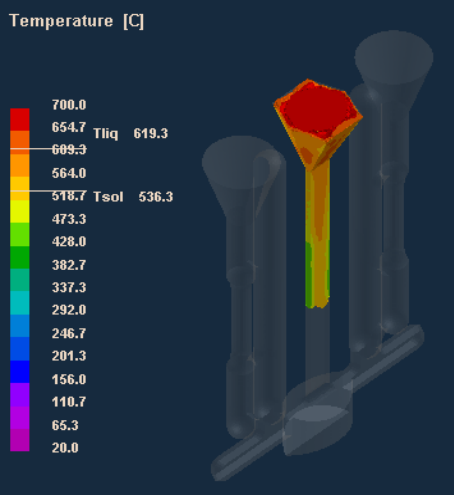
Para encontrar las temperaturas adecuadas del molde y de la colada, se va a realizar varias simulaciones bajo diferentes condiciones de proceso, para poder identificar las zonas donde no fluye el material y donde no hay un correcto llenado del molde. Es importante mencionar que estudios relacionados con este tema varían las temperaturas del molde entre 330°C- 500°C y la temperatura de la colada de 700°C- 850°C, con el fin de encontrar las condiciones adecuadas para un llenado completo. (Morales & Mendoza, 2010).

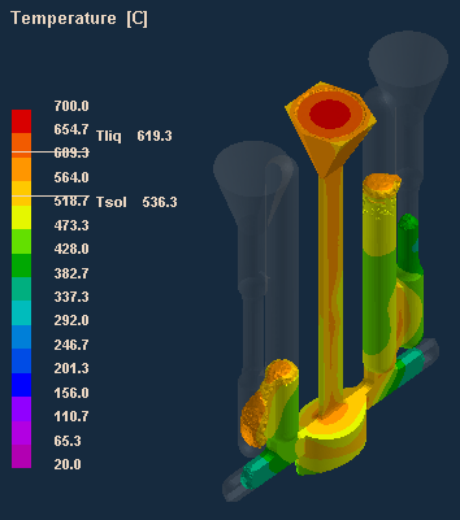
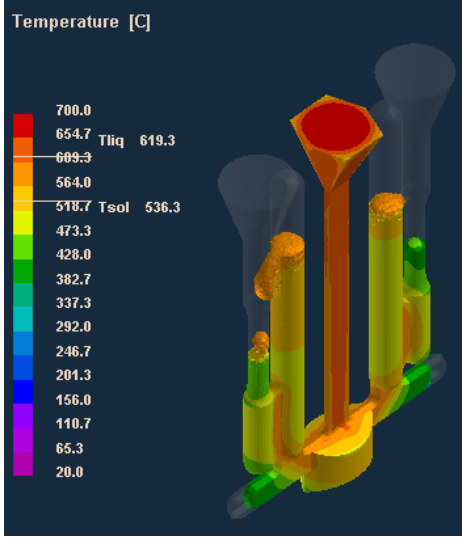
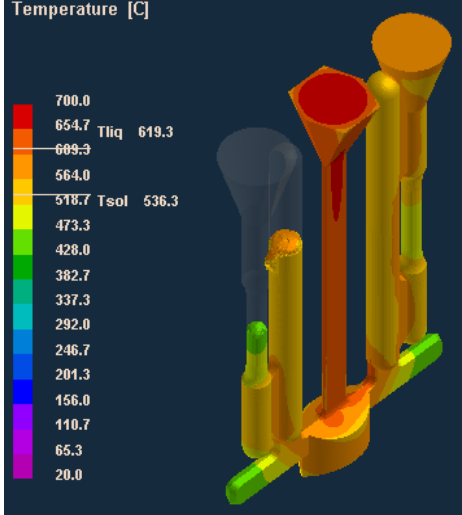
En la presente investigación se va tomar una temperatura inicial del molde de 200°C, debido a que es un valor recomendado por (Kalpakjian & Schmid, 2008, pág. 304), y una temperatura inicial de la colada de 630°C, ya que para una aleación de aluminio-silicio-magnesio su punto de fusión es a partir de los 615°C, lo que quiere decir que es necesario aumentar su temperatura para estar en la zona de *Liquidus*. Se irá incrementando las temperaturas del molde y del material fundido cada 50°C para tener un mejor control de estas variables, evitando así temperaturas excesivas en dichos parámetros. Véase *tabla 4.5*.

Tabla 4.5.  
Simulación de llenado

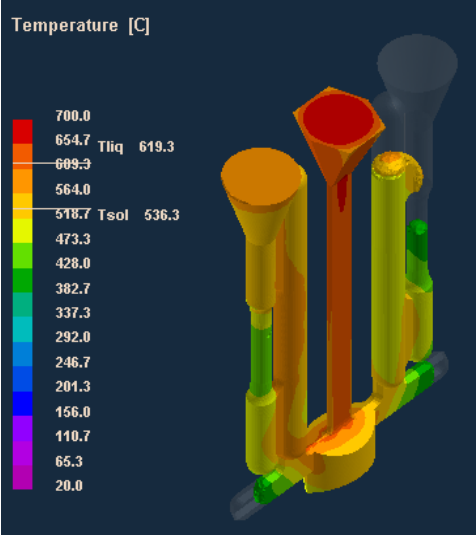
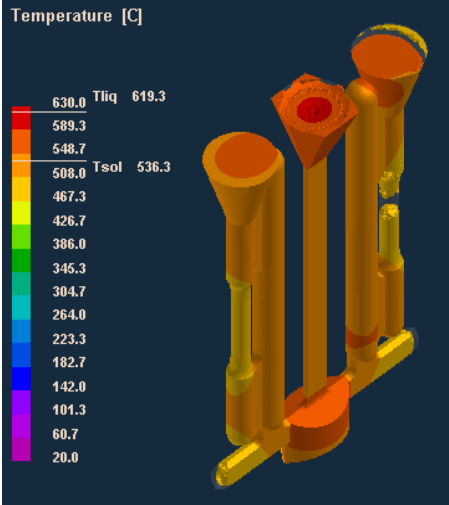
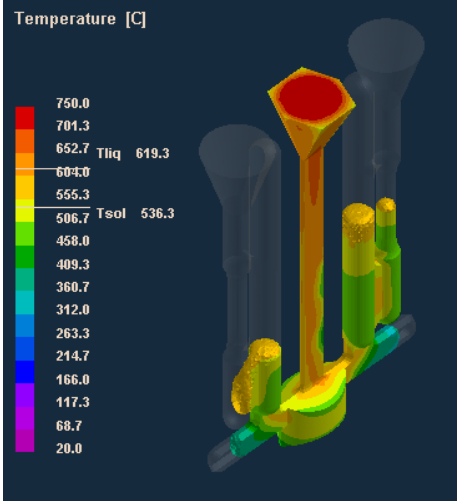
SIMULACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN	
Imagen	Características
	<p> <math>T_{\text{molde}} = 200^\circ\text{C}</math>  <math>T_{\text{colada}} = 630^\circ\text{C}</math>  <math>\text{HTC} = 2000 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}</math>            Enfriamiento a temperatura ambiente            Presión atmosférica            Porcentaje de llenado: 9.5%  <b>Conclusión:</b>            Solidificación prematura lo que ocasiona un llenado incompleto del molde         </p>

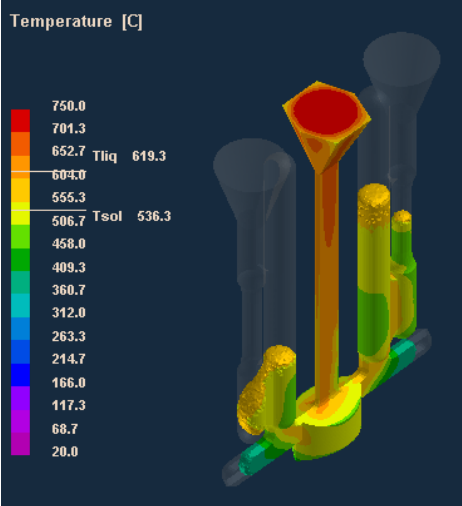
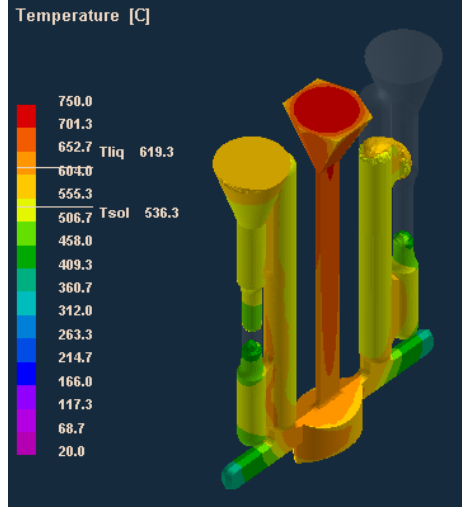
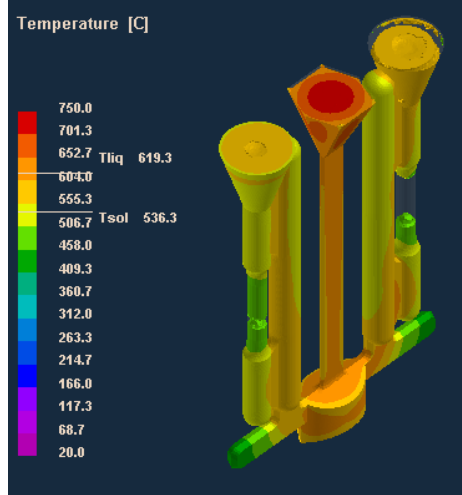
	<p><math>T_{\text{molde}}=250^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>T_{\text{colada}}=630^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>\text{HTC}=2000 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}</math></p> <p>Enfriamiento a temperatura ambiente</p> <p>Presión atmosférica</p> <p>Porcentaje de llenado: 10 %</p> <p><b>Conclusión:</b></p> <p>Solidificación prematura lo que ocasiona un llenado incompleto del molde</p>
	<p><math>T_{\text{molde}}=300^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>T_{\text{colada}}=630^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>\text{HTC}=2000 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}</math></p> <p>Enfriamiento a temperatura ambiente</p> <p>Presión atmosférica</p> <p>Porcentaje de llenado: 12 %</p> <p><b>Conclusión:</b></p> <p>Solidificación prematura lo que ocasiona un llenado incompleto del molde</p>
	<p><math>T_{\text{molde}}=350^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>T_{\text{colada}}=630^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>\text{HTC}=2000 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}</math></p> <p>Enfriamiento a temperatura ambiente</p> <p>Presión atmosférica</p> <p>Porcentaje de llenado: 61%</p> <p><b>Conclusión:</b></p> <p>Solidificación prematura lo que ocasiona un llenado incompleto del molde</p>

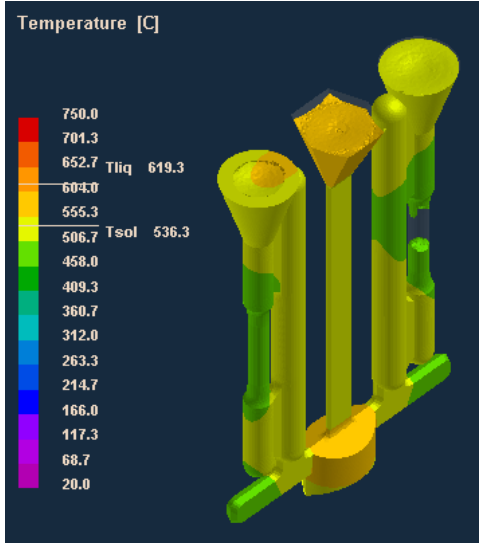
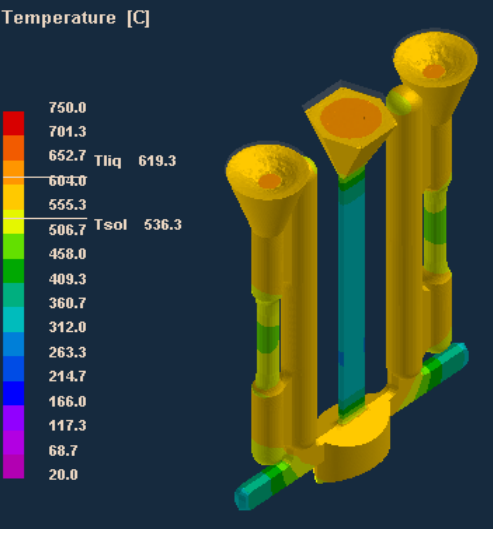
 <p>Temperature [C]</p> <p>630.0 Tliq 619.3 589.3 548.7 508.0 Tsol 536.3 467.3 426.7 386.0 345.3 304.7 264.0 223.3 182.7 142.0 101.3 60.7 20.0</p>	<p><math>T_{\text{molde}}=400^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>T_{\text{colada}}=630^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>\text{HTC}=2000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math></p> <p>Enfriamiento a temperatura ambiente</p> <p>Presión atmosférica</p> <p>Porcentaje de llenado: 63%</p> <p><b>Conclusión:</b></p> <p>Solidificación prematura lo que ocasiona un llenado incompleto del molde</p>
 <p>Temperature [C]</p> <p>700.0 654.7 Tliq 619.3 609.3 564.0 518.7 Tsol 536.3 473.3 428.0 382.7 337.3 292.0 246.7 201.3 156.0 110.7 65.3 20.0</p>	<p><math>T_{\text{molde}}=450^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>T_{\text{colada}}=630^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>\text{HTC}=2000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math></p> <p>Enfriamiento a temperatura ambiente</p> <p>Presión atmosférica</p> <p>Porcentaje de llenado: 89%</p> <p><b>Conclusión:</b></p> <p>Solidificación prematura lo que ocasiona un llenado incompleto del molde</p>
 <p>Temperature [C]</p> <p>700.0 654.7 Tliq 619.3 609.3 564.0 518.7 Tsol 536.3 473.3 428.0 382.7 337.3 292.0 246.7 201.3 156.0 110.7 65.3 20.0</p>	<p><math>T_{\text{molde}}= 200^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>T_{\text{colada}}= 700^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>\text{HTC}=2000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math></p> <p>Enfriamiento a temperatura ambiente</p> <p>Presión atmosférica</p> <p>Porcentaje de llenado: 10.5 %</p> <p><b>Conclusión:</b></p> <p>Solidificación prematura lo que ocasiona un llenado incompleto del molde.</p>

 <p>Temperature [C]</p> <p>700.0 654.7 Tliq 619.3 609.3 564.0 518.7 Tsol 536.3 473.3 428.0 382.7 337.3 292.0 246.7 201.3 156.0 110.7 65.3 20.0</p>	<p><math>T_{\text{molde}} = 250^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>T_{\text{colada}} = 700^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>\text{HTC} = 2000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math></p> <p>Enfriamiento a temperatura ambiente</p> <p>Presión atmosférica</p> <p>Porcentaje de llenado: 48.2 %</p> <p><b>Conclusión:</b></p> <p>Solidificación prematura lo que ocasiona un llenado incompleto del molde</p>
 <p>Temperature [C]</p> <p>700.0 654.7 Tliq 619.3 609.3 564.0 518.7 Tsol 536.3 473.3 428.0 382.7 337.3 292.0 246.7 201.3 156.0 110.7 65.3 20.0</p>	<p><math>T_{\text{molde}} = 300^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>T_{\text{colada}} = 700^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>\text{HTC} = 2000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math></p> <p>Enfriamiento a temperatura ambiente</p> <p>Presión atmosférica</p> <p>Porcentaje de llenado: 60.8 %</p> <p><b>Conclusión:</b></p> <p>Solidificación prematura lo que ocasiona un llenado incompleto del molde</p>
 <p>Temperature [C]</p> <p>700.0 654.7 Tliq 619.3 609.3 564.0 518.7 Tsol 536.3 473.3 428.0 382.7 337.3 292.0 246.7 201.3 156.0 110.7 65.3 20.0</p>	<p><math>T_{\text{molde}} = 350^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>T_{\text{colada}} = 700^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>\text{HTC} = 2000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math></p> <p>Enfriamiento a temperatura ambiente</p> <p>Presión atmosférica</p> <p>Porcentaje de llenado: 79 %</p> <p><b>Conclusión:</b></p> <p>Solidificación prematura lo que ocasiona un llenado incompleto del molde</p>



 <p>Temperature [C]</p> <p>700.0 654.7 609.3 564.0 518.7 Tliq 619.3 473.3 428.0 382.7 337.3 292.0 246.7 201.3 156.0 110.7 65.3 20.0</p>	<p><math>T_{\text{molde}} = 400^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>T_{\text{colada}} = 700^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>\text{HTC} = 2000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math></p> <p>Enfriamiento a temperatura ambiente</p> <p>Presión atmosférica</p> <p>Porcentaje de llenado: 82 %</p> <p><b>Conclusión:</b></p> <p>Solidificación prematura lo que ocasiona un llenado incompleto del molde</p>
 <p>Temperature [C]</p> <p>630.0 Tliq 619.3 589.3 548.7 508.0 Tsol 536.3 467.3 426.7 386.0 345.3 304.7 264.0 223.3 182.7 142.0 101.3 60.7 20.0</p>	<p><math>T_{\text{molde}} = 450^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>T_{\text{colada}} = 700^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>\text{HTC} = 2000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math></p> <p>Enfriamiento a temperatura ambiente</p> <p>Presión atmosférica</p> <p>Porcentaje de llenado: 97 %</p> <p><b>Conclusión:</b></p> <p>Solidificación prematura lo que ocasiona un llenado incompleto del molde</p>
 <p>Temperature [C]</p> <p>750.0 701.3 652.7 Tliq 619.3 604.0 555.3 506.7 Tsol 536.3 458.0 409.3 360.7 312.0 263.3 214.7 166.0 117.3 68.7 20.0</p>	<p><math>T_{\text{molde}} = 200^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>T_{\text{colada}} = 750^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>\text{HTC} = 2000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math></p> <p>Enfriamiento a temperatura ambiente</p> <p>Presión atmosférica</p> <p>Porcentaje de llenado: 44 %</p> <p><b>Conclusión:</b></p> <p>Solidificación prematura lo que ocasiona un llenado incompleto del molde</p>

	<p> <math>T_{\text{molde}} = 250^{\circ}\text{C}</math>  <math>T_{\text{colada}} = 750^{\circ}\text{C}</math>  <math>\text{HTC} = 2000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math>            Enfriamiento a temperatura ambiente            Presión atmosférica            Porcentaje de llenado: 48.3 %  <b>Conclusión:</b>            Solidificación prematura lo que ocasiona un llenado incompleto del molde         </p>
	<p> <math>T_{\text{molde}} = 300^{\circ}\text{C}</math>  <math>T_{\text{colada}} = 750^{\circ}\text{C}</math>  <math>\text{HTC} = 2000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math>            Enfriamiento a temperatura ambiente            Presión atmosférica            Porcentaje de llenado: 50.1%  <b>Conclusión:</b>            Solidificación prematura lo que ocasiona un llenado incompleto del molde         </p>
	<p> <math>T_{\text{molde}} = 350^{\circ}\text{C}</math>  <math>T_{\text{colada}} = 750^{\circ}\text{C}</math>  <math>\text{HTC} = 2000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math>            Enfriamiento a temperatura ambiente            Presión atmosférica            Porcentaje de llenado: 82 %  <b>Conclusión:</b>            Solidificación prematura lo que ocasiona un llenado incompleto del molde         </p>

 <p>Temperature [C]</p> <p>750.0 701.3 652.7 Tliq 619.3 604.0 555.3 506.7 Tsol 536.3 458.0 409.3 360.7 312.0 263.3 214.7 166.0 117.3 68.7 20.0</p>	<p><math>T_{\text{molde}} = 400^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>T_{\text{colada}} = 750^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>\text{HTC} = 2000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math></p> <p>Enfriamiento a temperatura ambiente</p> <p>Presión atmosférica</p> <p>Porcentaje de llenado: 90%</p> <p><b>Conclusión:</b></p> <p>Solidificación prematura lo que ocasiona un llenado incompleto del molde</p>
 <p>Temperature [C]</p> <p>750.0 701.3 652.7 Tliq 619.3 604.0 555.3 506.7 Tsol 536.3 458.0 409.3 360.7 312.0 263.3 214.7 166.0 117.3 68.7 20.0</p>	<p><math>T_{\text{molde}} = 450^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>T_{\text{colada}} = 750^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>\text{HTC} = 2000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math></p> <p>Enfriamiento a temperatura ambiente</p> <p>Presión atmosférica</p> <p>Porcentaje de llenado: 100%</p> <p><b>Conclusión:</b></p> <p>Llenado total del molde</p>

Se observa en las simulaciones realizadas que las temperaturas adecuadas de trabajo para el molde y la colada son de  $450^{\circ}\text{C}$  y  $750^{\circ}\text{C}$  respectivamente, ya que si se usan temperaturas menores se generan puntos fríos que obstruyen el flujo e impiden el correcto llenado del molde.

#### 4.7 Análisis CAM

Un análisis CAM tiene como objetivo buscar la forma de cómo llevar el diseño del molde a un proceso de mecanizado CNC, mejorando tiempos de maquinado, costo y recursos. Este análisis consiste en buscar el herramental necesario para su construcción, observando la geometría de la pieza para elegir los puntos de sujeción y determinar el cero pieza para así lograr los resultados esperados.

#### 4.8 Selección de herramental

La selección de herramientas para el maquinado del molde, se obtiene del análisis CAM y de las propiedades mecánicas del material a mecanizar previamente analizadas, en este caso se va a usar fresas frontales de vástago de metal duro HRC, debido a que este tipo de herramientas tienen una alta resistencia al desgaste y una larga vida útil a comparación de las herramientas de acero rápido HSS. La *figura 4.8* muestra el efecto de la velocidad de corte en la vida útil de la herramienta, siendo este el parámetro más crítico al momento del mecanizado.

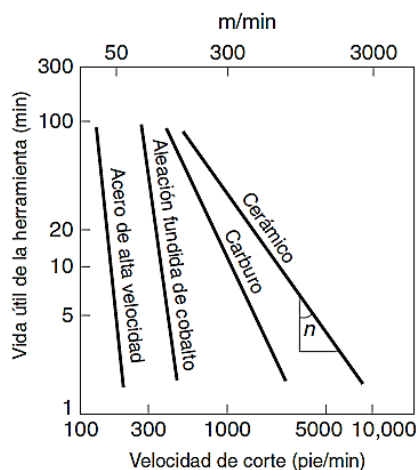


Figura 4.8. Vida útil de las herramientas de corte  
Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008, pág. 629)

Las herramientas que se utilizan para el mecanizado CNC del molde se detallan en la *tabla 4.6*.

