



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### EFFECTO DE LA VARIACIÓN DE FUNDENTES Y DESGASIFICANTES EN LA ALEACIÓN DE ALUMINIO AK5M OBTENIDA MEDIANTE COLADO DINÁMICO

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO

**JESSICA IVONNE CHIPANTASIG LUGMAÑA**  
jessica.chipantasig@epn.edu.ec

**EDISON FERNANDO COLLAGUAZO ELIZALDE**  
edison.collaguazo01@epn.edu.ec

**DIRECTOR:**  
**ING. FAUSTO OVIEDO M.Sc.**  
fausto.oviedo@epn.edu.ec

Quito, noviembre 2021

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Jessica Ivonne Chipantasig Lugmaña y Edison Fernando Collaguazo Elizalde**, bajo mi supervisión.

---

Ing. Fausto Oviedo M.Sc.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Nosotros, **Jessica Ivonne Chipantasig Lugmaña y Edison Fernando Collaguazo Elizalde**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Jessica Ivonne Chipantasig Lugmaña

---

Edison Fernando Collaguazo Elizalde

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a mis padres Galo y Emma, mi motivación y fortaleza para salir adelante, quienes me brindan su amor en cada momento, me apoyan de manera incondicional en cada decisión de bien en mi vida, mi soporte en cada dificultad superada y la guía a lo largo de toda mi vida.

Edison Collaguazo

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi familia, amigos y todas las personas que directa o indirectamente brindaron soporte, apoyo y motivación para la realización de este proyecto de titulación.

Jesica Chipantasig

A Dios, por lo bondadoso que ha sido conmigo durante toda mi vida.

A mi padre, que nunca agotó fuerzas por hacer de mi un mejor hombre, por todo el apoyo, por inculcarme todos los valores, quien me ha enseñado a luchar por cada uno de mis sueños y ha sido mi referente de vida.

A mi madre, por su amor incondicional que a pesar de que han pasado los años yo me siento como un niño en brazos al tenerla cerca.

A mis hermanas, por toda la felicidad compartida en el hogar.

A Mónica, por todo el amor y el apoyo que me brindaste que fue de gran importancia para mí, estuviste a mi lado incluso en los momentos más difíciles, me ayudaste a mejorar y siempre estaré agradecido por lo que hiciste de mí.

Al grupo de amigos "Los Habana F.C.", que me acompañaron durante mi etapa universitaria, con los que compartimos varias anécdotas y momentos gratos.

A mi director de tesis, el Ing. Fausto Oviedo, por su guía y buena predisposición para el desarrollo del presente trabajo de titulación.

A Don Fabian, Joao Heredia y todos quienes me brindaron su colaboración en el Laboratorio de Fundición para el desarrollo del presente trabajo.

Edison Collaguazo

# ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	I
DECLARACIÓN.....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT .....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII
Objetivo general.....	xiv
Objetivos específicos.....	xiv
1. MARCO TEÓRICO .....	1
1.1. Aleaciones de aluminio fundidas.....	1
1.2. Microestructura y modificación de la aleación Al Si.....	4
1.3. Aplicaciones de la aleación Al Si .....	6
1.4. Aleación AK5M .....	7
1.5. Proceso de fundición .....	8
1.5.1. Fundición por colado estático .....	9
1.5.1.1 Fundición en molde desechable.....	9
1.5.1.1.1 Molde, modelo y moldeado.....	9
1.5.1.1.2 Fusión y solidificación.....	11
1.5.1.2 Fundición en molde permanente.....	13
1.5.2. Colado dinámico.....	13
1.5.2.1 Mesa vibratoria .....	14
1.6. Defectos comunes en aleaciones de aluminio fundidas .....	16
1.6.1. Defectos por el proceso de fundición.....	16
1.6.2. Defectos debido al molde .....	18
1.7. Porosidad presente en aleaciones de aluminio fundido .....	19
1.8. Limpieza de la colada .....	20
1.8.1. Tratamientos con fundentes .....	20
1.8.2. Tratamientos con gases .....	21
2. METODOLOGÍA .....	22
2.1. Antecedentes.....	22
2.1. Selección de componentes de la aleación .....	23
2.2. Dimensionamiento de probetas .....	23
2.3.1. Ensayo de tracción.....	23
2.3.2. Ensayo de microestructura.....	24