Tabla 4.6.  
Herramientas para el maquinado del molde

Tipo	Diámetro(mm)	Número de filos	Operaciones
Fresa frontal punta recta	20 mm	4	Desbaste
Fresa frontal punta recta	6 mm	4	Desbaste
Fresa frontal punta esférica	6 mm	2	Acabado
Broca	11.1 mm	2	Perforado

#### 4.9 Cálculo parámetros de corte

La velocidad de corte, el avance por diente y la profundidad de corte axial, fueron tomados bajo las recomendaciones del fabricante para aceros que posean una dureza menor a 20 HRC – código de la herramienta CAE4, ver de forma más detallada en el *ANEXO 7*, parámetros de desbaste.

➤ **Cálculo fresa de 20mm punta recta ( $D_{20}$ )**

Para determinar los parámetros de desbaste adecuados se va a usar la relación entre el avance y la profundidad de pasada, que para herramientas de metal duro es igual a 1/10. (Carrasco & Mallorquín, 2012).

$$\frac{a}{pp} = \frac{1}{10}$$

Ecuación 4.4. Relación entre el avance y la profundidad de pasada  
Fuente: (Carrasco & Mallorquín, 2012, pág. 56).

Donde:

**a** = avance (mm/rev)

**pp** = profundidad de pasada (mm)

La *figura 4.9* muestra la máxima profundidad de corte que puede desbastar la herramienta, misma que es igual a  $0.2D$ .

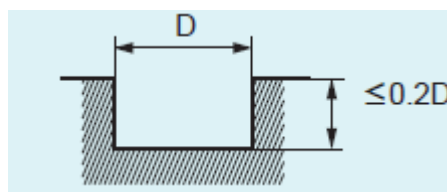


Figura 4.9. Máxima profundidad de corte

Donde:

**D**= ancho de corte (mm)

**0.2D** = profundidad de pasada (mm)

Reemplazando y realizando los cálculos respectivos se obtiene una profundidad de corte  $\leq 4$  mm, en este caso se va a seleccionar una profundidad de 1 mm, debido a que se va a realizar el careado del molde y no se necesitan grandes profundidades, ya que el objetivo de realizar esta operación es obtener una superficie plana que no presente discontinuidades del material a desbastar.

Con la profundidad de corte obtenida se procede a calcular el avance por diente para poder seleccionar la velocidad de corte adecuada.

$$a = \frac{1}{10} = 0.1 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} = \mathbf{0.025 \frac{\text{mm}}{\text{diente}}}$$

El fabricante de la herramienta establece un rango de velocidades de corte de 120 a 200 metros por minuto con sus respectivos avances de 0.006 a 0.16 milímetros por diente. Interpolando el avance por diente calculado con los parámetros de desbaste del fabricante se obtiene una velocidad de corte ( $V_c$ ) de:

$$\frac{0.16 - 0.006}{0.16 - 0.025} = \frac{200 - 120}{200 - V_c}$$

$$\mathbf{V_c = 130 \frac{m}{min}}$$

La *tabla 4.7* detalla los parámetros de corte óptimos obtenidos y propiedades del material a desbastar, que sirven para determinar el número de vueltas por minuto de la herramienta, la velocidad de avance, la potencia neta requerida, y el volumen de viruta, mismos que correctamente calculados garantizan un buen resultado de cualquier operación de fresado.

Tabla 4.7.  
Parámetros de corte para fresas punta recta de 20mm

Parámetros de herramientas de corte					
Velocidad de corte ( $V_c$ )	Avance( $f_z$ )	Profundidad de corte ( $a_p$ )	Numero de dientes( $z_c$ )	Ancho de corte( $a_e$ )	Fuerza de corte específica ( $K_c$ )
130 m/min	0.025 mm/diente	1 mm	4	20 mm	1500 N/mm <sup>2</sup>

Reemplazando los valores se obtiene:

Velocidad del husillo

$$N = \frac{V_c * 1000}{\pi * D_{20}}$$

$$\mathbf{N=2069 \text{ Rpm}}$$

Velocidad de avance

$$V_f = N * z_c * f_z$$

$$\mathbf{V_f = 207 \text{ mm/min}}$$

Arranque de viruta

$$Q = \frac{ap * a_e * v_f}{1000}$$

$$Q = 4.14 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Potencia neta requerida

$$P_C = \frac{ap * a_e * v_f * K_C}{60 * 10^6}$$

$$P_C = 0.1 \text{ Kw}$$

➤ **Cálculo fresa de 6mm recta (D6)**

Para los cálculos de la fresa de 6 mm se sigue el procedimiento anterior, obteniendo una profundidad de pasada  $\leq 1.2$  mm, en este caso se va a seleccionar una profundidad de pasada de 0.7 mm, para no correr el riesgo de una posible rotura de la herramienta.

Realizando los cálculos respectivos se obtiene:

$$a = \frac{0.7}{10} = 0.07 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} = 0.0175 \frac{\text{mm}}{\text{diente}}$$

Interpolando para obtener la velocidad de corte:

$$\frac{0.16 - 0.006}{0.16 - 0.0175} = \frac{200 - 120}{200 - V_c}$$

$$V_c = 126 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

La *tabla 4.8* detalla los parámetros de corte óptimos obtenidos y propiedades del material a desbastar, que sirven para determinar el número de vueltas por minuto de la herramienta, la velocidad de avance, la potencia neta requerida, y el volumen de viruta, mismos que correctamente calculados garantizan un buen resultado de cualquier operación de fresado.

Tabla 4.8.  
Parámetros de corte para fresas punta recta de 6mm

Parámetros de herramientas de corte					
Velocidad de corte ( $V_c$ )	Avance( $f_z$ )	Profundidad de corte ( $a_p$ )	Numero de dientes( $z_c$ )	Ancho de corte( $a_e$ )	Fuerza de corte ( $k_c$ )
126 m/min	0.0175 mm/diente	0.7 mm	4	6 mm	1500 N/mm <sup>2</sup>

Velocidad del husillo

$$N = \frac{V_c * 1000}{\pi * D_6}$$

$$N = 6682 \text{ Rpm}$$

Velocidad de avance

$$V_f = N * z_c * f_z$$

$$V_f = 468 \text{ mm/min}$$

Arranque de viruta

$$Q = \frac{a_p * a_e * v_f}{1000}$$

$$Q = 1.96 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Potencia neta requerida

$$P_C = \frac{a_p * a_e * v_f * K_C}{60 * 10^6}$$

$$P_C = 0.05 \text{ Kw}$$

➤ **Calculo fresa de 6mm redonda ( $D_6$ )**

En este caso la profundidad de corte es de 0.3 mm ya que es el sobre-espesor dejado en la etapa de desbaste para realizar el acabado final. (Casillas, 2008, pág. 597). Realizando los cálculos respectivos se obtiene:



$$a = \frac{0.3}{10} = 0.03 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} = \mathbf{0.0075 \frac{\text{mm}}{\text{diente}}}$$

Interpolando para obtener la velocidad de corte:

$$\frac{0.16 - 0.006}{0.16 - 0.0075} = \frac{200 - 120}{200 - V_c}$$

$$V_c = \mathbf{121 \frac{m}{min}}$$

Para el acabado los valores de la velocidad de corte aumentan un 25%, mientras que el avance disminuye un 25%. (Gerling, 2006, pág. 153). Ver *tabla 4.9*.

Tabla 4.9.  
Parámetros de corte para fresas punta esférica de 6mm

Parámetros de herramientas de corte					
Velocidad de corte ( $V_c$ )	Avance( $f_z$ )	Profundidad de corte ( $a_p$ )	Numero de dientes( $z_c$ )	Ancho de corte( $a_e$ )	Fuerza de corte ( $k_c$ )
151 m/min	0.0056 mm/diente	0.3 mm	2	0.3 mm	1500 N/mm <sup>2</sup>

Velocidad del husillo

$$N = \frac{V_c * 1000}{\pi * D_6}$$

$$\mathbf{N=8000 \text{ Rpm}}$$

Velocidad de avance

$$V_f = N * z_c * f_z$$

$$\mathbf{V_f = 90 \text{ mm/min}}$$

Arranque de viruta

$$Q = \frac{a_p * a_e * v_f}{1000}$$

$$\mathbf{Q=0.01 \text{ cm}^3/\text{min}}$$

Potencia neta requerida

$$P_C = \frac{ap * a_e * v_f * K_C}{60 * 10^3}$$

$$P_C = 0.0002 \text{ Kw}$$

➤ **Cálculo para broca 7/16 (D<sub>7/16</sub>)**

Tabla 4.10.

Parámetros de corte para brocas de 7/16 in

<b>Parámetros de herramientas de corte</b>					
<b>Velocidad de corte (V<sub>c</sub>)</b>	<b>Avance(f<sub>z</sub>)</b>	<b>Profundidad de corte (ap)</b>	<b>Numero de dientes(z<sub>c</sub>)</b>	<b>Ancho de corte(a<sub>e</sub>)</b>	<b>Fuerza de corte (K<sub>c</sub>)</b>
16 m/min	0.18 mm/diente	0.5 mm	2	11.1 mm	1500 N/mm <sup>2</sup>

Fuente: (Gerling, 2006).

Velocidad del husillo

$$N = \frac{V_C * 1000}{\pi * D_{7/16}}$$

$$N = 458 \text{ Rpm}$$

Velocidad de avance

$$V_f = N * z_c * f_z$$

$$V_f = 82.44 \text{ mm/min}$$

Arranque de viruta

$$Q = \frac{ap * a_e * v_f}{1000}$$

$$Q = 8 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Potencia neta requerida

$$P_C = \frac{f_n * D_C * v_C * K_C}{240 * 10^3}$$

$$P_C = 0.2 \text{ Kw}$$

#### 4.10 Simulación proceso de mecanizado.

Para la simulación del proceso de mecanizado se va a usar la herramienta SolidCam, misma que permite generar diferentes operaciones de fresado para obtener una pieza. Se va a realizar la simulación de una cara del molde ya que son simétricas y se puede usar las mismas operaciones para el mecanizado de la otra cara.

En primer lugar se define el cero pieza para el mecanizado el molde. Ver *figura 4.10*.

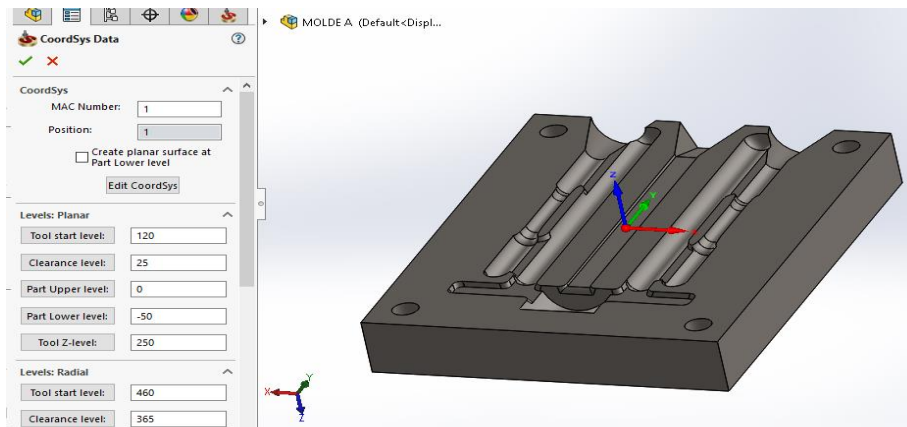


Figura 4.10. Cero pieza

Una vez definido el cero pieza se elige las dimensiones del material en bruto que se va a mecanizar como se detalla en la *figura 4.11*.

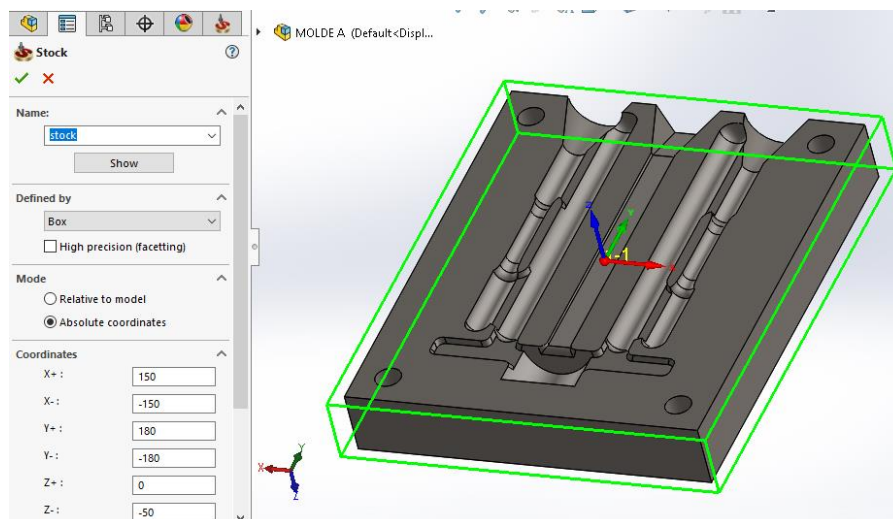


Figura 4.11. Definición de las dimensiones del material

Una vez culminada esta etapa se define la forma de la pieza, como se muestra en la *figura 4.12*.

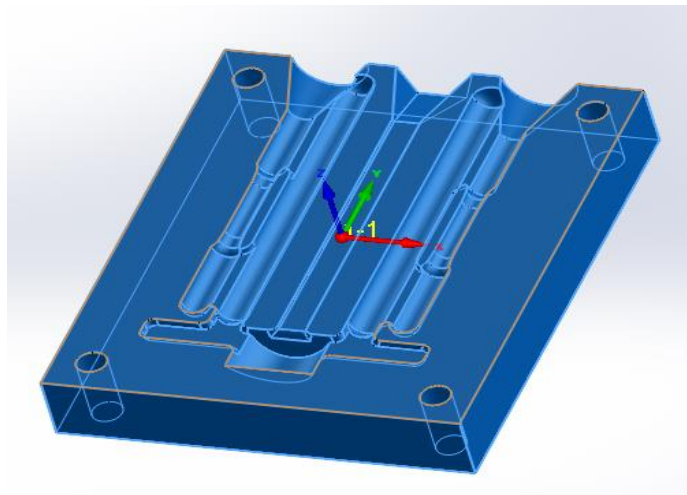


Figura 4.12. Forma de la pieza a mecanizar

Ya definidos estos tres parámetros se procede a realizar el mecanizado del molde con las diferentes operaciones que brinda el software. Ver *figura 4.13*.

A

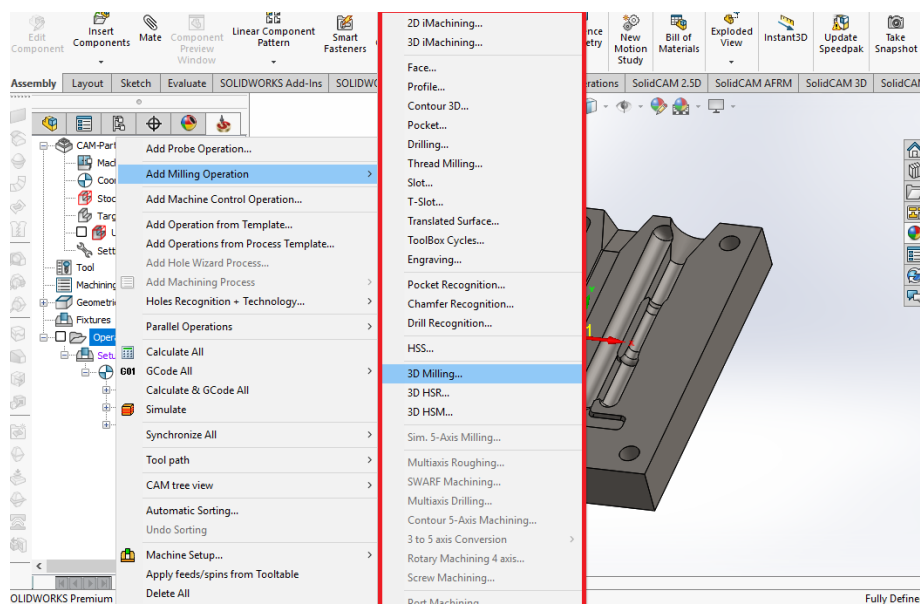
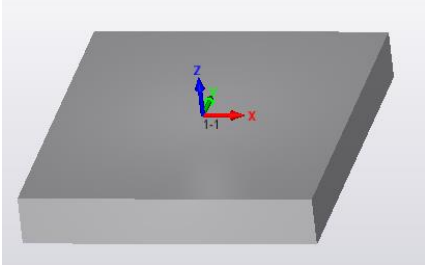
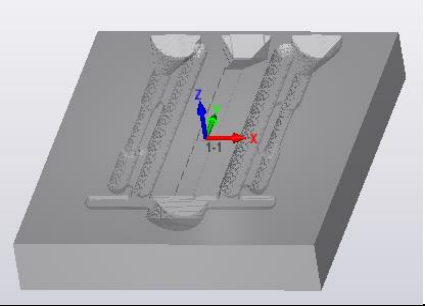
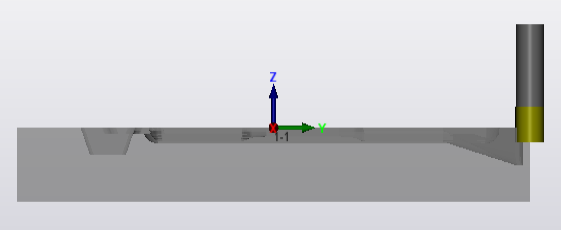
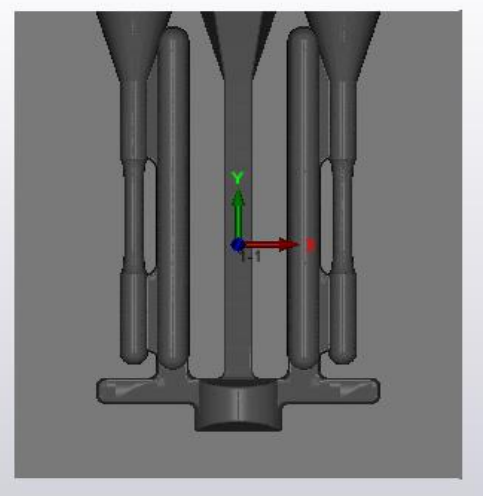
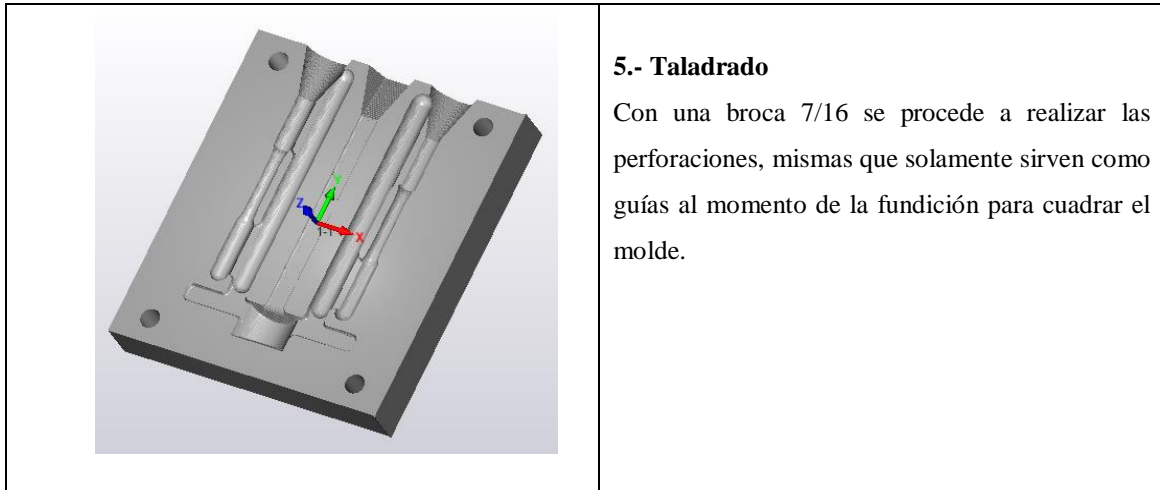


Figura 4.13. Operaciones CAM

A continuación, se describe el proceso de mecanizado de una cara del molde, mismo que se divide en 5 etapas de trabajo. Véase *tabla 4.11*.

Tabla 4.11.  
Proceso de mecanizado

Imagen	Etapas
	<p><b>1.- Planeado</b></p> <p>Se realiza un planeado de la cara superior e inferior del material con una fresa de 20 mm, para eliminar cualquier discontinuidad presente en la superficie del material.</p>
	<p><b>2.- Desbaste forma del molde</b></p> <p>Con una fresa de 6mm y con la operación de 3Dmilling se procede a desbastar, de tal manera que solo exista un excedente de 0.3 mm mismo que se lo mecaniza en la etapa de acabado.</p>
	<p><b>3.- Desbaste caras laterales</b></p> <p>Para rectificar las 4 caras laterales del molde se utiliza la operación de contorneado y una fresa de 20 mm, desbastando una profundidad de 48 mm.</p>
	<p><b>4.- Acabado</b></p> <p>Con una fresa punta redonda de 6mm se procede a realizar el afinado del molde eliminando el material excedente dejado en la etapa 2.</p>



Una vez realizada la simulación CAM del molde, se genera el código G para posteriormente realizar una revisión y corregir errores si existieren.

#### 4.11 Hoja de proceso de mecanizado

En la fabricación de piezas por mecanizado es muy importante el orden de todas las acciones para llegar a fabricar la pieza, desde la elección de los procesos o máquinas necesarias, formas de sujetar la pieza, hasta detallar cada una de las herramientas y sus datos de corte, toda esta información se recoge en las hojas de proceso o de instrucciones; que se detalla de mejor forma en el *ANEXO 8*, hoja de procesos.

#### 4.12 Colado y fundición

##### ➤ Preparación del material para la fundición

Una vez que los moldes se encuentran listos se procede a preparar el material para realizar la colada usando aluminio chatarra, compensando los componentes químicos restantes para llegar a una aleación 356.0 (aleación establecida por la norma).

##### ➤ Fundición del metal

Ya preparado el material se procede a realizar la fundición del mismo colocando el metal dentro de un horno de crisol fijo de 100 kg y elevando a una temperatura de 750°C como se muestra en la *figura 4.14*, este dato fue obtenido previamente mediante simulación, lo que asegura la fluidez del material en el momento del colado dentro de la cavidad del molde.



Figura 4.14. Fundición del metal.

➤ **Preparación y precalentamiento de la matriz**

Culminada la etapa de fundición del metal se realiza el precalentamiento del molde como se muestran en las *figuras 4.15 y 4.16* respectivamente, llegando a una temperatura de  $450^{\circ}\text{C}$ , dato obtenido mediante simulación, dicho precalentamiento ayuda a mejorar la fluidez del material, logrando así el llenado de todas las cavidades de la matriz. Es importante mencionar que para la medición de temperaturas se hizo uso de un termómetro pirómetro infrarrojo.



Figura 4.15. Preparación de la matriz



Figura 4.16. Pre calentamiento de la matriz a 450°C

➤ **Vertido del metal fundido**

Una vez que el material y el molde se encuentran en las temperaturas óptimas que son de 750°C y 450°C respectivamente, se procede a realizar el vertido del metal fundido en el molde como se muestra en la *figura 4.17*.



Figura 4.17. Vertido del metal fundido a 750°C

➤ **Extracción de la pieza**

Teniendo en cuenta el tiempo de solidificación previamente calculado, se debe esperar para realizar la extracción de la pieza. Al momento de la extracción se debe tener cuidado ya que el canal de alimentación es delgado y se corre el riesgo de que se rompa, además, aunque la pieza



ya se encuentre solidificada se encuentra a altas temperaturas (alrededor de 300°C) y puede ocasionar quemaduras si no se tiene las debidas precauciones. Ver *figura 4.18*.



Figura 4.18. Extracción de la pieza

#### 4.13 Rectificado de la probeta

Para el rectificado de la probeta se va a usar un torno convencional aplicando la técnica de pulido, que es un proceso donde se produce un acabado de la superficie liso y sin rayas, ya que la probeta no debe presentar discontinuidades en la sección de prueba, debido a que se generan concentradores de esfuerzo y los datos obtenidos en el ensayo de tracción serian erróneos. Las dimensiones que debe presentar la probeta se encuentran detalladas en la *tabla 2.1*. Ver *figura 4.19*.



Figura 4.19. Probeta maquinada

## CAPÍTULO V

### 5. Análisis de resultados

#### 5.1 Análisis de llenado mediante simulación

Para el análisis de llenado que se obtiene por simulación, se realiza unas gráficas de llenado Vs temperatura del molde, en las que se puede visualizar el porcentaje de llenado de la cavidad de la matriz, variando su temperatura de 200°C a 450°C y manteniendo la temperatura del material constante. A continuación, se analiza mediante diagramas las diferentes condiciones de frontera del proceso de fundición simuladas previamente.

##### 5.1.1 Temperatura de la colada a 630°C.

Se puede observar en la *figura 5.1* que la temperatura de molde es la más crítica, ya que esta permite que el material fluya con facilidad y permita el llenado del molde. Es importante mencionar que el punto de fusión de la colada es de 615°, por lo que a una temperatura de 630° el material apenas está sobrepasando la zona de *Liquidus* + *Solidus* y no tiene la fluidez requerida para llenar todas las cavidades del molde. El diagrama muestra diferentes condiciones de trabajo, en las cuales se ha variado la temperatura del molde, llegando a obtener un llenado total del 89% a una temperatura de la matriz de 450°, lo que indica que no son las temperaturas adecuadas para realizar el proceso de fundición.

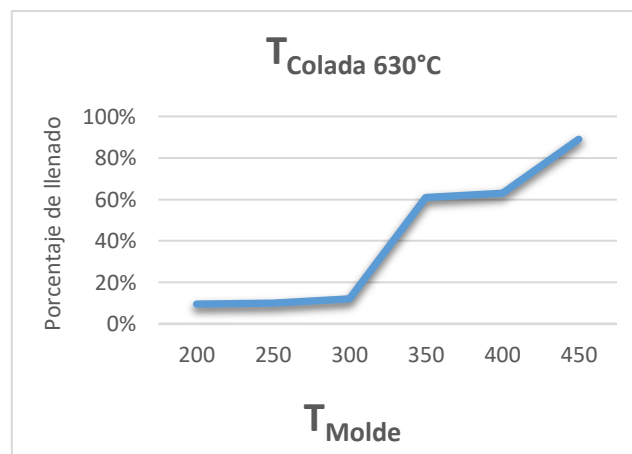


Figura 5.1. Llenado del molde a  $T_{Colada} = 630^{\circ}\text{C}$

##### 5.1.2 Temperatura de la colada a 700°C

Al igual que la anterior, la *figura 5.2* muestra diferentes condiciones de trabajo, con la diferencia en que la temperatura de la colada se encuentra incrementada a 700°C, esto permite aumentar su fluidez y la probabilidad que ocurra un llenado total de la matriz. El diagrama

muestra un llenado total del 97 % a una temperatura de la matriz de 450°C, lo que indica que pueden existir pequeñas zonas donde no fluya el material debido a la sollicitación prematura.

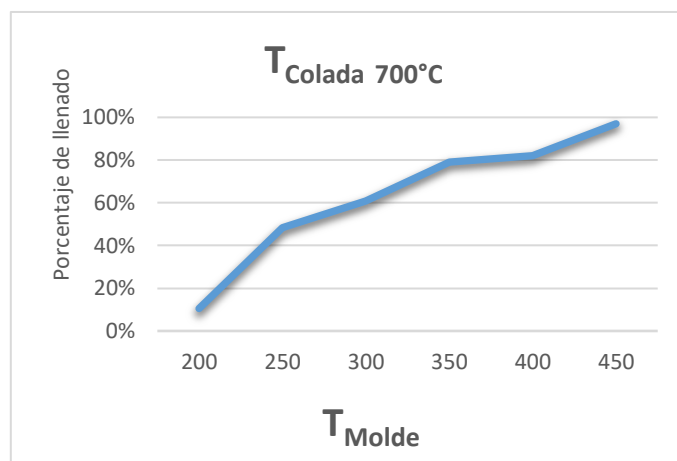


Figura 5.2. Llenado del molde a  $T_{Colada}=700^{\circ}C$

### 5.1.3 Temperatura de la colada a 750°C

En la *figura 5.3* se puede visualizar que el llenado del molde se encuentra en el 100%, debido a que la temperatura de la colada fue incrementada a 750°C, manteniendo la temperatura del molde a 450°C, lo que origina que aumente la fluidez del fundido. Esto permite que el material fluya llenando todas las cavidades de la matriz, eliminando así los vacíos que se originan con las condiciones analizadas previamente.

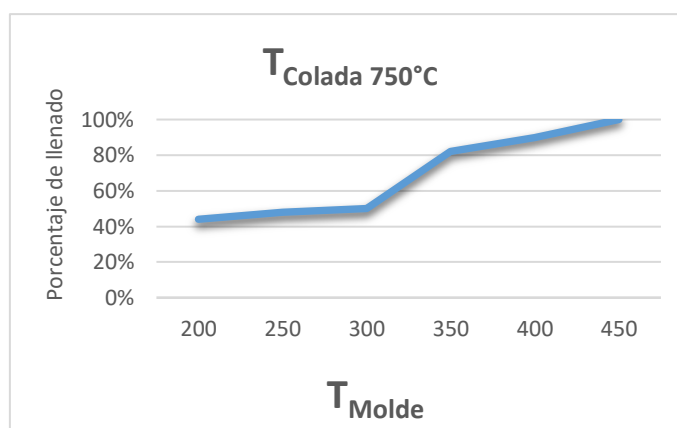




Figura 5.3. Llenado del molde a  $T_{Colada}=750^{\circ}C$


La temperatura del molde y la colada son las condiciones más críticas en un proceso de fundición, debido a que si no se controlan dichos parámetros puede ocurrir una solidificación prematura del material, ocasionando un llenado incompleto y por ende el aumento de tiempo, costo y recursos ya que se tiene que volver a fundir el metal.

## 5.2 Análisis de los parámetros de corte

Para el análisis de los parámetros de corte se va a utilizar los cálculos obtenidos previamente de la fresa frontal de vástago de 20 mm, aumentando su velocidad de corte y avance por diente para comparar los resultados mediante un análisis del desprendimiento de viruta y otros factores que influyen en un correcto mecanizado como son ruido, vibraciones, temperatura de la herramienta, entre otros. Es importante mencionar que el herramental a utilizar para estas pruebas es nuevo, para así poder analizar de forma correcta el tipo de viruta generada como se puede observar en la *tabla 5.1*.

Tabla 5.1.  
Análisis de los parámetros de corte

Parámetros de corte	Imagen	Características
$V_c = 130 \text{ m/min}$ $a_p = 1 \text{ mm}$ $F_z = 0.025 \text{ mm/diente}$		<p>La primera prueba de desbaste muestra una viruta continua, sin cambios de color en el material, sin presencia de ruido y vibraciones en la máquina. Además no presenta adhesiones de material en la punta de la fresa. Es importante mencionar que se hizo uso de un refrigerante sintético para que la herramienta no sufra un calentamiento excesivo.</p>
$V_c = 150 \text{ m/min}$ $a_p = 1 \text{ mm}$ $F_z = 0.1 \text{ mm/diente}$		<p>La segunda prueba de desbaste muestra una viruta continua, con cambios de color en el material, lo que indica que la viruta ha comenzado a quemarse debido a las altas revoluciones. No hubo presencia de ruido y vibraciones en la máquina, además no presenta adhesiones de material en la punta de la fresa. Al igual que la primera prueba se usó refrigerante sintético.</p>

$V_c = 180 \text{ m/min}$ $a_p = 1 \text{ mm}$ $F_z = 0.15 \text{ mm/diente}$		<p>La tercera prueba de desbaste muestra una viruta continua, con un color azulado en el material, lo que indica que la viruta se encuentra quemada debido a las elevadas revoluciones de trabajo. (Hoffman, Hopewell, &amp; Janes, 2012, pág. 415). Al igual que la segunda y primera fase no hubo presencia de ruido, tampoco vibraciones en la máquina, pero presenta un pequeño desgaste en los filos de la herramienta debido a que la velocidad de corte es demasiado alta y por ende su velocidad de avance. No se visualiza adhesiones de material en la punta de la fresa. De la misma forma que en la primera y segunda prueba se usó refrigerante sintético.</p>
---	---	---

En la *tabla 5.1* se puede observar la influencia que tienen la velocidad de corte y el avance, en el fresado de un acero A-36. El aumento de dichos parámetros provoca que la viruta se quemé y comience a presentar un desgaste en los filos de la herramienta. Es por ello que se deben escoger los parámetros de corte adecuados, ya que de ellos depende un correcto mecanizado logrando así obtener los resultados esperados. Mediante este análisis se logró validar los cálculos previamente realizados, obteniendo así los parámetros de desbaste correctos ( $V_c = 130 \text{ m/min}$ ,  $a_p = 1 \text{ mm}$ ,  $F_z = 0.025 \text{ mm/diente}$ ), mismos que no presentan efectos negativos durante el maquinado.

### 5.3 Análisis dimensional del material fundido

El análisis dimensional del fundido tiene como objetivo verificar y controlar las dimensiones reales y nominales mediante diagramas, verificando así la diferencia existente entre dichas medidas. A continuación, se analiza las diferentes partes del material fundido:

#### 5.3.1 Cilindricidad mazarota lateral

La *figura 5.4* muestra las medidas de la mazarota lateral tomadas en diferentes puntos mediante un calibrador pie de rey, si existen pequeñas diferencias dimensionales en todos los puntos, quiere decir que la mazarota es cilíndrica, caso contrario, si la diferencia dimensional es  $\geq 0.5 \text{ mm}$  (dato obtenido de la ISO 2768, tolerancias geométricas), indica que existe irregularidades en el maquinado del molde, mismo que tiene que ser corregido.

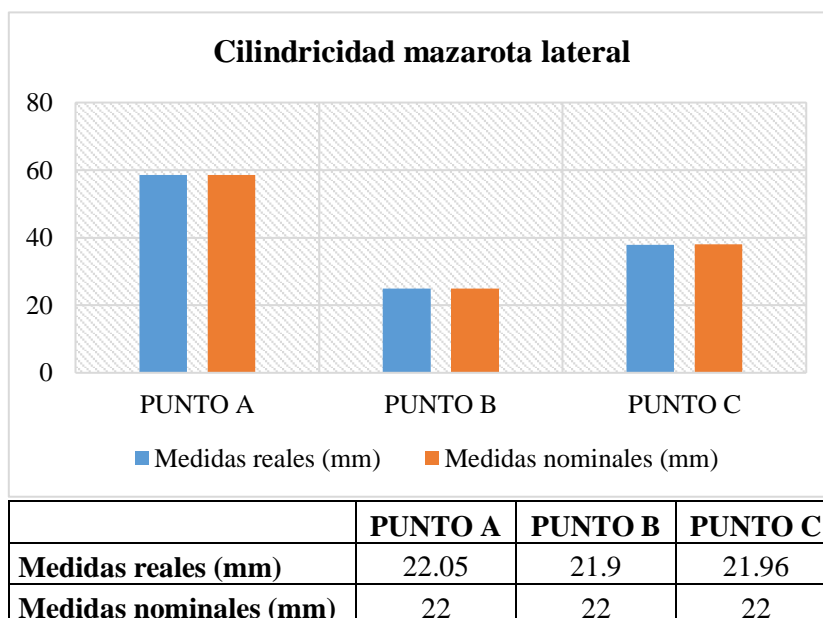


Figura 5.4. Análisis dimensional mazarota lateral

La *figura 5.5* muestra la diferencia de medidas entre la nominal y real de los diferentes puntos tomados como referencia, presentando pequeños desniveles mismos que pueden ser considerados como despreciables, ya que la mazarota tiene una tolerancia de  $\pm 0.2$  mm. Es importante mencionar que la mazarota actúa solo como un depósito de material extra para compensar la contracción al momento de la solidificación, es por ello que estas pequeñas irregularidades no afectan al diseño de la probeta.

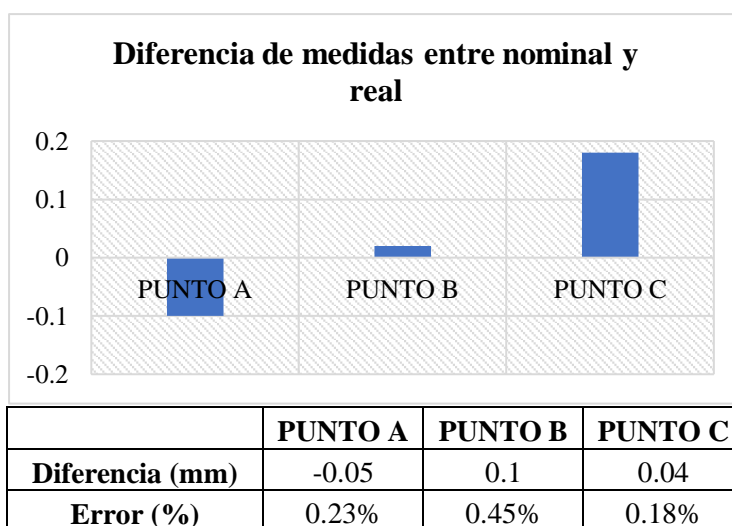


Figura 5.5. Diferencia de medidas de cilindridad de la mazarota lateral

Los pequeños errores generados en los diferentes puntos se deben al desgaste de la herramienta, es por ello que se debe considerar el tiempo de vida de la misma, para así obtener un maquinado más preciso y libre de errores. La toma de mediciones de los diferentes puntos se muestra de forma más detallada en el *ANEXO 9*, Análisis dimensional.

### 5.3.2 Cilindricidad sección de prueba

Esta sección es medida de igual manera que la mazarota lateral, tomando en cuenta tres puntos para verificar si existen irregularidades o si la sección es completamente cilíndrica. Ver *figura 5.6*.

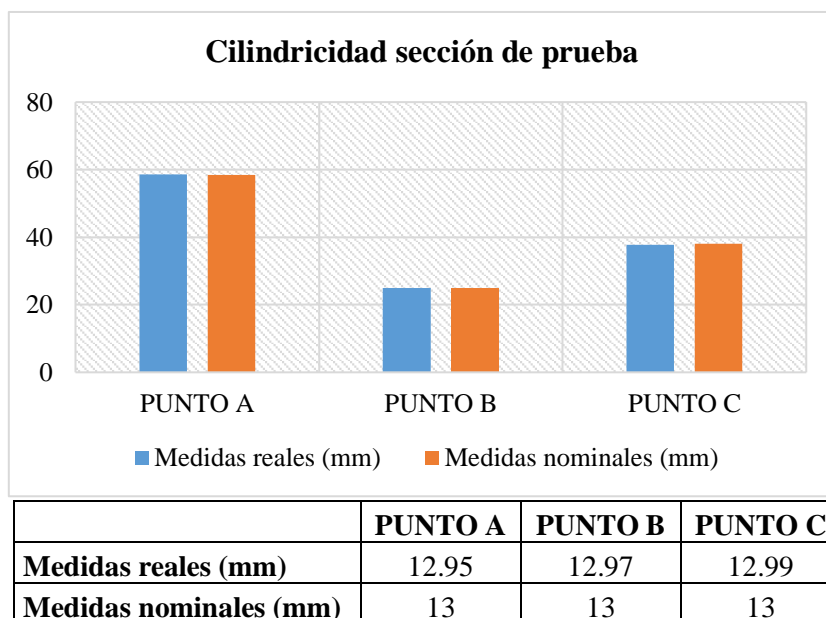


Figura 5.6. Análisis dimensional de la sección de prueba

La *figura 5.7* muestra las diferencias dimensionales entre las medidas reales y nominales, misma que no afectan al diseño de la probeta, debido a que la sección de prueba tiene una tolerancia diametral de  $\pm 0.254$  mm. Es importante mencionar que esta es la zona más crítica del diseño ya que soporta la carga axial al momento del ensayo.

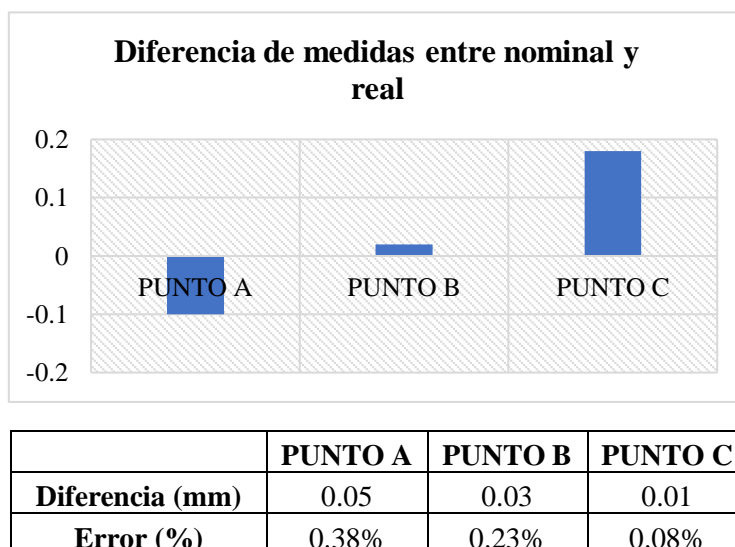


Figura 5.7. Diferencia de medidas de la cilindridad del diámetro de sección de prueba

### 5.3.3 Longitud de la sección de prueba

La *figura 5.8* muestra la medida de la longitud de la sección de prueba de la probeta, se puede observar que existe una pequeña desviación entre la medida real y nominal, misma que pudo ser causada por vibraciones de la máquina al momento del maquinado.

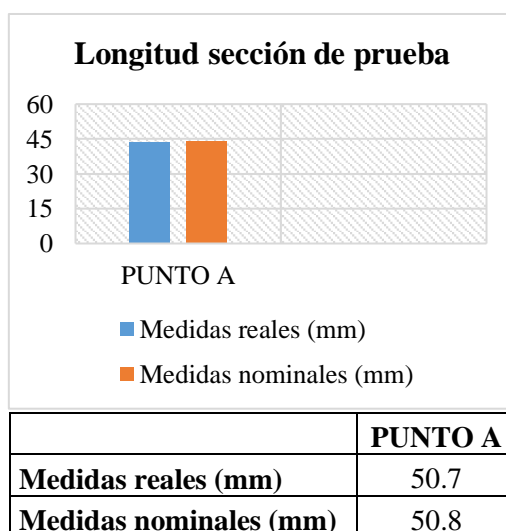


Figura 5.8. Longitud sección de prueba

La *figura 5.9* muestra las diferencias dimensionales entre las medidas reales y nominales, teniendo un excedente de 0.1 mm en la longitud de la sección de prueba, mismo que es considerado como despreciable, ya que existe un rango de tolerancia de  $\pm 0.127$  mm establecido por la normativa.



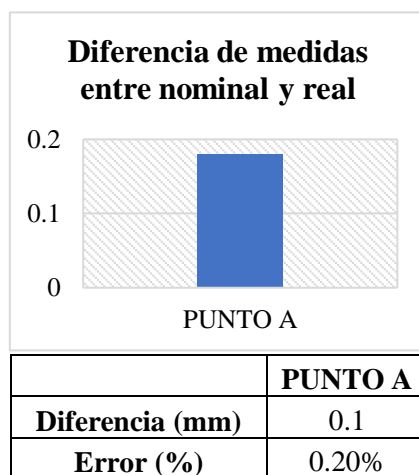


Figura 5.9 Diferencia de medidas de longitud de la sección de prueba

### 5.3.4 Cilindricidad sección de sujeción

Para verificar la cilindridad de la sección de sujeción se escoge 4 puntos, 2 en cada extremo de la probeta, en los cuales existen unas pequeñas desviaciones por causa del maquinado, mismas que no influyen al momento de realizar el ensayo destructivo, ya que en estas zonas van colocadas mordazas para garantizar la sujeción y la carga axial. Ver *figura 5.10*.

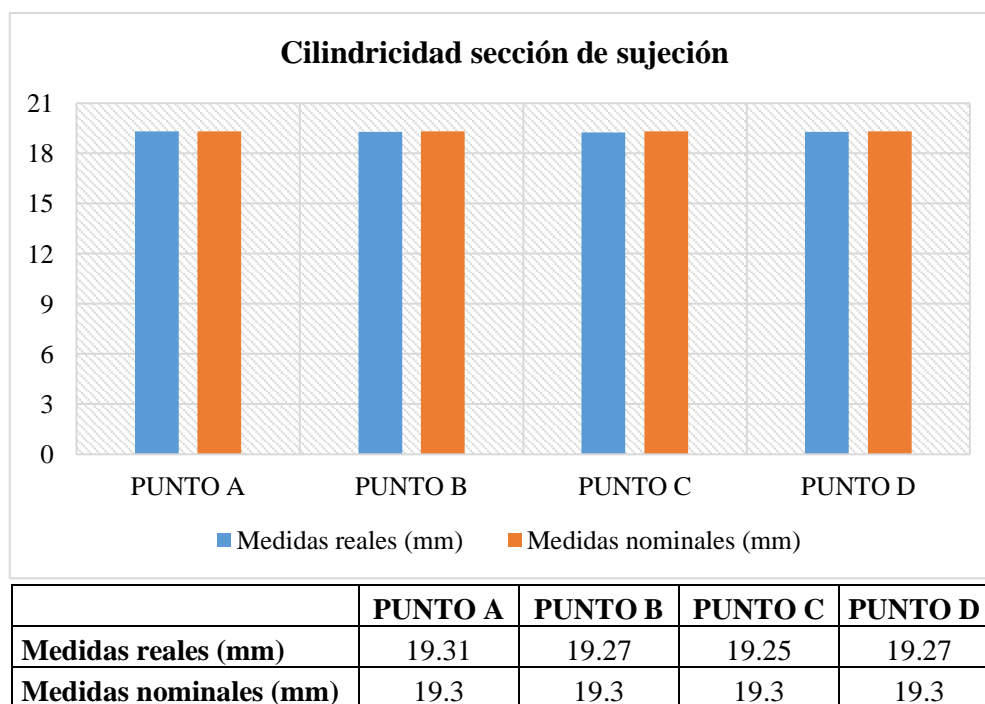


Figura 5.10. Análisis dimensional sección de sujeción

La *figura 5.11* muestra las diferencias dimensionales entre las medidas reales y nominales, en las que se puede observar unas pequeñas imperfecciones en la sección de sujeción, mismas

que no son tomadas en cuenta, debido a que esta zona puede ir cilindrada o roscada, dependiendo de tipo de sujeción que tenga la máquina de ensayos.