2.3.3. Ensayo de dureza .....	25
2.3.4. Ensayo de composición química .....	25
2.3. Determinación de parámetros del proceso tecnológico de fundición.....	26
2.4.1. Dimensionamiento del modelo .....	26
2.3.1.1. Sobredimensionamiento por contracción del material .....	27
2.3.1.2. Sobredimensionamiento por mecanizado del material .....	28
2.4.2. Dimensionamiento del sistema de alimentación .....	29
2.3.2.1. Bebedero .....	30
2.3.2.2. Tiempo de vertido .....	34
2.3.2.3. Embudo de vertido.....	35
2.3.2.4. Pozo de colado .....	36
2.3.2.5. Canales de colado y ataque.....	36
2.3.2.6. Respiraderos .....	37
2.4.3. Dimensionamiento de la caja modelo .....	37
2.4.4. Preparación de arena de moldeo.....	40
2.4.5. Parámetros de la mesa vibratoria .....	41
2.4.6. Fundentes y desgasificantes .....	41
2.4.7. Cálculo de cargas.....	42
2.4.8. Proceso tecnológico fundición de probetas .....	45
2.4. Mecanizado de Probetas .....	46
2.5. Pruebas de porcentaje de porosidad en la aleación.....	47
2.6.1. Análisis de densidad relativa .....	47
2.6.2. Análisis fotográfico .....	48
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
3.1. Análisis e interpretación de resultados.....	49
3.1.1. Análisis de inspección visual .....	49
3.1.2. Análisis de resultados obtenidos del ensayo de composición química.....	50
3.1.3. Análisis de resultados obtenidos del ensayo de tracción .....	51
3.1.4. Análisis de resultados obtenidos del ensayo de dureza.....	52
3.1.5. Análisis de resultados obtenidos del ensayo metalográficos .....	54
3.1.6. Análisis de resultados obtenidos de las pruebas de porcentaje de porosidad mediante el método de densidad relativa.....	58
3.1.7. Análisis de resultados obtenidos de las pruebas de porcentaje de porosidad mediante el método de análisis fotográfico. ....	60
3.2. Matriz comparativa .....	61
3.3. Procedimiento para disminuir el porcentaje de porosidad en la aleación de aluminio AK5M.....	63

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	65
4.1. Conclusiones .....	65
4.2. Recomendaciones .....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	67
ANEXOS.....	70
Anexo I: Dimensionamiento del molde en posición horizontal. ....	70
Anexo II: Resultados del ensayo de composición química realizado a los pistones automotrices.....	73
Anexo III: Resultados del ensayo de composición química realizado a las láminas de aluminio. ....	93
Anexo IV: Ficha técnica Alufundex.....	94
Anexo V: Ficha técnica Apartagas.....	96
Anexo VI: Resultados del ensayo de composición química realizados a las probetas obtenidas.....	99
Anexo VII: Resultados del ensayo de tracción y dureza realizado a las probetas obtenidas.....	109



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de diagrama de fase binario Al-B de tipo eutéctico.....	1
Figura 1.2 Esquema de diagrama de fase binario Al-B de tipo peritético.....	2
Figura 1.3 Microestructura típica de Al con Si hipoeutéctico .....	5
Figura 1.4 Microestructura de Al con Si eutéctico, Al dendrítico e inclusiones .....	5
Figura 1.5 Clasificación sistema de modificación por niveles .....	6
Figura 1.6 Microestructura de la familia AK5M.....	8
Figura 1.7 Secuencia de pasos para producción de piezas en fundición con arena.....	9
Figura 1.8 Modelos empleados en la producción de piezas fundidas en moldes de arena: a) Fijo, b) Deslizante, c) De placas ajustadas, y d) De capucha y base .....	10
Figura 1.9 a) Núcleo dentro de la cavidad del molde sostenido por medio de coronas, b) Posible diseño de las coronas, c) Pieza fundida con cavidad interna.....	10
Figura 1.10 Curva de enfriamiento de un metal durante el proceso fundición .....	12
Figura 1.11 Etapas del vertido con moldes permanentes: 1) Precalentar y cubrir el molde, 2) Insertar los núcleos (si los hay) y cerrar el molde, 3) Verter el metal fundido en el.....	13
Figura 1.12 Esquema de la mesa vibratoria.....	15
Figura 1.13 Esquema del sistema mesa-molde con movimiento vibratorio .....	16
Figura 1.14 Defectos frecuentes en fundiciones, a) vacíos, b) cierre frío, c) granulos fríos, d) cavidad por contracción, e) microporosidad, f) desgarre caliente.....	17
Figura 1.15 Defectos frecuentes en fundiciones con arena: a) Sopladura, b) Agujeros de pasador, c) Lavado de arena, d) Costras, e) Penetración, f) Desplazamiento del molde, g) Desplazamiento del núcleo y h) Agrietamientos del molde.....	18
Figura 1.16 Fracción volumétrica del poro en función del contenido de hidrogeno a diferentes rangos de enfriamiento.....	20
Figura 1.17 Esquema mecanismo usado para desgasificación por medio de gases inertes.....	21
Figura 2.1 Probetas de tracción obtenidas en el proyecto de investigación de Mendoza y Oña.....	22
Figura 2.2 Dimensiones de la probeta para el ensayo de microestructura .....	25
Figura 2.3 Distribución del modelo.....	26
Figura 2.4 Moldura para la obtención de las probetas cilíndricas.....	26
Figura 2.5 Modelo bipartido. ....	27
Figura 2.6 Dimensiones del modelo.....	29
Figura 2.7 Molde horizontal para colado dinámico. ....	29
Figura 2.8 Elementos del sistema de alimentación. ....	30