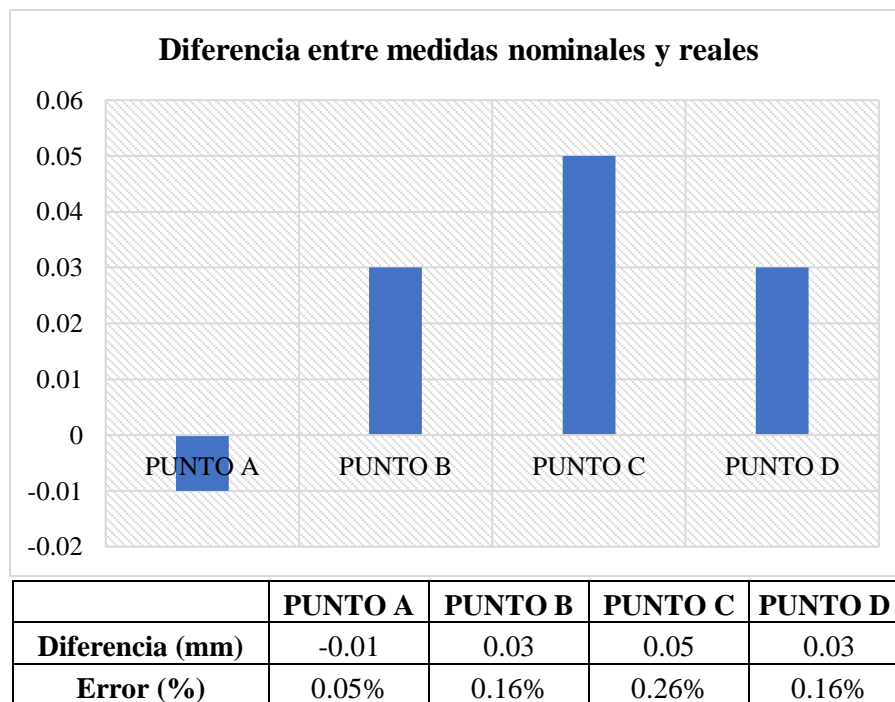


Figura 5.11. Diferencia de medias de cilindridad de la sección de sujeción

### 5.3.5 Copa de vaciado

Para el análisis dimensional de la copa de vaciado se toma en cuenta dos puntos, los cuales representan la altura y ancho de la copa por donde va a ingresar el material fundido, se toma las medidas y se determina que existen pequeñas desviaciones en las diferentes zonas como se muestra en la *figura 5.12*.

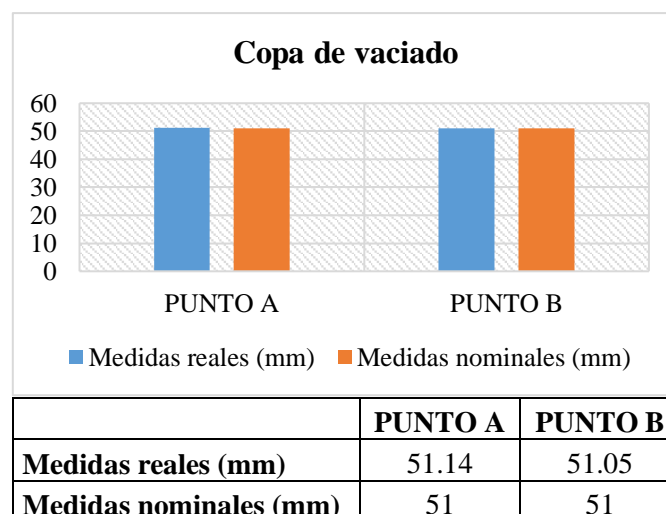


Figura 5.12. Análisis dimensional copa de vaciado

La *figura 5.13* muestra las diferencias dimensionales entre las medidas reales y nominales, siendo la desviación más crítica de -0.14, misma que puede ser corregida con el uso de una herramienta nueva u otra operación CAM. Es importante mencionar que estas desviaciones no afectan al diseño de la probeta ya que el objetivo de una copa de vaciado es eliminar las salpicaduras al momento de realizar el colado.

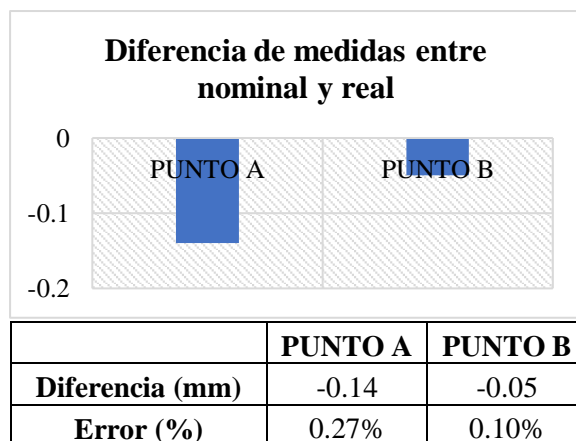


Figura 5.13. Diferencia de medidas de la copa de vaciado

### 5.3.6 Bebedero

Para el análisis dimensional del bebedero se toma en cuenta tres puntos que representan el ancho en la parte superior e inferior y su longitud total, en los cuales existen pequeñas irregularidades como se muestra en la *figura 5.14*.

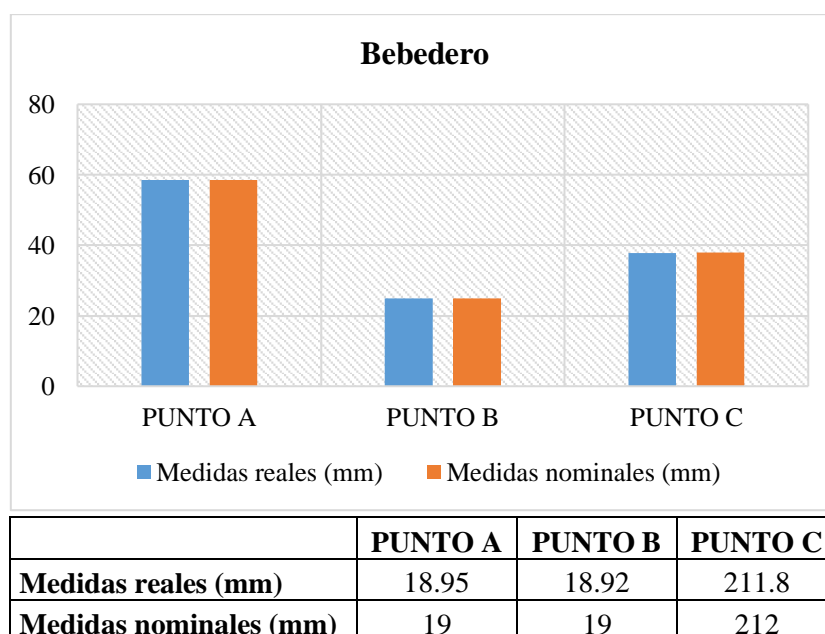


Figura 5.14. Análisis dimensional del bebedero

La *figura 5.15* muestra las pequeñas diferencias entre las medidas reales y nominales, en las que se puede observar pequeñas desviaciones, causadas por vibraciones de la herramienta debido al desgaste o una mala sujeción. Es importante mencionar que si existe un sobreespesor mayor a 0.5 mm se corre el riesgo de un llenado incompleto del molde, ya que el espesor del bebedero es de 3.6 mm.

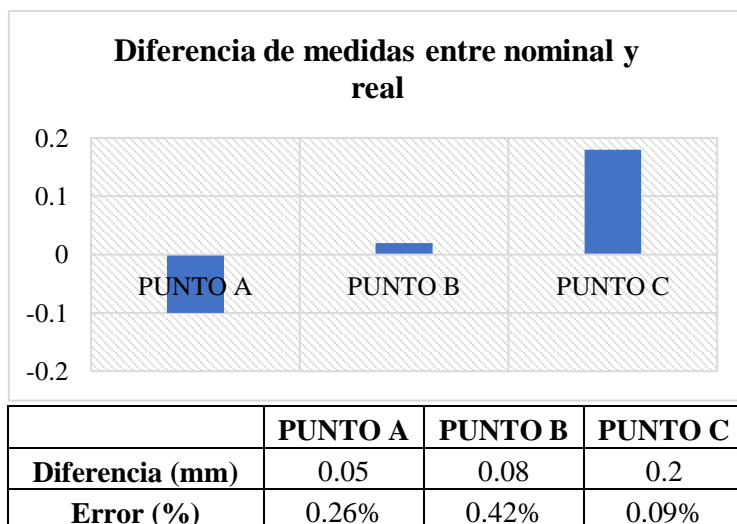


Figura 5.15. Diferencia de medidas del bebedero

### 5.3.7 Canal de alimentación principal

Para el análisis dimensional del canal de alimentación principal se toma en cuenta tres puntos que representan la altura, ancho y espesor, en los que existen pequeñas irregularidades como se muestra en la *figura 5.16*.

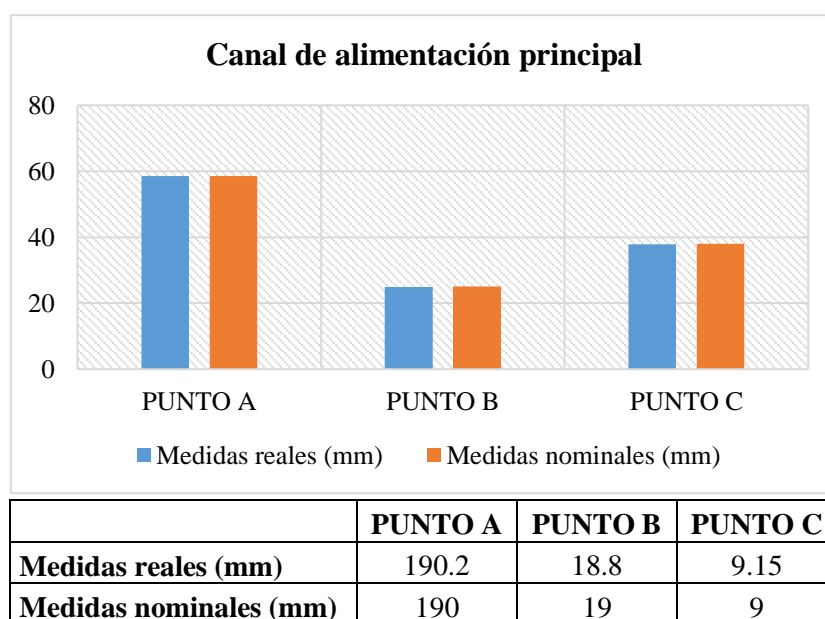


Figura 5.16. Análisis dimensional canal de alimentación principal

Se puede observar en la *figura 5.17* que la irregularidad más crítica es de 0.2 mm, misma que representa el alto y ancho del canal de alimentación. Esta desviación al igual que la anterior es causada por vibraciones de la herramienta debido al desgaste o una mala sujeción. Esta pequeña diferencia dimensional no afecta en el llenado del molde, ya que el espesor del canal de entrada es de 9 mm.

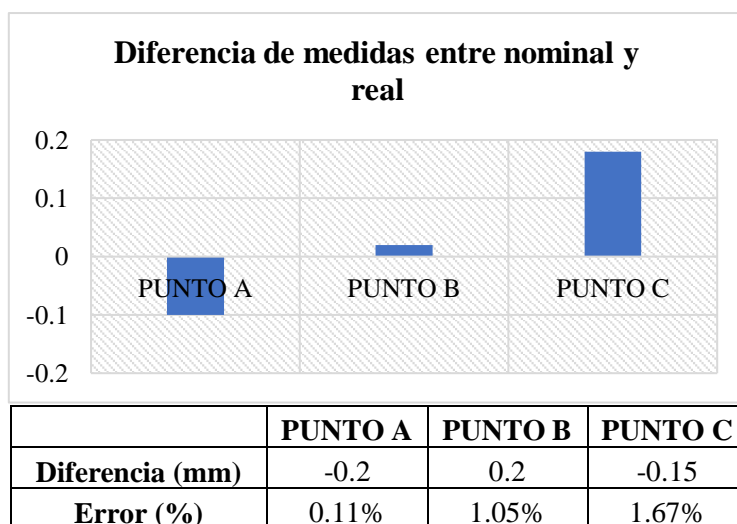


Figura 5.17. Diferencia de medidas del canal de alimentación principal

### 5.3.8 Pocillo

Para verificar las dimensiones del pocillo se escoge 3 puntos que corresponden a la altura, ancho y espesor, en los que se presentan unas pequeñas desviaciones como se muestra en la *figura 5.18*.

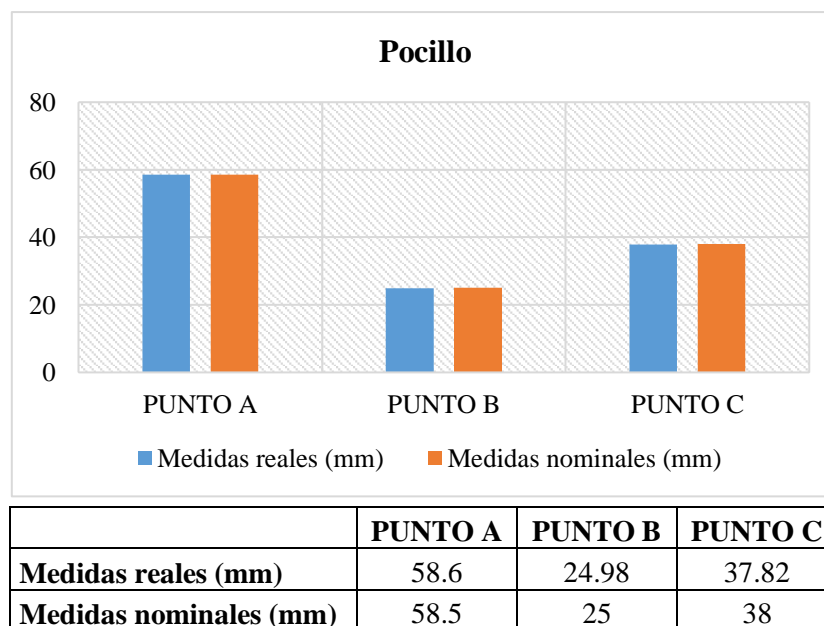


Figura 5.18. Análisis dimensional pocillo

La *figura 5.19* muestra la diferencia entre las medidas reales y nominales, siendo la zona más crítica de 0.18 mm, medida que corresponde al espesor del pocillo. Estas pequeñas desviaciones pueden ser consideradas despreciables, debido a que por ser la zona de mayor volumen se solidificará al final, compensando la contracción de las zonas que se solidifican primero, generando vacíos dentro del mismo y variando así su medida.

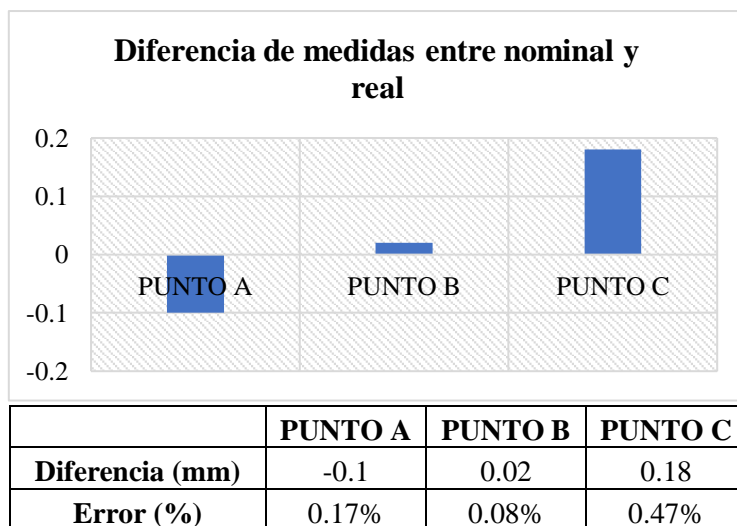


Figura 5.19. Diferencia de medidas del pocillo

### 5.3.9 Mazarota superior

Para verificar las dimensiones de la mazarota se elige el centro de la misma, ya que en la parte superior se produce un rechupe y no se puede obtener medidas reales. La medición en el punto A muestra una pequeña irregularidad producida al momento del mecanizado. Ver *figura 5.20*.

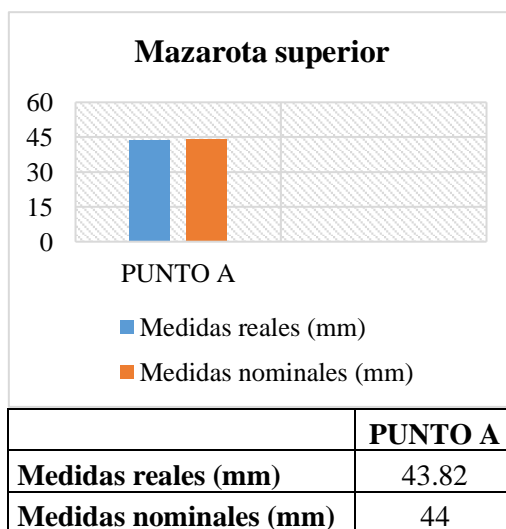


Figura 5.20. Análisis dimensional mazarota superior

La *figura 5.21* muestra la diferencia entre la medida real y nominal, la que puede ser corregida utilizando una nueva herramienta o mejorando la sujeción de la misma. Las desviaciones de la mazarota no son de consideración, debido a que esta actúa como un depósito de material extra para compensar la contracción de la probeta.

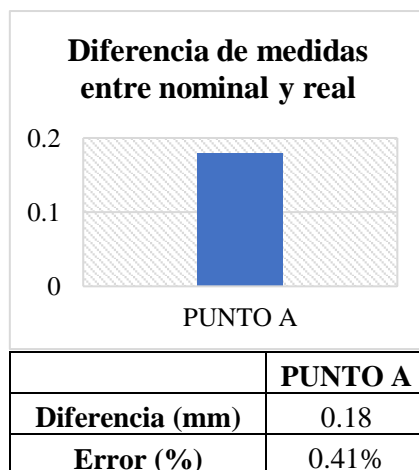


Figura 5.21. Diferencia de medidas de la mazarota

#### 5.4 Análisis de piezas obtenidas mediante fundición

Se realizaron varios ensayos de producción de probetas bajo diferentes condiciones de proceso. Para este análisis se escogieron un total de 3 fundiciones variando las condiciones de frontera, logrando así validar la simulación con la pieza real fundida. A continuación, se detalla 3 ensayos realizados:

##### ➤ **Ensayo 1 ( $T_{\text{molde}}$ a $350^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{colada}}$ a $630^{\circ}\text{C}$ )**

La fundición se obtuvo mediante la técnica de colado por gravedad con un enfriamiento de la matriz a temperatura ambiente. Se puede observar en la *figura 5.22* que debido a la baja temperatura de la colada se generaron puntos fríos, obstruyendo el flujo e impidiendo el correcto llenado del molde, defecto que fue identificado mediante la simulación realizada previamente.



Figura 5.22. Ensayo 1

➤ **Ensayo 2 ( $T_{\text{molde}}$  a  $400^{\circ}\text{C}$  y  $T_{\text{colada}}$  a  $700^{\circ}\text{C}$ )**

En este ensayo las temperaturas aumentaron, pero se puede observar en la *figura 5.23* que aún existen puntos fríos, por lo que el llenado del molde es incompleto. Al igual que el ensayo 1 este defecto fue identificado previamente mediante simulación.



Figura 5.23. Ensayo 2



➤ **Ensayo 3 ( $T_{\text{molde}}$  a  $450^{\circ}\text{C}$  y  $T_{\text{colada}}$  a  $750^{\circ}\text{C}$ )**

La *figura 5.24* muestra que no se ha generado puntos fríos que impidan el flujo del material, por lo que el llenado del molde es total. Al igual que el ensayo 1 y 2, el efecto que tienen estas temperaturas de trabajo fue identificado previamente mediante simulación.

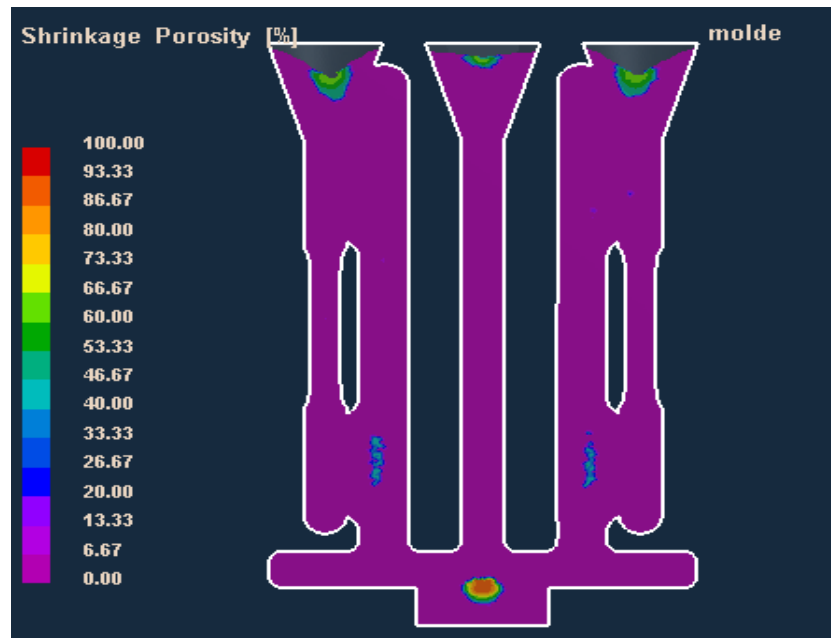


Figura 5.24. Ensayo 3

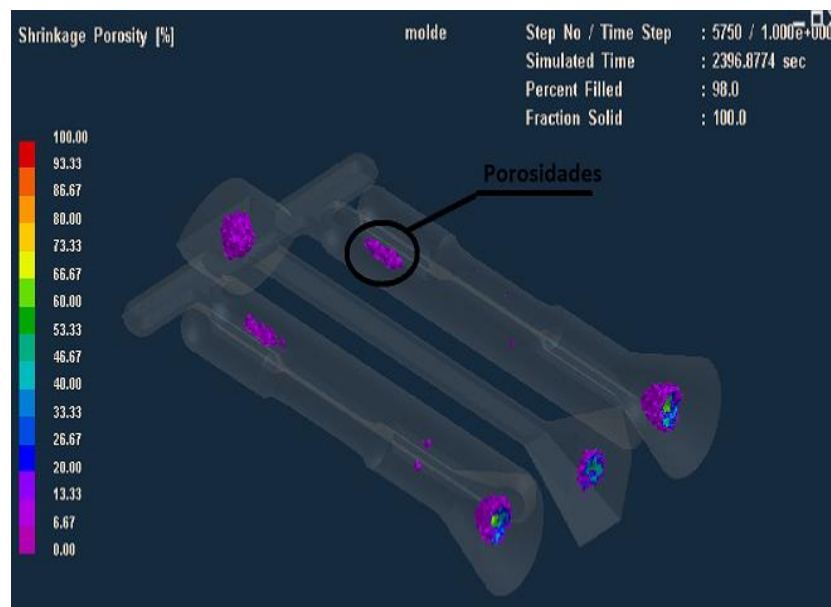
Los parámetros con los que el molde llenó de una forma adecuada se ven detallados en el ensayo 3, logrando identificar que la simulación numérica realizada previamente proporciona datos reales, por lo que pueden ser evaluados en cualquier instante del proceso de fundición para encontrar así posibles defectos en el llenado, solidificación y predicción de porosidades, estas últimas analizadas a continuación.

### 5.5 Análisis de porosidades

En esta sección se va a realizar el análisis de porosidades de la simulación obtenida con las condiciones ideales analizadas con antelación y la pieza fundida, con el fin de verificar la ubicación de los poros, tamaños y forma, determinando de esta manera si la probeta presenta defectos internamente. La *figura 5.25* muestra detalladamente las zonas en las que se pueden generar porosidades debido a la contracción. Además, se puede visualizar el porcentaje de probabilidad de que se generen poros en el fundido.



a)



b)

Figura 5.25. Análisis de porosidades a) vista en corte de porosidades b) vista isométrica de porosidades

La *figura 5.26* muestra las porosidades y rechupes en la parte superior del canal de alimentación (copa de vaciado) y mazarotas. La ubicación de los poros coincide tanto en la simulación como en la pieza fundida, aunque su forma y tamaño varían con lo obtenido en el simulador, esto se debe a dos factores que se detallan a continuación:

- La simulación es un proceso ideal, y debido a esto todos sus parámetros permanecen constantes, como el tiempo de llenado y coeficiente de transferencia de calor. En un proceso real de fundición es muy difícil controlar estos parámetros, por lo que los resultados obtenidos en la simulación difieren un poco con los reales.
- En la simulación las condiciones de frontera permanecen constantes, en este caso se hizo uso de un horno artesanal en el que se dificulta controlar su temperatura, ya que en el momento del vertido existen caídas de temperatura al trasladar la colada hacia el molde.

Estas son algunas de las causas por las que los resultados de la simulación difieren un poco con los reales, pero aun así el nivel de precisión de los resultados es bastante bueno y se aproximan en un 90% con los reales.



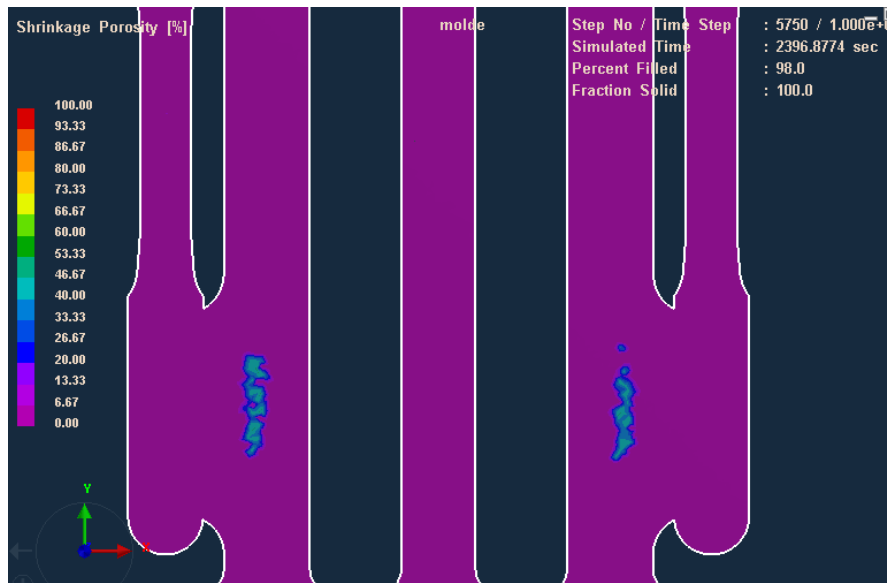
a)



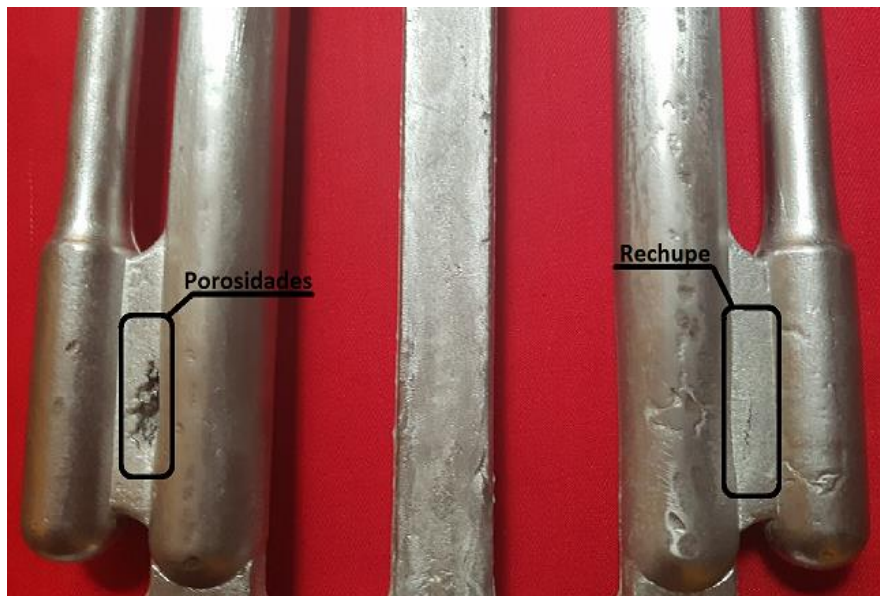
b)

Figura 5.26. Comparación de porosidades copa de vaciado y mazarotas a) simulación b) pieza fundida

La *figura 5.27* muestra los resultados de porosidades y rechupes en la parte inferior de las mazarotas laterales; se observa que la posición de los poros de la pieza fundida es igual a la simulación, variando en algo su tamaño y forma debido a los factores antes mencionados.



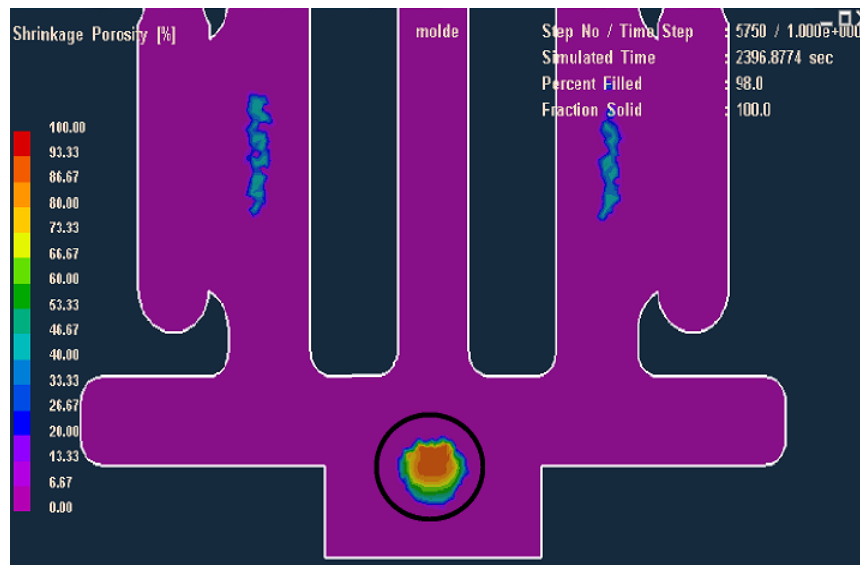
a)



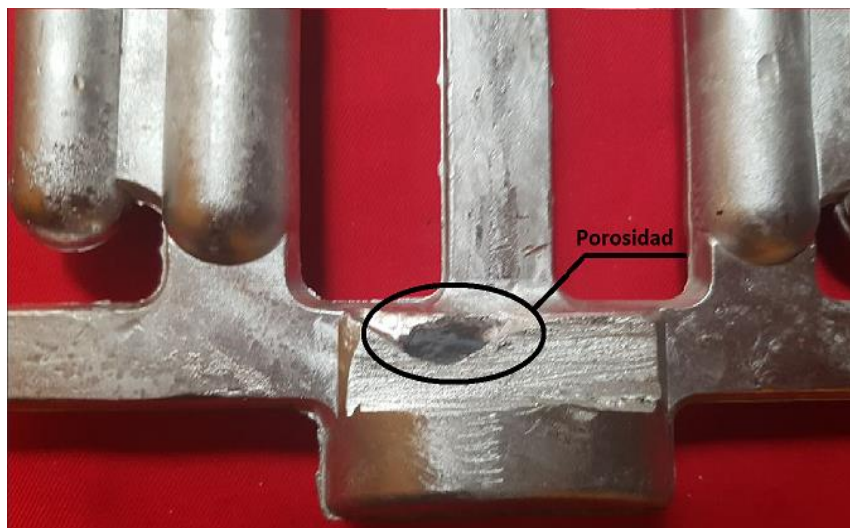
b)

Figura 5.27. Comparación de porosidades en la parte inferior de las mazarotas laterales a) simulación  
b) pieza fundida

La *figura 5.28* muestra los resultados de porosidad del pocillo, en el cual se observa que el poro se encuentra en la misma zona que indica la simulación, siendo esta una de las zonas más críticas de la pieza fundida. Es importante mencionar que el poro de la pieza difiere en forma y tamaño con el resultado de la simulación.



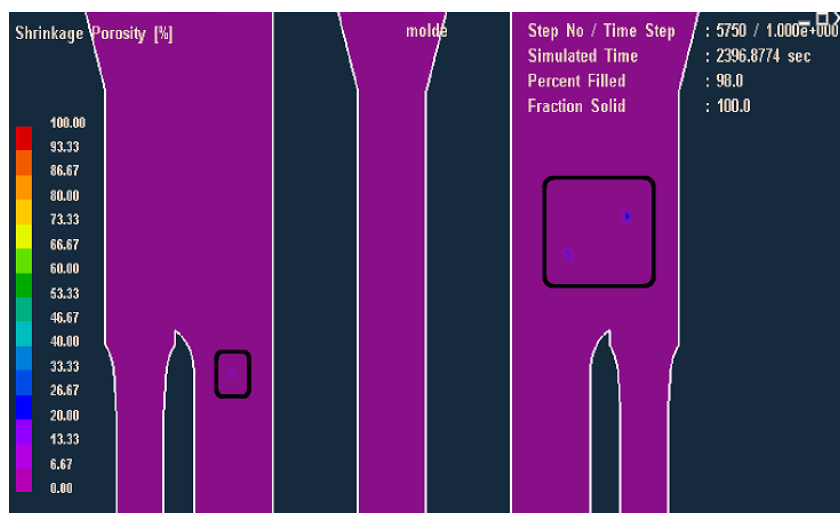
a)



b)

Figura 5.28. Comparación de porosidades mazarota inferior a) simulación b) pieza fundida

La *figura 5.29* muestra las porosidades en la parte superior de las mazarotas laterales, mismas que pueden ser consideradas despreciables, debido a su tamaño y al porcentaje de probabilidad de aparición que representan.



a)



b)

Figura 5.29. Comparación de porosidades en la parte superior de las mazarotas laterales a) simulación b) pieza fundida

Se puede observar en las simulaciones y en la pieza real que el diseño de las mazarotas absorbe todas las porosidades, por lo que se puede validar la simulación con la pieza real fundida, obteniendo resultados bastante aproximados y asegurando que la probeta no va a presentar defectos de fundición. Además, se puede visualizar otros defectos de fundición como son los rechupes generados al momento de la solidificación y vacíos.

## 5.6 Análisis de composición química y ensayos destructivos.

El ensayo de composición química se realizó en la empresa ILPM de la ciudad de Quito, mediante un espectrómetro, que es un dispositivo que sirve para medir el porcentaje de los diferentes aleantes que presenta una aleación, ver de forma más detallada *ANEXO 10*, ensayo de composición química y tracción. La *tabla 5.2* muestra la aleación con la que la empresa FMI ha realizado las pruebas de fundición de los acoples rápidos, la cual es similar a una aleación 356.0.

Tabla 5.2. Análisis de composición química

<b>ELEMENTOS</b>	<b>NORMA ASTM B108 (%)</b>	<b>MATERIA PRIMA UTILIZADA EN FMI (%)</b>
Aluminio	restante	restante
Silicio	6.5-7.5	6.456
Hierro	0.2	1.69
Manganeso	0.1	0.084
Cobre	0.2	0.51
Magnesio	0.25-0.45	0.011
Zinc	0.1	0.489
Titanio	0.2	0.016

La *tabla 5.3* muestra las características mecánicas de la aleación usada por FMI, esta se encuentra dentro de los rangos establecidos por la norma, siendo su resistencia mecánica de 168 Mpa. Dicha resistencia supera en un 16 % el límite de rotura establecido por la norma, esto se debe al contenido de silicio ya que de este depende su resistencia mecánica, resistencia al desgaste y maquinabilidad. Ver de forma más detallada en el *ANEXO 10*, ensayo de composición química y tracción. Véase *tabla 5.3*.

Tabla 5.3. Análisis de resistencia a la tracción

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>NORMA ASTM B108 (Mpa)</b>	<b>MATERIA PRIMA UTILIZADA EN FMI (Mpa)</b>
Límite de fluencia	69	168
Límite de rotura	145	168
Elongación	3%	2.3%

## CAPÍTULO VI

### 6. Análisis de costos

Para realizar el análisis de costos del mecanizado, pruebas de fundición, ensayos destructivos y químicos se toma en cuenta los siguientes elementos de producción:

- Materia prima directa
- Mano de obra directa (Rol de pagos)
- Costos indirectos de fabricación (depreciaciones de equipos, herramental)
- Otros indirectos (ensayos destructivos y químicos, energía eléctrica)

El costo de producción del molde permanente es de \$ 4 313,50, tomando en cuenta los costos totales de los elementos de producción detallados en la *tabla 6.1*.

Tabla 6.1. Análisis de costos del molde permanente

<b>HOJA DE COSTO</b>	
<b>MOLDE PERMANENTE PARA PROBETAS DE ALEACIONES DE ALUMINIO</b>	
<b>CLIENTE:</b>	FMI <b>ORDEN DE PRODUCCIÓN: 001</b>
<b>CANTIDAD:</b>	1
<b>FECHA DE PEDIDO:</b>	02/04/2018
<b>FECHA DE ENTREGA:</b>	01/07/2018
DESCRIPCIÓN	COSTO
Materia prima directa	\$ 320,00
Mano de obra directa	\$ 610,10
CIF	\$ 781,50
Otros indirectos	\$ 2 039,30
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3 750,90</b>
Utilidad	15%
<b>Precio de venta</b>	<b>\$ 4 313,50</b>

El *ANEXO 11*, análisis de costos del molde permanente, muestra de forma más detallada todas las tablas de los elementos de producción y describe paso a paso como se llegó a este resultado, según empresas manufactureras nacionales, el costo de este molde puede tener un precio en el mercado de hasta \$ 6 000,00, lo que implica que es posible fabricar moldes de todo tipo con este proceso de fabricación.



## CAPÍTULO VII

### 7. Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se presentan conclusiones y recomendaciones, en base al desarrollo de los capítulos anteriores.

#### 7.1 Conclusiones

- Al realizar el diseño del molde en software CAD se pudo analizar la geometría de la pieza a fabricar, además de cumplir los requisitos dimensionales establecidos por la norma y consideraciones de diseño para fundición, como son ángulos de desmoldeo ( $20^\circ$ ), tolerancias a la contracción que para aleaciones de aluminio es el 1.3% y selección del plano de partición que depende de la forma de la pieza a fundir.
- Se realizaron varias simulaciones variando los parámetros de fundición (temperatura del molde y colada), siendo los adecuados de  $450^\circ\text{C}$  y  $750^\circ\text{C}$  respectivamente, obteniendo un llenado total del 100% de todas las cavidades de la matriz, identificando además los defectos generados durante el proceso de fundición como son porosidades, faltas de llenado y vacíos.
- Al determinar los parámetros de corte (velocidad de corte y avance por diente) usando la relación de esbeltez, se pudo obtener un correcto mecanizado tanto en desbaste como en acabado, además de utilizar dichos parámetros, es fundamental emplear refrigerante sintético y herramientas de metal duro HRC, para evitar así el desgaste excesivo o adhesiones de material en el filo de la herramienta debido a las altas temperaturas generadas durante el mecanizado.
- Mediante una simulación CAM usando el respectivo post procesador SINUMERIK 828D utilizado en la fresadora ROMI D800, se realizó con éxito la construcción del molde permanente a través de un proceso de mecanizado CNC, garantizando que las trayectorias de la herramienta y tiempos de maquinado obtenidos en la simulación son bastante confiables, ya que por medio de un análisis dimensional se obtuvo un promedio de error entre medidas reales y nominales menor al 1%, que no afecta al diseño del molde ya que se encuentra dentro de los rangos de tolerancias establecidos por la norma, además de obtener un tiempo total de mecanizado de 70 horas, dato que varía con la simulación en un rango de  $\pm 15$  min, avalando así la simulación de maquinado.
- Mediante la obtención de la pieza fundida se validó la simulación del proceso de fundición, logrando identificar que los defectos (rechupes, porosidades) generados en

la pieza son bastante aproximados a los obtenidos en simulación, esto nos garantiza que la simulación realizada en el capítulo IV es bastante confiable, ya que permitió mejorar la calidad y el rendimiento del proceso de fundición.

- Gracias al análisis de composición química y ensayos destructivos realizados en la empresa ILPM, se logró analizar las características de la aleación 356.0, verificando que los resultados obtenidos en el ensayo químico son similares a la aleación antes mencionada, validando así la aleación de la empresa FMI.

## 7.2 Recomendaciones

- Realizar una investigación de la influencia que tiene el coeficiente de transferencia de calor (HTC) en la solidificación de una pieza fundida.
- Llevar a cabo un estudio de los efectos que tienen los distintos procesos de fundición en la microestructura de una pieza fundida (estructura del grano).
- Al momento de realizar el diseño de una pieza en software CAD tomar en cuenta el proceso de fabricación, con el fin de evitar zonas en las que la herramienta no pueda desbastar correctamente.
- Efectuar un análisis del molde previo a su fabricación, para así poder seleccionar el herramental necesario, asegurando de esta forma un correcto mecanizado y sin contratiempos.
- Para un mecanizado CNC se debe considerar tener varios sistemas de sujeción como bridas mecánicas y entenallas de precisión que tengan una abertura entre mordazas de mínimo 35 cm, una altura de 20 cm y un ancho de la base 18 cm, que garanticen la sujeción del material para que no presente vibraciones al momento del maquinado.
- Profundizar el uso de software para fundición, ya que mediante este se puede validar el diseño CAD de un molde, ya sea permanente o desechable, logrando así detectar posibles defectos en el material fundido.
- Se debe en lo posible utilizar equipos de protección al momento de realizar la construcción del molde y el colado del material en la matriz, para así evitar accidentes como quemaduras debido a la radiación procedente del horno y metal fundido.
- Ejecutar los ensayos destructivos y análisis de composición química en laboratorios certificados con personal calificado, que garanticen la veracidad de los resultados obtenidos.

## Bibliografía

- Hoffman, P. J., Hopewell, E. S., & Janes, B. (2012). *Precision Machining Technology*. United States: Cengage Learning.
- A-A-59326B. (2005). *Coupling Halves, Quick-Disconnect, CAM-LOCKING Type*. EEUU.
- ASM Handbook . (1988). *Volume 15 Casting*. ASM International.
- ASTM A36. (2008). *Standard Specification for carbon structural steel*. West Conshohocken: PA.
- ASTM B-108. (n.d.). *Standard Specification for Aluminum-Alloy Permanent Mold Castings*. West Conshohocken: PA.
- ASTM B-557. (n.d.). *Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products*. West Conshohocken: ASTM International.
- Avner, S. (1988). *Introducción a la metalúrgica física*. México: McGRAW-HILL.
- Bonollo, F., & Gramegna, A. (2000). *Simulation og casting process*. Padova.
- Caluguillin Achina, J. G. (2016). *Estudio y obtención de una aleación liviana para la fabricación de un bloque de motor de combustión interna de dos tiempos*. Quito.
- Carrasco , J., & Mallorquín, S. (2012). *Prácticas y procesos de taller de mecanizado, Fabricación por arranque de viruta*.
- Casillas, A. L. (2008). *Cálculos de taller*. España: Copyright.
- Charco Zambrano, J. L. (2017). *Fabricación de un prototipo de block de motor de combustión interna de dos tiempos por manufactura aditiva indirecta con una aleación de aluminio al silicio*. Quito.
- Corrado, P. (2001). *Desing for Manufacturing*. Boston: Elsevier.
- Garcés García, M. A. (2016). *Diseño, construcción y simulación de llenado de un molde de arena en verde para fundición de piezas de aluminio blanco*. Quito.
- Gerling, H. (2006). *Alrededor de las máquinas herramientas*. Barcelona: Reverté, S.A.

- Giménez, C. F., & Guillamón, M. P. (Madrid). *Ciencia y tecnología de materiales Problemas y cuestiones*. 2005: PEARSON EDUCATION, S.A.
- González Aquino, L. M., Ramírez Alfonso, J. E., & Villalta Valenzuela, A. R. (2015). *Elaboración e implementación de manuales de diseño y construcción de modelos y moldes de arena para fundición de aleaciones de aluminio*. San Salvador.
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. México: McGrawHill.
- Gutiérrez Cabanes, M. (2013). *Diseño y fabricación de un molde para el estudio de la influencia de la geometría de los sistemas de distribución en el atrapamiento de aire en procesos de fundición por inyección a alta presión*. Cartagena.
- Handbook, A. I. (1990). *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. Vol 2: ASM Handbook.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2008). *Manufactura ingeniería y tecnología*. México: Pearson Education.
- Kamarouz, M., Mortaza, A., Masoud, E., & Mohammad, A. (2013). Microstructure, hardness and tensile properties of A380 aluminum alloy with and without Li additions. *Elsevier*, 6.
- Kaufman, J. G., & Rooy, E. L. (2004). *Aluminum Alloys Castings*. United States of America: ASM International.
- Konrad, C. H., Brunner, M., Völkl, R., & Kyrgyzbaev, K. (2011). *Determination of heat transfer coefficient and ceramic mold material parameters for alloy IN738LC investment castings*. Elsevier.
- Krar, S. F., & Check, A. F. (2002). *Tecnología de las máquinas herramientas*. México: Alfaomega.
- Kutz, M. (2002). *Hanbooks of Materials Seleccion*. Canada: Copyright.
- Lumley, R. (2011). *Fundamentals of aluminium metallurgy*. Oxford: Woodhead Publishing.
- Manero Planella, J. (2001). *Aleaciones ligeras*. Barcelona: UPC.
- Mangonon, P. L. (2001). *Ciencia de los materiales selección y diseño*. México: Pearson Education.

- Morales, A., & Mendoza, E. (2010). Simulación numérica y optimización de procesos de fundición en molde permanente para la fabricación de lementos de interconexión eléctrica. 9.
- Moreau, C. (2007). Influences of alloying elements, solution treatment time and quenching media on quality indices of 413-type Al–Si casting alloys. *ELSEVIER*, 13.
- Mostafapoor, S. (2015). Effect of Ti-B Grain Refiner on Microstructure and Mechanical Properties of a New Super High Strength Aluminum Al-Zn-Mg-Cu. *ResearchGate*, 8.
- Murcia, S. C., Ossa Henao, A., & Paniagua, M. (2011). Análisis de sensibilidad de flujos de aluminio en moldes permanentes al tamaño de malla y coeficiente de transferencia térmica. *Caribbean*, 10.
- Pineda, D. (2017). *Construcción de una prótesis rodilla monocéntrica por medio de mecanizado CNC*. Ibarra.
- Poirier, D. R., & Geiger, G. H. (1994). *Transport phenomena in materials processing*. United States of america: TMS.
- Pons, J., & Sans, i. (2004). *Estudio de la convección térmica en un proceso de fundición de Aluminio por el método de los elementos finitos*.
- Quillupangui Morales, P. (2018). Estudio y optimización del proceso de fundición de poleas en aluminio para la empresa ecuapoleas S.A. Quito.
- Quito, M. F., & Narváez, J. (2014). *Estudio para la producción de bloques de motor estacionario de combustión interna de 250CC mediante molde permanente*. Cuenca.
- Rao, P. N. (2013). *Manufacturing and technology, Vol 1 Foundry, Forming and Welding*. India: McGraw Hill.
- Rodríguez Montes, J. (2009). *Procesos industriales para materiales metálicos*. Madrid: Vision Net.
- Romeva, C. R. (2008). *Selección de materiales en el diseño de máquinas*. Barcelona: Edicions UPC.
- Sandvik. (2017, 03 29). Retrieved from Tipos de fresado: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/boring/how-to-achieve-good-hole-quality/tool-life>

- SIEMENS 828D. (2015). *Manual de programación y operación Romi D800*. Brasil.
- Smith, W. F. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. México: McGRAW-HILL.
- Titov, N. D., & Stepanov, Y. A. (1981). *Tecnología del proceso de la fundición*. Moscú: Mir.
- Totten, G., & Mackenzie, S. (2003). *Handbook of Aluminum*. New York.
- Warmuzek, M. (2004). *Aluminum-Silicon Casting Alloys*. United States of America: ASM International.
- Zolotarevskii, V. S., & Glazoff, M. V. (2007). *Casting Aluminum Alloys*. Elsevier.

# ANEXOS

# **ANEXO 1.**

**Límites de composición química**



Alloy		Composition, %												
ANSI <sup>D</sup>	UNS	Aluminum	Silicon	Iron	Copper	Manga- nese	Magne- sium	Chromium	Nickel	Zinc	Tin	Titanium	Other Elements <sup>E</sup>	
													Each	Total <sup>F</sup>
204.0	A02040	remainder	0.20	0.35	4.2–5.0	0.10	0.15–0.35	...	0.05	0.10	0.05	0.15–0.30	0.05	0.15
242.0	A02420	remainder	0.7	1.0	3.5–4.5	0.35	1.2–1.8	0.25	1.7–2.3	0.35	...	0.25	0.05	0.15
296.0		remainder	2.0–3.0	1.2	4.0–5.0	0.35	0.05	...	0.35	0.50	...	0.25	...	0.35
308.0		remainder	5.0–6.0	1.0	4.0–5.0	0.50	0.10	...	...	1.0	...	0.25	...	0.50
319.0	A03190	remainder	5.5–6.5	1.0	3.0–4.0	0.50	0.10	...	0.35	1.0	...	0.25	...	0.50
332.0 <sup>G</sup>	A03320	remainder	8.5–10.5	1.2	2.0–4.0	0.50	0.50–1.5	...	0.50	1.0	...	0.25	...	0.50
333.0	A03330	remainder	8.0–10.0	1.0	3.0–4.0	0.50	0.05–0.50	...	0.50	1.0	...	0.25	...	0.50
336.0 <sup>G</sup>	A03360	remainder	11.0–13.0	1.2	0.50–1.5	0.35	0.7–1.3	...	2.0–3.0	0.35	...	0.25	0.05	...
354.0	A03540	remainder	8.6–9.4	0.20	1.6–2.0	0.10	0.40–0.6	...	...	0.10	...	0.20	0.05	0.15
355.0	A03550	remainder	4.5–5.5	0.6 <sup>H</sup>	1.0–1.5	0.50 <sup>H</sup>	0.40–0.6	0.25	...	0.35	...	0.25	0.05	0.15
C355.0	A33550	remainder	4.5–5.5	0.20	1.0–1.5	0.10	0.40–0.6	...	...	0.10	...	0.20	0.05	0.15
356.0	A03560	remainder	6.5–7.5	0.6 <sup>H</sup>	0.25	0.35 <sup>H</sup>	0.20–0.45	...	...	0.35	...	0.25	0.05	0.15
A356.0	A13560	remainder	6.5–7.5	0.20	0.20	0.10	0.25–0.45	...	...	0.10	...	0.20	0.05	0.15
357.0		remainder	6.5–7.5	0.15	0.05	0.03	0.45–0.6	...	...	0.05	...	0.20	0.05	0.15
A357.0	A13570	remainder	6.5–7.5	0.20	0.20	0.10	0.40–0.7	...	...	0.10	...	0.04–0.20	0.05 <sup>I</sup>	0.15
359.0	A03590	remainder	8.5–9.5	0.20	0.20	0.10	0.50–0.7	...	...	0.10	...	0.20	0.05	0.15
443.0	A04430	remainder	4.5–6.0	0.8	0.6	0.50	0.05	0.25	...	0.50	...	0.25	...	0.35
B443.0	A24430	remainder	4.5–6.0	0.8	0.15	0.35	0.05	...	...	0.35	...	0.25	0.05	0.15
A444.0	A14440	remainder	6.5–7.5	0.20	0.10	0.10	0.05	...	...	0.10	...	0.20	0.05	0.15
513.0 <sup>G</sup>	A05130	remainder	0.30	0.40	0.10	0.30	3.5–4.5	...	...	1.4–2.2	...	0.20	0.05	0.15
535.0	A05350	remainder	0.15	0.15	0.05	0.10–0.25	6.2–7.5	...	...	...	...	0.10–0.25	0.05 <sup>J</sup>	0.15
705.0	A07050	remainder	0.20	0.8	0.20	0.40–0.6	1.4–1.8	0.20–0.40	...	2.7–3.3	...	0.25	0.05	0.15
707.0	A07070	remainder	0.20	0.8	0.20	0.40–0.6	1.8–2.4	0.20–0.40	...	4.0–4.5	...	0.25	0.05	0.15
711.0 <sup>G</sup>	A07110	remainder	0.30	0.7–1.4	0.35–0.65	0.05	0.25–0.45	...	...	6.0–7.0	...	0.20	0.05	0.15
713.0	A07130	remainder	0.25	1.1	0.40–1.0	0.6	0.20–0.50	0.35	0.15	7.0–8.0	...	0.25	0.10	0.25
850.0	A08500	remainder	0.7	0.7	0.7–1.3	0.10	0.10	...	0.7–1.3	...	5.5–7.0	0.20	...	0.30
851.0 <sup>G</sup>	A08510	remainder	2.0–3.0	0.7	0.7–1.3	0.10	0.10	...	0.3–0.7	...	5.5–7.0	0.20	...	0.30
852.0 <sup>G</sup>	A08520	remainder	0.40	0.7	1.7–2.3	0.10	0.6–0.9	...	0.9–1.5	...	5.5–7.0	0.20	...	0.30

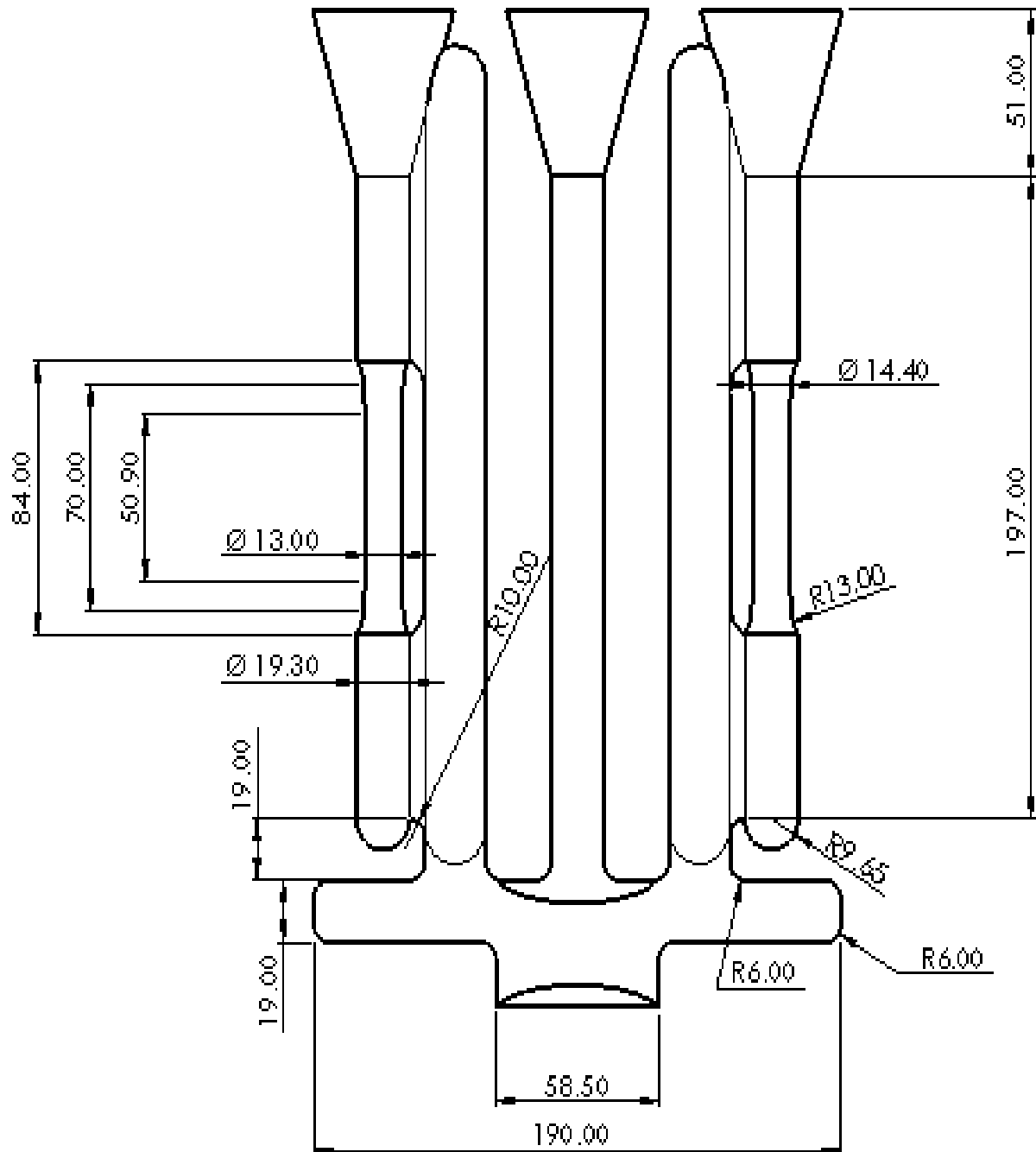
# **ANEXO 2.**

## **Requerimientos mecánicos**

Alloy		Temper <sup>C</sup>	Tensile Strength, min, ksi (MPa) <sup>D</sup>	Yield Strength <sup>E</sup> (0.2 % offset), min, ksi (MPa) <sup>D</sup>	Elongation in 2 in. or 4 × Diameter, min, %	Typical Brinell Hardness <sup>F</sup> 500-kgf load, 10-mm ball
ANSI <sup>G</sup>	UNS					
204.0	A02040	T4 separately cast specimens	48.0 (331)	29.0 (200)	8.0	...
242.0	A02420	T571	34.0 (234)	...	H	105
		T61	40.0 (276)	...	H	110
296.0	A02960	T4	33.0 (230)	15.0 (105)	4.5	75
		T6	35.0 (240)	...	2.0	90
		T7	33.0 (230)	16.0 (110)	3.0	...
308.0	A03080	F	24.0 (165)	...	...	70
319.0	A03190	F	27.0 (186)	14.0 (97)	2.5	95
332.0 <sup>I</sup>	A03320	T5	31.0 (214)	...	H	105
333.0	A03330	F	28.0 (193)	...	H	90
		T5	30.0 (207)	...	H	100
		T6	35.0 (241)	...	H	105
		T7	31.0 (214)	...	H	90
336.0 <sup>I</sup>	A03360	T551	31.0 (214)	...	H	105
		T65	40.0 (276)	...	H	125
354.0	A03540	T61				
		separately cast specimens	48.0 (331)	37.0 (255)	3.0	
		castings, designated area <sup>J</sup>	47.0 (324)	36.0 (248)	3.0	
		castings, no location designated <sup>J</sup>	43.0 (297)	33.0 (228)	2.0	
		T62				
		separately cast specimens	52.0 (359)	42.0 (290)	2.0	
		castings, designated area <sup>J</sup>	50.0 (344)	42.0 (290)	2.0	
		castings, no location designated <sup>J</sup>	43.0 (297)	33.0 (228)	2.0	
355.0	A03550	T51	27.0 (186)	...	H	75
		T62	42.0 (290)	...	H	105
		T7	36.0 (248)	...	H	90
		T71	34.0 (234)	27.0 (186)	H	80
C355.0	A33550	T61				
		separately cast specimens	40.0 (276)	30.0 (207)	3.0	85–90
		castings, designated area <sup>J</sup>	40.0 (276)	30.0 (207)	3.0	
		castings, no location designated <sup>J</sup>	37.0 (255)	30.0 (207)	1.0	85

# **ANEXO 3.**

**Modelo de fundición para probetas de  
aleaciones de aluminio**



# **ANEXO 4.**

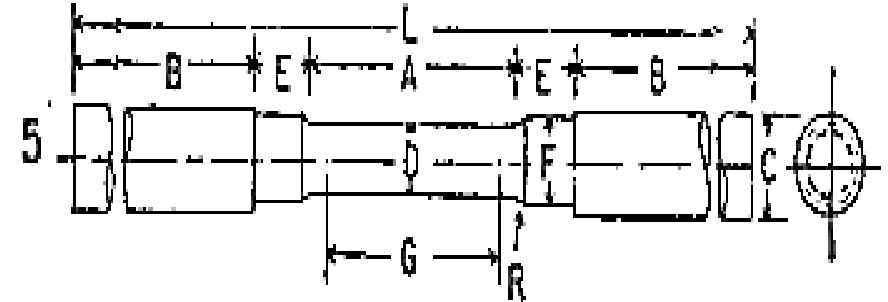
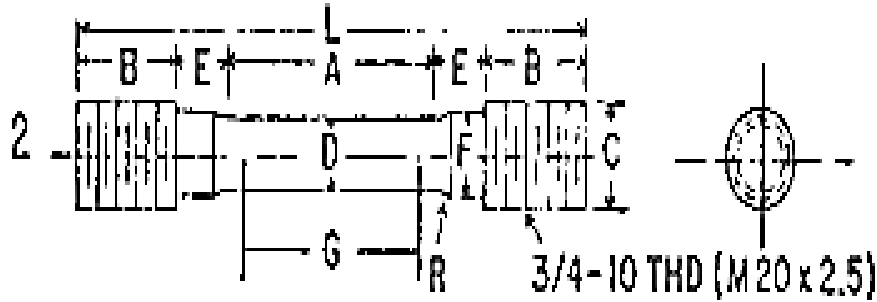
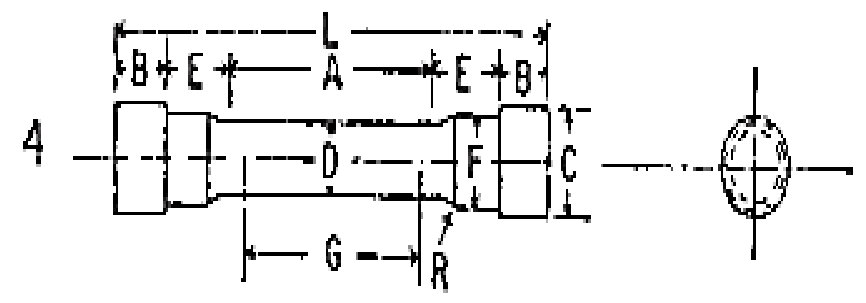
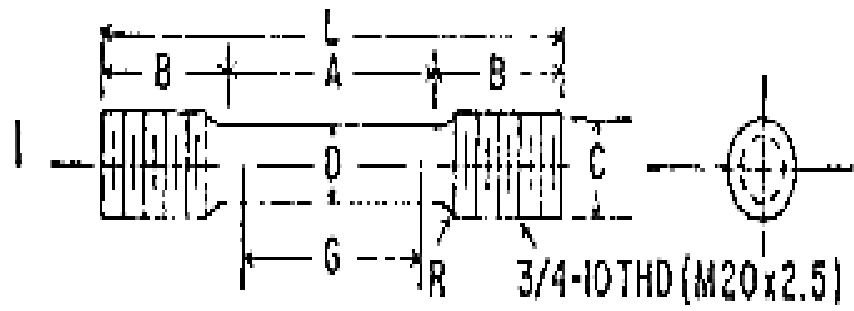
**Dimensiones de varios tipos de probetas  
para ensayos de tracción**

	<b>Dimensiones, in</b>				
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
<b>G-Longitud sección e prueba</b>	$2.000 \pm 0.005$	$2.000 \pm 0.005$	$2.000 \pm 0.005$	$2.000 \pm 0.005$	$2.000 \pm 0.005$
<b>D-Diámetro</b>	$0.500 \pm 0.100$	$0.500 \pm 0.100$	$0.500 \pm 0.100$	$0.500 \pm 0.100$	$0.500 \pm 0.100$
<b>R-Radio</b>	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$
<b>A-Longitud sección reducida</b>	$2 \frac{1}{4}$ , min	$2 \frac{1}{4}$ , min	4, min	$2 \frac{1}{4}$ , min	$2 \frac{1}{4}$ , min
<b>L-Longitud total, approx.</b>	5	$5 \frac{1}{2}$	$5 \frac{1}{2}$	$4 \frac{3}{2}$	$9 \frac{1}{2}$
<b>B-Longitud sección de sujeción</b>	$1 \frac{3}{8}$ , approx.	1, approx.	$\frac{3}{4}$ , approx.	$\frac{1}{2}$ , approx.	3, min.
<b>C-Diámetro sección de sujeción</b>	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{23}{32}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{4}$
<b>E-Longitud del hombro</b>	-	$\frac{5}{8}$	-	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$
<b>F-Diámetro del hombro</b>	-	$\frac{5}{8}$	-	$\frac{5}{8}$	$\frac{19}{32}$

# **ANEXO 5.**

**Tipos de sujeción para probetas**





# **ANEXO 6.**

**Funciones código “G” y código “M**

## FUNCIONES CÓDIGO “G”

<b>FUNCIONES</b>	
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
<b>G00</b>	Posicionamiento rápido
<b>G01</b>	Interpolación Linear
<b>G02</b>	Interpolación circular en el sentido de las agujas del reloj
<b>G03</b>	Interpolación circular en el sentido opuesto de las agujas del reloj
<b>G331</b>	Ciclo de roscado macho
<b>G332</b>	Retorno del macho
<b>G04</b>	Tiempo de permanencia
<b>G111</b>	Programación en coordenadas polares
<b>G17</b>	Selecciona el plano de trabajo “XY”
<b>G18</b>	Selecciona el plano de trabajo “XZ”
<b>G19</b>	Selecciona el plano de trabajo “YZ”
<b>G40</b>	Cancela la compensación de radio de herramienta
<b>G41</b>	Activa la compensación de radio de herramienta (a la izquierda del perfil)
<b>G42</b>	Activa la compensación de radio de herramienta (a la derecha del perfil)
<b>G500</b>	Desactiva el sistema de coordenadas de trabajo.
<b>G53</b>	Sistema de coordenadas de máquina
<b>G54</b>	1° Sistema de coordenada de trabajo
<b>G55</b>	2° Sistema de coordenada de trabajo
<b>G56</b>	3° Sistema de coordenada de trabajo
<b>G57</b>	4° Sistema de coordenada de trabajo
<b>G58</b>	5° Sistema de coordenada de trabajo
<b>G59</b>	6° Sistema de coordenada de trabajo
<b>G507</b>	7° Sistema de coordenada de trabajo
<b>G5xx</b>	“xx°” Sistema de coordenada de trabajo
<b>G599</b>	“99°” Sistema de coordenada de trabajo
<b>G09</b>	Activa parada exacta del bloque actual

---

<b>G60</b>	Activa parada exacta, dejando los cantos
<b>G64</b>	Activa el contorno con “look-ahead”, chaflanado los cantos
<b>G641</b>	Activa el contorno con “look-ahead”, con redondeado
<b>G642</b>	Activa el contorno con “look-ahead”, con redondeado en spline
<b>G70</b>	Entrada de datos en pulgadas
<b>G71</b>	Entrada de datos en milímetros
<b>G90</b>	Sistema de coordenadas absolutas
<b>G91</b>	Sistema de coordenadas incrementales
<b>G94</b>	Avanzo en milímetro/pulgada por minuto
<b>G95</b>	Avanzo en milímetro/pulgada por rotación
<b>CFC</b>	Activa el control del avance por la tangencia de la herramienta con la pieza en los cantos.
<b>CFTCP</b>	Activa el control del avance por el centro de la herramienta
<b>CFIN</b>	Activa el control del avance por la tangencia de la superficie
<b>BRISK</b>	Modo normal de aceleración de los ejes
<b>SOFT</b>	Modo de aceleración suave de los ejes
<b>FFWOF</b>	Activa modo de control de avances
<b>FFWON</b>	Desactiva modo control de avances
<b>COMPON</b>	Sistema compresor de bloques 1
<b>COMPCAD</b>	Sistema compresor de bloques 2
<b>COMPCURV</b>	Sistema compresor de bloques 2

---

## **FUNCIONES CÓDIGO “M”**

---

<b>FUNCIONES</b>	
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
M00	Parada del programa
M01	Parada opcional del programa
M02	Fin de programa
M03	Sentido de rotación a las agujas de reloj
M04	Sentido de rotación opuesto a las agujas de reloj
M05	Parada del husillo
M06	Libera cambio de herramienta
M07	Prende refrigerante de corte por el centro de la herramienta

---

---


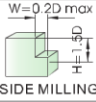
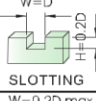
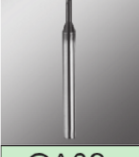
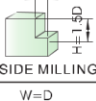
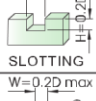


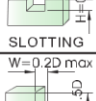


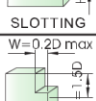

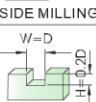
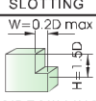

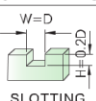
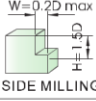
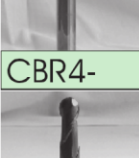

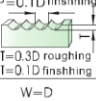
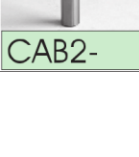


M08	Prende refrigerante de corte
M09	Apaga refrigeración (M07 y M08)
M17	Fin de subprograma
M30	Fin de subprograma
M36	Abre puerta automática (opc)
M37	Cierra puerta automática (opc)
M65	Prende limpieza de las protecciones (opc)
M66	Desconecta limpieza de las protecciones (opc)

---

# **ANEXO 7.**

**Parámetros de desbaste**


## MILLING CONDITIONS

CODE	Work Mode	Cutting parameters	General steel S50C,20 <HRC20	Alloy steel SKD, SKH HRC 20-37	Harden steel SKD,SKH HRC38-48	Harden steel SKD,SKH HRC48-56	Harden steel SKD,SKH HRC57-65	stainless steel 300,400	IRON
 CAE2-	 SIDE MILLING	Vc m/min	150-250	80-150	60-80			40-120	150-300
		f mm/tooth	0.006 -0.16	0.004 -0.12	0.003 -0.07			0.004 -0.12	0.006 -0.16
 SLOTTING		Vc m/min	120-200	70-130	50-70			40-100	120-250
		f mm/tooth	0.006 -0.16	0.004 -0.12	0.003 -0.07			0.004 -0.12	0.006 -0.16
 CAS2-	 SIDE MILLING	Vc m/min	60-100	40-80	40-60	25-50		40-80	80-200
		f mm/tooth	0.006 -0.16	0.004 -0.12	0.003 -0.07	0.002 -0.04		0.004 -0.12	0.006 -0.16
 SLOTTING		Vc m/min	50-90	40-80	35-50	25-50		40-70	80-150
		f mm/tooth	0.006 -0.16	0.004 -0.12	0.003 -0.07	0.002 -0.04		0.004 -0.12	0.006 -0.16
 CAE4-	 SIDE MILLING	Vc m/min	150-250	80-150	60-80			40-120	150-300
		f mm/tooth	0.006 -0.16	0.004 -0.12	0.003 -0.07			0.004 -0.12	0.006 -0.16
 SLOTTING		Vc m/min	120-200	70-100	50-70			40-100	100-200
		f mm/tooth	0.006 -0.16	0.004 -0.12	0.003 -0.07			0.004 -0.12	0.006 -0.16
 CCH4-	 SIDE MILLING	Vc m/min	120-160	40-60				60-100	80-150
		f mm/tooth	0.006 -0.16	0.004 -0.12				0.004 -0.12	0.006 -0.16
 SLOTTING		Vc m/min	100-120	30-50				50-80	70-120
		f mm/tooth	0.006 -0.16	0.004 -0.12				0.004 -0.12	0.006 -0.16
 CDE6-	 SIDE MILLING	Vc m/min	200-300	100-180	30-50	60-150	50-100		80-200
		f mm/tooth	0.006 -0.16	0.004 -0.12	0.003 -0.07	0.002 -0.04	0.002 -0.03		0.006 -0.16
 SLOTTING		Vc m/min		90-160	30-40	50-100	40-80		70-150
		f mm/tooth	0.006 -0.16	0.004 -0.12	0.003 -0.07	0.002 -0.04	0.002 -0.03		0.006 -0.16
 CBR2-	 SIDE MILLING	Vc m/min	120-250	100-180	60-120	50-80		50-120	100-250
		f mm/tooth	0.006 -0.16	0.004 -0.12	0.003 -0.07	0.002 -0.04		0.004 -0.12	0.006 -0.16
 SLOTTING		Vc m/min	100-200	80-150	50-110	40-70		50-100	80-200
		f mm/tooth	0.006 -0.16	0.004 -0.12	0.003 -0.07	0.002 -0.04		0.004 -0.12	0.006 -0.16
 CBR4-	 SIDE MILLING	Vc m/min	120-250	100-180	60-120	50-80		50-120	100-250
		f mm/tooth	0.006 -0.16	0.004 -0.12	0.003 -0.07	0.002 -0.04		0.004 -0.12	0.006 -0.16
 SLOTTING		Vc m/min	100-200	80-150	50-100	40-60		50-100	80-200
		f mm/tooth	0.006 -0.16	0.004 -0.12	0.003 -0.07	0.002 -0.04		0.004 -0.12	0.006 -0.16
 CAB2-	 SIDE MILLING	Vc m/min		100-250	80-200	40-120	20-40	50-120	150-300
		f mm/tooth	0.006 -0.16	0.004 -0.12	0.003 -0.07	0.002 -0.04	0.002 -0.03	0.004 -0.12	0.006 -0.16
 SLOTTING		Vc m/min		80-200	70-180	30-100	20-40	40-100	100-250
		f mm/tooth	0.006 -0.16	0.004 -0.12	0.003 -0.07	0.002 -0.04	0.002 -0.03	0.004 -0.12	0.006 -0.16

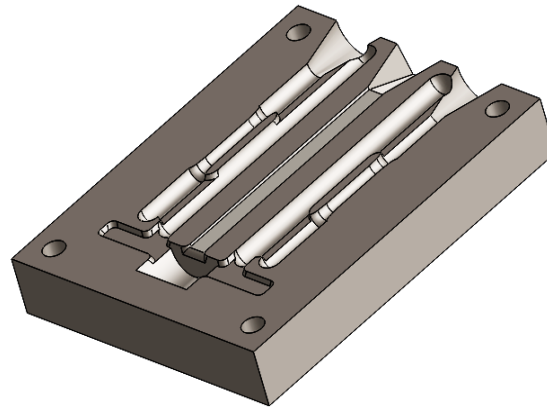
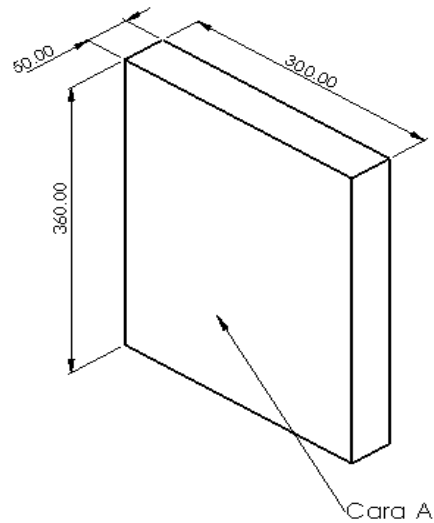
# **ANEXO 8.**

**Hoja de procesos**


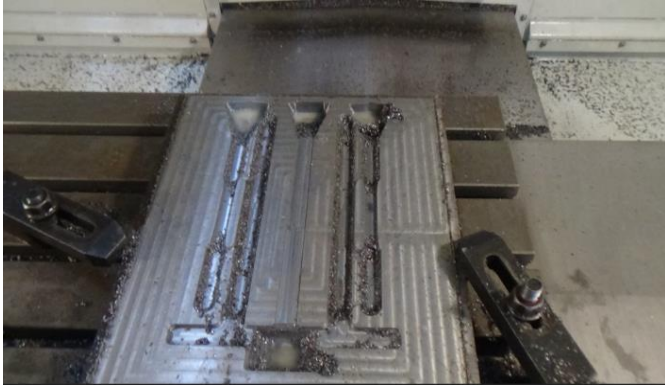


<b>PROYECTO:</b>	MOLDE PERMANENTE PARA PROBETAS DE ALEACIONES DE ALUMINIO APLICANDO LA NORMA ASTM B-108	<b>PLANO N°:</b> UTN-MODELO-A-001	<b>TRABAJO N°:</b> 1	
<b>PIEZA:</b>	MODELO DE FUNDICIÓN CARA "A"		<b>HOJA:</b> 1-4	
<b>MATERIAL:</b>	ACERO A-36	<b>DIMENSIONES EN BRUTO:</b> 360X300X50	<b>FECHA:</b> 04/04/2018	

**REALIZADO POR:** Stalin Gómez Alencastro



FASE	SUB-FASE	OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	# PASADAS	PROFUNDIDAD DE CORTE (ap)	RPM	VELOCIDAD DE AVANCE (mm/min)	TIEMPO DE CORTE(min)	CONTROL
1. DESBASTE	CAREADO	1	FASE 1_1 (CERO PIEZA)		Fresa punta recta de 20 mm	1	1	2069	207	60	MEDIDOR DE NIVEL

											
<b>CAREADO</b>	2	<b>FASE 1_2 (PLANEADO)</b>		Fresa punta recta de 6 mm	-	0.7	6682	468	360		<b>CALBRADOR PIE DE REY</b>

										
<b>CAREADO</b>	<b>3</b>	<b>FASE 3_1 (CONTORNO EXTERNO)</b>		Fresa punta Recta de 20 mm	-	1	2069	207	500	<b>CALIBRADOR PIE DE REY</b>


											
<p><b>2. ACABADO</b></p>	<p><b>CAREADO</b></p>	<p><b>4</b></p>	<p><b>FASE 4_1 (AFINADO PERFIL INTERNO)</b></p>		<p>Fresa punta redonda de 6 mm</p>	<p>1</p>	<p>0.3</p>	<p>8000</p>	<p>90</p>	<p>1100</p>	<p>CALIBRADOR PIE DE REY</p>

											
<p><b>3. TALADRADO</b></p>	<p><b>CAREADO</b></p>	<p>5</p>	<p><b>FASE 5_1 (PERFORACIONES PASANTES)</b></p>		<p>Broca de 7/16 in</p>	<p>-</p>	<p>0.5</p>	<p>458</p>	<p>82.44</p>	<p>100</p>	<p>CALIBRADOR PIE DE REY</p>



# **ANEXO 9.**


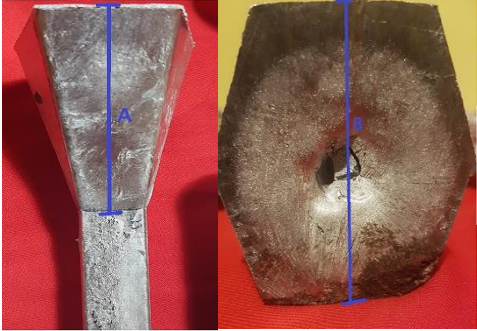
## **Análisis dimensional**

## ANÁLISIS DIMENSIONAL

Descripción	Imagen	Medidas reales	Medidas nominales	Control	Observación
Mazarota lateral				Calibrador pie de rey	Sin observaciones
		Punto A= Ø 22.05 mm	Punto A= Ø 22 mm		
		Punto B= Ø 21.9 mm	Punto B= Ø 22 mm		
		Punto C= Ø 21.96 mm	Punto C= Ø 22 mm		



Probeta ( diámetro sección de prueba)				Calibrador pie de rey	Sin observaciones
		Punto A= $\varnothing$ 12.95	Punto A= $\varnothing$ 12.9 mm $\pm$ 0.1 mm		
		Punto B= $\varnothing$ 12.97	Punto B= $\varnothing$ 12.9 mm $\pm$ 0.1 mm		
		Punto C= $\varnothing$ 12.99	Punto C= $\varnothing$ 12.9 mm $\pm$ 0.1 mm		
Probeta ( Longitud sección de prueba)				Calibrador pie de rey	Sin observaciones
		Punto A= 84.13 mm	Punto A= 84 mm		

Probeta ( sección de sujeción)				Calibrador pie de rey	Sin observaciones
		Punto A= Ø 19.31 mm	Punto A= Ø 19.2 mm ± 0.1 mm		
		Punto B= Ø 19.27 mm	Punto B= Ø 19.2 mm ± 0.1 mm		
		Punto C= Ø 19.25 mm	Punto C= Ø 19.2 mm ± 0.1 mm		
		Punto D= Ø 19.27 mm	Punto D= Ø 19.2 mm ± 0.1 mm		
Copa de vaciado				Calibrador pie de rey	Sin observaciones
		Punto A= 51.14 mm	Punto A= 51 mm		
		Punto B= 51.05 mm	Punto B= 51 mm		

<p>Bebedero</p>		<table border="1"> <tr> <td>Punto A= 18.95 mm</td> <td>Punto A= 19 mm</td> </tr> <tr> <td>Punto B= 18.92 mm</td> <td>Punto B= 19 mm</td> </tr> <tr> <td>Punto C= 210.3 mm</td> <td>Punto C= 210 mm</td> </tr> </table>	Punto A= 18.95 mm	Punto A= 19 mm	Punto B= 18.92 mm	Punto B= 19 mm	Punto C= 210.3 mm	Punto C= 210 mm		<p>Calibrador pie de rey</p>	<p>Sin observaciones</p>
Punto A= 18.95 mm	Punto A= 19 mm										
Punto B= 18.92 mm	Punto B= 19 mm										
Punto C= 210.3 mm	Punto C= 210 mm										
<p>Canal de alimentación principal</p>		<table border="1"> <tr> <td>Punto A=190.2 mm</td> <td>Punto A= 190 mm</td> </tr> <tr> <td>Punto B= 18.8 mm</td> <td>Punto B= 19 mm</td> </tr> <tr> <td>Espesor= 9.15 mm</td> <td>Espesor= 9 mm</td> </tr> </table>	Punto A=190.2 mm	Punto A= 190 mm	Punto B= 18.8 mm	Punto B= 19 mm	Espesor= 9.15 mm	Espesor= 9 mm		<p>Calibrador pie de rey</p>	<p>Sin observaciones</p>
Punto A=190.2 mm	Punto A= 190 mm										
Punto B= 18.8 mm	Punto B= 19 mm										
Espesor= 9.15 mm	Espesor= 9 mm										

Pocillo				Calibrador pie de rey	Sin observaciones
		Punto A= 58.6 mm	Punto A= 58.5 mm		
		Punto B= 24.98 mm	Punto B= 25 mm		
		Punto C= 37.82 mm	Punto C= 38 mm		
Mazarota superior				Calibrador pie de rey	Debido a que en la parte superior de la mazarota se produce un rechupe no se puede realizar la medición de la misma, es por ello que se optó en realizar la medición en un punto más bajo.
Punto A= 43.82 mm	Punto A= 44 mm				


# **ANEXO 10.**

**Ensayo de composición química y  
tracción**

ILPM Ingeniería Líder en Proyectos Y Materiales



<p>Ensayo de Tensión y composición química</p> <p>Informe # ILPM-2018-364</p>	<p><b>ILPM Engineering Cía. Ltda.</b>  <b>Emilio Estrada N54-139 Y Oruña</b>  <b>Sector La Kennedy</b>  <b>Quito-Ecuador</b>  <b>Teléfono: 02 2812094</b>  <b>Fax: 02 2411714</b>  <b>http://www.ilpm-ec.com</b>  <b>Email: <a href="mailto:ilpm@ilpm-ec.com">ilpm@ilpm-ec.com</a></b></p>
<p><b>DATOS DEL SOLICITANTE<sup>1</sup></b></p> <p><b>STALIN GOMEZ</b>  <b>Dirección: OTAVALO</b>  <b>Teléfono: 0961049287</b></p> <p><b>PARA CLIENTE FINAL:</b>  <b>Stalin Gomez</b></p>	
<b>Solicitado por:</b>	Stalin Gomez
<b>Fecha de Recepción:</b>	<b>06/07/2018</b>
<b>Fecha de Entrega:</b>	<b>09/07/2018</b>


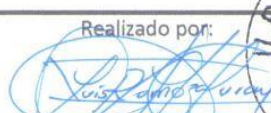
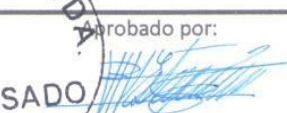

<p>Aprobado por</p>	 REVISADO..... <b>Numero de hojas: 4</b> <b>ILPM ENGINEERING</b>
---------------------	---

Las muestras que no sean requeridas serán desechadas de acuerdo al procedimiento interno ILPM-PC-14  
 Se informa al cliente que puede comunicar a ILPM ENGINEERING, los reclamos que estime oportunos de acuerdo al Procedimiento :  
 ILPM-PC-05 Servicio al Cliente, para la recepción, tratamiento e informe de quejas y apelaciones, disponible a través de nuestro correo  
 electrónico [ilpm@ilpm-ec.com](mailto:ilpm@ilpm-ec.com) o DESCARGARLO a través de la red Social LinkedIn Buscar: ILPM Engineering.)

2018. ILPM Engineering Cía. Ltda.

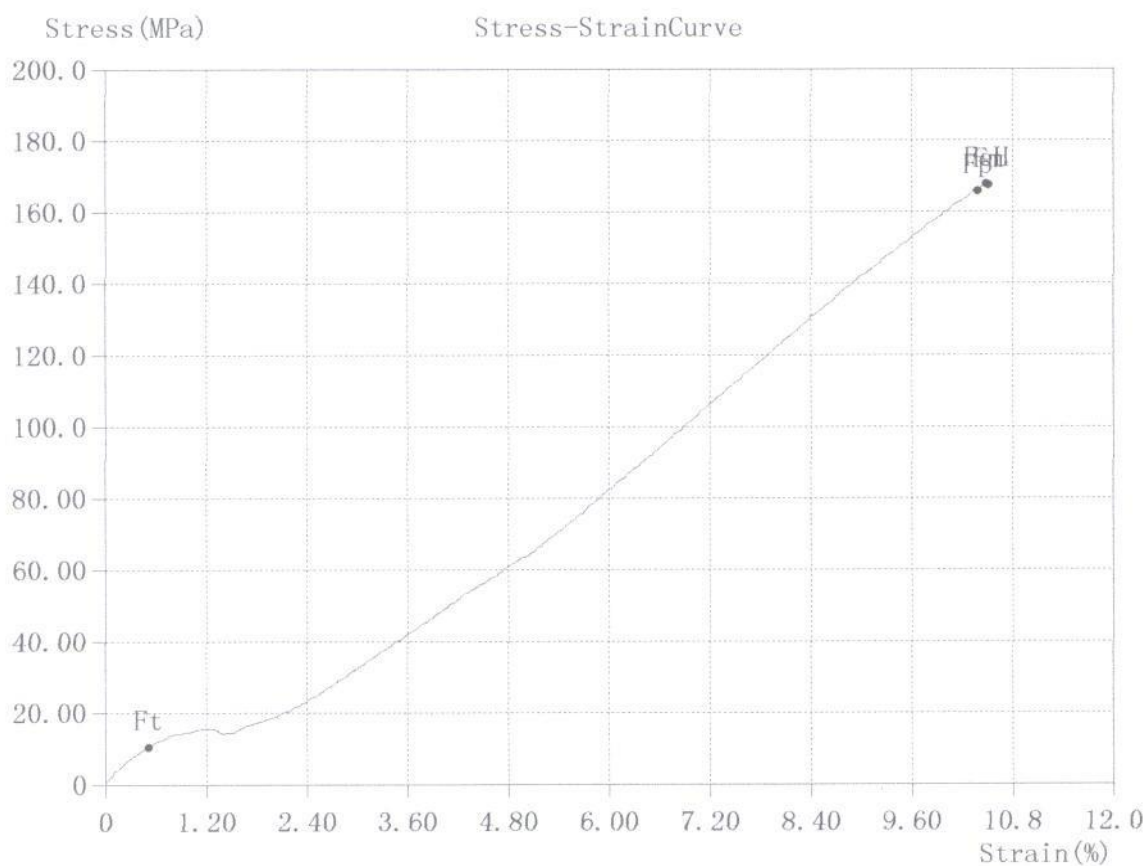
Todos Los derechos reservados. Este informe o partes del mismo no deben ser reproducidos o transmitidos de forma parcial,  
 salvo por autorización de ILPM, o en caso que haya sido comunicado durante la Orden de Compra.

<sup>1</sup> Solicitante es la empresa/persona "cliente" de ILPM la cual realizó la requisición del servicio y se compromete al pago por los servicios.

 <b>ILPM ENGINEERING CIA LTDA</b> Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales		Informe No.					
ID DOCUMENTO ILPM-RT-16 (Informe) Revisión Nro. 04		<b>REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN</b> <b>NORMAS: ASTM A370 / ASTM E8</b>					
<b>Cliente:</b> STALIN GOMEZ		<b>Fecha de Ensayo:</b> lunes, 9 de julio de 2018					
<b>Solicitado Por:</b> Stalin Gomez		<b>Fiscalización:</b>					
<b>Material:</b> Aluminio		<b>Probeta elaborada por</b> STALIN GOMEZ					
<b>Equipo:</b> ENS-09 Máquina de ensayo de Tensión		<b>Calibración:</b> 16/11/2016					
<b>Temperatura °C</b> 20		<b>Humedad Relativa %</b> 60					
Objetivo de ensayo:							
<input checked="" type="checkbox"/> Control de Calidad de Material		<input type="checkbox"/> Control de Soldadura					
Probeta #	Diámetro Menor	Longitud Inicial	Longitud Final	OBSERVACIONES			
	mm.	mm.	mm.				
Probeta Al-Si	12,68	50,00	51,13				
Probeta #	Area	Carga de Fluencia	Limite de Fluencia Sy	Carga de Rotura	Limite de Rotura SUT	Elongación 50mm	Localización de Rotura <sup>1</sup>
	mm <sup>2</sup> .	kN	KSI MPa	kN	KSI MPa	%	
Probeta Al-Si	126,28	21,18	24,33 168	21,18	24,33 168	2,3	NA
<b>Observaciones:</b>							
<sup>1</sup> Para juntas soldadas, la localización de rotura será designada por : FJS Falla Junta Soldada, FMB Falla en Material Base							
<b>Notas:</b>							
<i>Anexo Curvas de Ensayo</i> El presente informe NO debe ser reproducido parcialmente. Certificamos que los ensayos han sido realizados bajo las indicaciones de ASTM E8 / A370 y Procedimiento ILPM-PT-06 Ensayo de Tensión ( incluye ASME IX Ed.2013, API1104, AWS D1.1 Ed. 2015)							
ILPM Cia. Ltda. ha sido evaluada por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) para la aprobación como organismo designado para la evaluación de la conformidad (OEC) otorgado por el Ministerio de Industrias y Productividad (MIPRO), en base a la resolución 15 232 para la ejecución de ensayos de Tensión.							
Realizado por:  Ing. Luis Sornoza ILPM Engineering		Aprobado por:  MSc. Patricio Estupiñán Jefe de Laboratorio		Cliente:  STALIN GOMEZ			

ILPM CIA LTDA  
REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

Customer/Informe	STALIN GOMEZ / ILPM 2018-364		
Probeta No.	Probeta Al-Si		
TestDate	7/9/2018	Type	Circle
Size (mm)	12.68	So (mm <sup>2</sup> )	126.28
Lo (mm)	50	Lu (mm)	51.13
Fm (kN)	21.18	SUT (MPa)	168
FeL (kN)	21.18	SY (MPa)	168







ILPM-RT-34 Rev1

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



Informe/Muestra: 2018-364/ STALIN GOMEZ/ PROBETA Al-Si

Fecha: 09.07.2018 10:34:28

Metodo: Al120

Equipo: Bruker Q2ION ENS-11

Calibracion: 17/Feb/2018

Temperatura: 20 +/-3 degC

Humedad: 60 +/-10 %



**REGISTRO DE ENSAYO DE COMPOSICION QUIMICA  
MEDIANTE ESPECTROMETRIA DE EMISION OPTICA POR CHISPA**

Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅ 6,456	1,699	0,51	0,084	0,011
Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅ 0,026	0,03	0,489	0,016	0,026
Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Co [%]
∅ 0,01	0,012	<0,003	0,003	<0,003
Ca [%]	Al [%]	Cd [%]	Bi [%]	B [%]
∅ 0,0021	90,62	0	0	0
Ag [%]				
∅ 0				

Realizado por:

**ILPM**  
engineering cia. ltda.  
Firma Autorizada

Revisado por:

**ILPM CIA. LTDA.**  
REVISADO

Cliente:

ILPM Cia. Ltda. ha sido evaluada por el Servicio de Acreditacion Ecuatoriano (SAE) para la aprobacion como organismo designado para la evaluacion de la conformidad (OEC) otorgada por el MIPRO en base a la resolucion 16508 para la ejecucion de ensayos de Composicion Quimica

Emilio Estrada N54-139 y Oruna (Sector La Kennedy) Quito - Ecuador  
Telefonos: 02 2812094 Fax: 022411714 E-MAIL: ilpm@ilpm-ec.com / www.ilpm-ec.com

# **ANEXO 11.**

## **Análisis de costos**

**MATERIALES DIRECTOS E INDIRECTOS**

<b>MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE</b>			
<b>LABORATORIO DE MECANIZADO UTN</b>		<b>ORDEN DE PRODUCCIÓN: N° 001</b>	
<b>PRODUCTO:</b> Molde permanente			
<b>FECHA:</b> 12/07/2018			
<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>C. UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
<b>MATERIALES DIRECTOS</b>			
2	Planchas de acero A-36	\$60,00	\$ 120,00
<b>TOTAL MATERIALES DIRECTOS</b>			<b>\$ 120,00</b>
<b>MATERIALES INDIRECTOS</b>			
1	Fresa de 20 mm punta recta HRC	\$200,00	\$ 200,00
4	Fresa de 6 mm punta recta HRC	\$40,00	\$ 160,00
2	Fresa de 6 punta esférica mm HRC	\$50,00	\$ 100,00
1	Broca HSS 7/16 in	\$20,00	\$ 200,00
<b>TOTAL MATERIALES INDIRECTOS</b>			<b>\$ 660,00</b>
<b>Aprobado por Ing: Fernando Valencia</b>		<b>TOTAL:</b>	<b>\$ 780,00</b>

<b>MATERIALES PARA LAS PRUEBAS DE FUNDICIÓN</b>			
<b>FMI</b>		<b>ORDEN DE PRODUCCIÓN: N° 001</b>	
<b>PRODUCTO:</b> Molde permanente			
<b>FECHA:</b> 12/07/2018			
<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>C. UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
<b>MATERIALES DIRECTOS</b>			
1	Aleación de aluminio	\$ 200	\$ 200
<b>TOTAL MATERIALES DIRECTOS</b>			<b>\$ 200</b>
<b>MATERIALES INDIRECTOS</b>			
1	Cilindro de Gas	\$ 2.50	\$ 2.50
1	Barril de aceite quemado	\$ 20	\$ 20
<b>TOTAL MATERIALES INDIRECTOS</b>			<b>\$ 22,50</b>
<b>Aprobado por Ing: Fernando Valencia</b>		<b>TOTAL:</b>	<b>\$ 222,50</b>

**DEPRECIACIONES**

<b>DEPRECIACIONES</b>						
<b>Cant.</b>	<b>Maquinaria</b>	<b>Valor histórico</b>	<b>Valor residual</b>	<b>Depreciación anual</b>	<b>Depreciación mensual</b>	<b>Depreciación por hora</b>
1	CNC	\$ 126 470,00	\$ 12 647,00	\$ 11 382,30	\$ 948,50	\$ 1.30
1	Horno	\$ 4 000,00	\$ 400,00	\$ 360,00	\$ 30	\$ 0.50

<b>DEPRECIACIÓN DE LA MÁQUINA CNC PARA EL MOLDE</b>			
<b>Número de horas:</b>	70	<b>Depreciación por hora \$</b>	\$ 1.30
<b>Depreciación total</b>		\$ 91,00	

<b>DEPRECIACIÓN DEL HORNO PARA LAS PRUEBAS DE FUNDICIÓN</b>			
<b>Número de horas:</b>	16	<b>Depreciación por hora \$</b>	\$ 0.50
<b>Depreciación total</b>		\$ 8,00	

**ROL DE PAGOS**

<b>ROL DE PAGOS OPERARIO CNC</b>						
<b>INGRESOS</b>						
Trabajador	Salario Unificado	Horas suplementarias	Horas Extras	13° sueldo	14° sueldo	Total ingresos
Stalin Gómez	\$ 850	0	0	\$ 70,83	\$ 31.66	\$ 952.49
<b>EGRESOS</b>						
Impuesto a la renta		Aportes al IESS		Total egresos		TOTAL
\$ 0.00		\$ 80.33		\$ 80.33		\$ 872.16

<b>ROL DE PAGOS OPERARIO HORNO DE CRISOL FIJO</b>						
<b>INGRESOS</b>						
Trabajador	Salario Unificado	Horas suplementarias	Horas Extras	13° sueldo	14° sueldo	Total ingresos
Stalin Gómez	\$ 500	0	0	\$ 41,66	\$ 31.66	\$ 573.33
<b>EGRESOS</b>						
Impuesto a la renta		Aportes al IESS		Total egresos		TOTAL
\$ 0.00		\$ 47.25		\$ 47.25		\$ 526.00

**HORAS DE TRABAJO**

<b>HORAS DE TRABAJO EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE</b>			
Número de horas:	100	Tarifa salarial por hora \$	\$ 5.45
<b>Costo total</b>		\$ 545,00	

<b>HORAS DE TRABAJO EN LAS PRUEBAS DE FUNDICIÓN</b>			
Número de horas:	20	Tarifa salarial por hora \$	\$ 3,28
<b>Costo total</b>		\$ 65,60	

**OTROS INDIRECTOS**

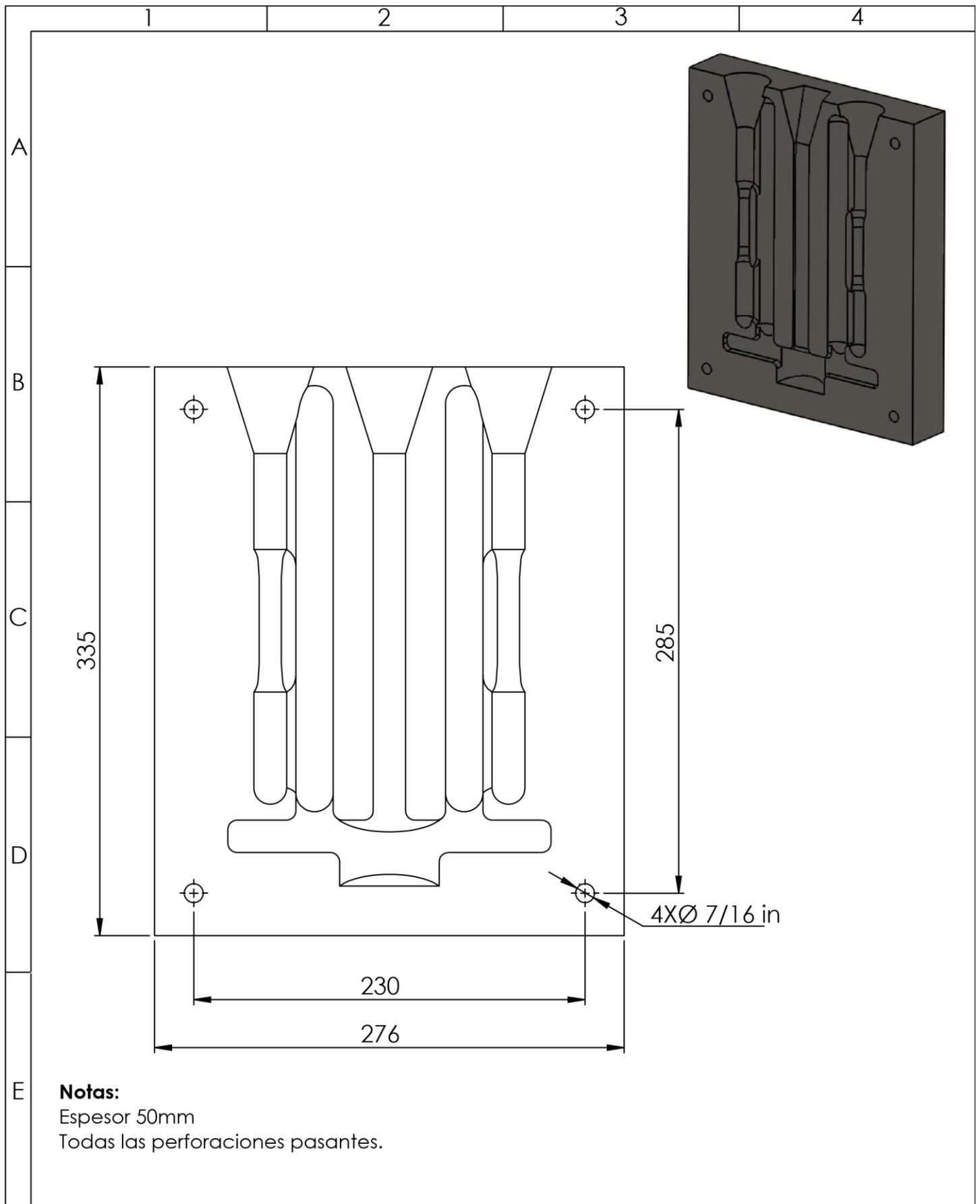
<b>OTROS INDIRECTOS</b>			
<b>ILPM</b>		<b>ORDEN DE PRODUCCIÓN: N° 001</b>	
<b>PRODUCTO:</b> Molde permanente			
<b>FECHA:</b> 12/07/2018			
<b>ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y QUÍMICOS</b>			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	C. UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Ensayo de tracción	\$ 20,00	\$ 20,00
1	Ensayo de composición química	\$ 60,00	\$ 60,00
<b>ENERGÍA ELECTRICA</b>			
70	Horas	\$ 2,99	\$ 209.3
<b>COSTO HORA/MÁQUINA</b>			
70	Horas	\$ 25,00	\$ 1 750,00
<b>COSTO TOTAL</b>			\$ 2 039,30

**COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACION (CIF).**

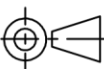
<b>COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN DEL MOLDE</b>	
<b>Materiales indirectos</b>	<b>Depreciación de la maquina CNC</b>
\$ 660,00	\$ 91,00
<b>COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN DE LAS PRUEBAS DE FUNDICIÓN</b>	
<b>Materiales indirectos</b>	<b>Depreciación del horno</b>
\$ 22,50	\$ 8,00
<b>TOTAL CIF</b>	<b>\$ 781,50</b>

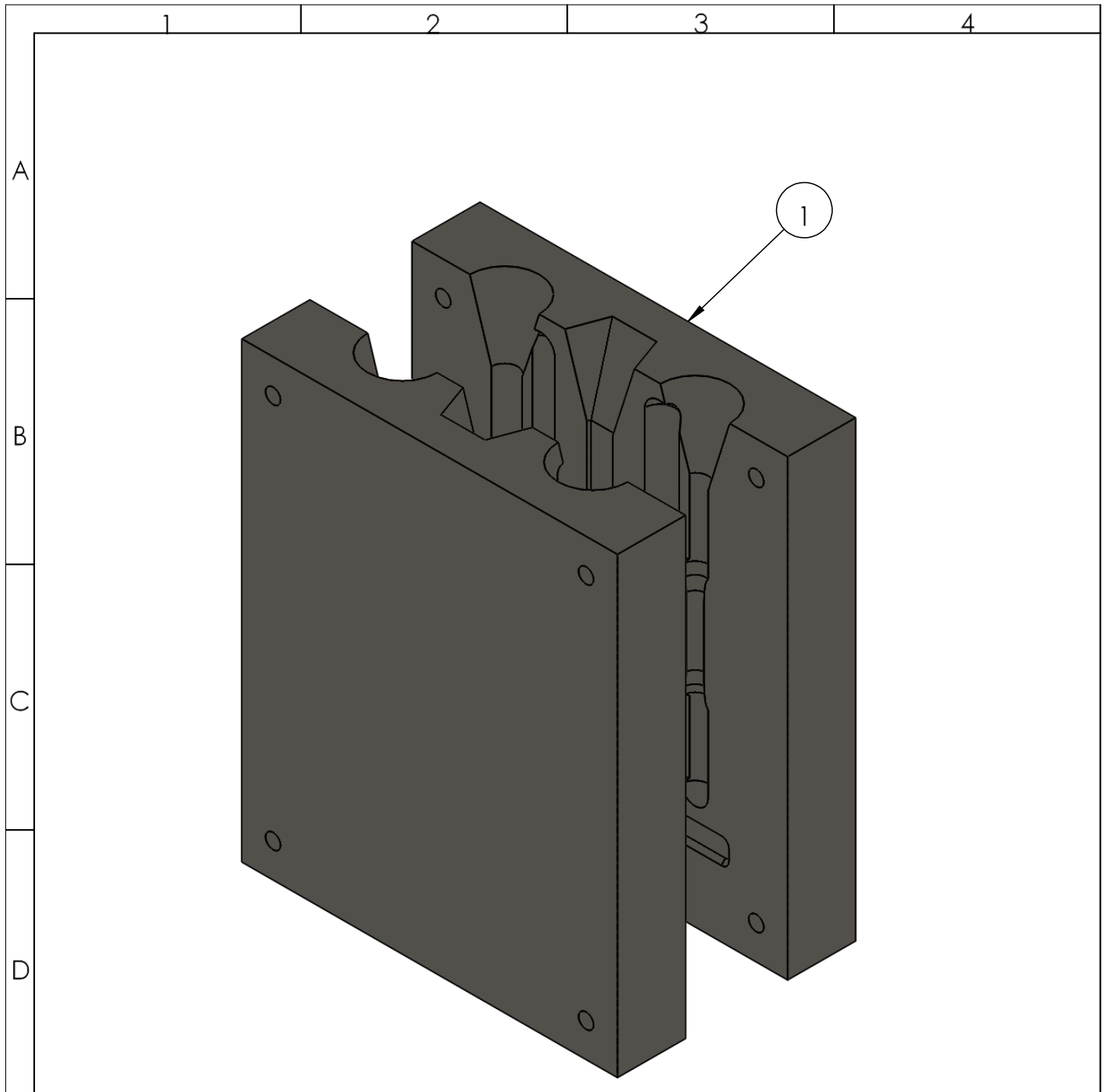
# **ANEXO 12.**

**Planos**



**Notas:**  
 Espesor 50mm  
 Todas las perforaciones pasantes.

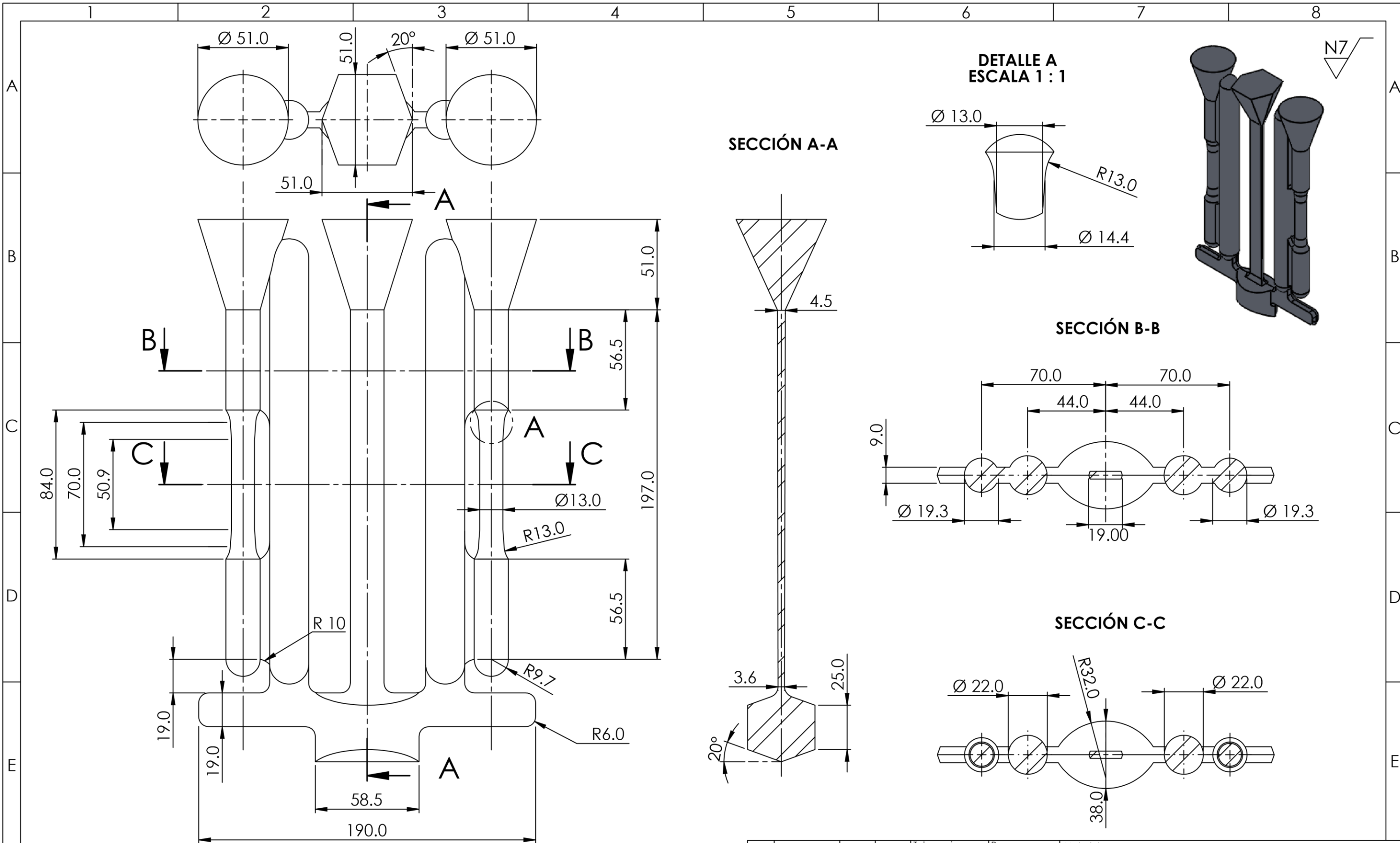
				Tolerancia:	Peso:	Material:	Hoja	
				± 0.1	34.25 Kg	Acero A-36	1/1	
					Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dib.	6/21/2018	Byron Gómez	MOLDE CARA A	
				Rev.	6/21/2018	Ing. F. Valencia		Escala:
				Aprov.	6/21/2018	Ing. F. Valencia		1:3
						Número de Dibujo:	Registro:	
						UTN18-DMP-A-02		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye a:		



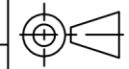
Nº. Pieza	Descripción	Norma	Nº. Dibujo	Cantidad	Material	Observación
1	Molde cara A	ASTM B-108	UTN18-DMP-1-02	2	Acero A-36	

				Tolerancia:	Peso:	Material:	Hoja
				± 0.1	34.25 Kg	Acero A-36	1/1
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dib. 6/21/2018	Byron Gómez	MOLDE PERMANENTE	1:3
				Rev. 6/21/2018	Ing. F. Valencia		
				Aprov. 6/21/2018	Ing. F. Valencia		
						Número de Dibujo:	Registro:
						UTN18-DMP-1	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustituye a:			





**Notas:**  
 -Radios de acuerdo no especificados de 6mm.  
 -El ángulo de inclinación nominal es de 20° en todas las secciones cuadradas o rectangulares en la dirección transversal a la línea de partición.

				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				± 0.1	1,4 Kg	Aleación de aluminio 356	
						Denominación:	Escala:
				Dib.	6/21/2018	Byron Gómez	1:2
				Rev.	6/21/2018	Ing. F Valencia	
				Aprov.	6/21/2018	Ing. F Valencia	
						Número de Dibujo:	Registro:
						UTN18-DMP-MF-01.	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye a:	