Figura 2.9 Bebedero con forma hiperbólica. ....	32
Figura 2.10 a) Esquema de bebedero cilíndrico. b) Esquema de bebedero cónico. ....	32
Figura 2.11 Disposición de diferentes tipos de llenado del molde. ....	33
Figura 2.12 Altura del bebedero.....	35
Figura 2.13 Dimensiones del embudo.....	36
Figura 2.14 Dimensionamiento del pozo de colado.....	36
Figura 2.15 Canales de colado y ataque.....	37
Figura 2.16 Caja modelo.....	39
Figura 2.17 Moldura.....	40
Figura 2.18 Fundición de lingotes cúbicos. ....	43
Figura 2.19 Introducción de carga de aluminio en el crisol del horno a gas. ....	46
Figura 2.20 Extracción de piezas cilíndricas del material fundido. ....	46
Figura 2.21 Probetas obtenidas del mecanizado de las piezas cilíndricas. ....	47
Figura 3.1 Porosidad presente en la pieza fundida ....	49
Figura 3.2 Porosidad presente en la probeta del ensayo de tracción. ....	49
Figura 3.3 Porosidad presente en la probeta del ensayo de microestructura ....	50
Figura 3.4 Análisis del ensayo de resistencia a la tracción.....	52
Figura 3.5 Análisis del ensayo de dureza.....	53
Figura 3.6 Dureza vs. Resistencia a la tracción. ....	54
Figura 3.7 Micrografías de la probeta M36A2 de la investigación de Mendoza & Oña	58
Figura 3.8 Micrografías de la probeta 21040-I.....	58
Figura 3.9 Resistencia a la tracción vs. Porcentaje de porosidad.....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características de diagramas de fase binarios de Al con metales de transición usados en aleaciones de aluminio, también como elementos aleantes o adiciones auxiliares .....	3
Tabla 1.2 Composiciones, propiedades mecánicas y aplicaciones de algunas aleaciones de aluminio comunes .....	7
Tabla 1.3 Composición química de aleación AK5M .....	8
Tabla 1.4 Elementos de la mesa vibratoria .....	15
Tabla 2.1 Composición química de la aleación AK5M.....	23
Tabla 2.2 Descripción de la probeta de tracción según el estándar ASTM E8 / E8M ..	24
Tabla 2.3 Tolerancia de contracción en metales.....	27
Tabla 2.4 Tolerancias de mecanizado para fundición en arena. ....	28
Tabla 2.5 Valores del factor de eficiencia son .....	34
Tabla 2.6 Relaciones más comunes de áreas de colado para aluminio. ....	37
Tabla 2.7 Distancia admisible del molde y las piezas.....	38
Tabla 2.8 Dimensiones de la caja modelo.....	39
Tabla 2.9 Valores de resina utilizado para las cajas modelo utilizadas. ....	41
Tabla 2.10 Parámetros a utilizar en la mesa vibratoria.....	41
Tabla 2.11 Variables a utilizar en el proceso de fundición.....	42
Tabla 2.12 Composición química de las muestras fundidas obtenidas de los pistones automotrices. ....	43
Tabla 2.13 Porcentaje de quemado de elementos. ....	44
Tabla 2.14 Material requerido para obtener la aleación AK5M.....	44
Tabla 2.15 Cálculo de cargas .....	45
Tabla 3.1 Resultados obtenidos del ensayo de composición química.....	50
Tabla 3.2 Análisis ensayo de tracción.....	51
Tabla 3.3 Análisis ensayo de dureza .....	53
Tabla 3.4 Resultados obtenidos del ensayo de microestructura .....	54
Tabla 3.5 Resultados obtenidos de las pruebas de porcentaje de porosidad mediante el método de densidad relativa. ....	59
Tabla 3.6 Resultados obtenidos de las pruebas de porcentaje de porosidad mediante el método análisis fotográfico.....	60
Tabla 3.7 Matriz comparativa.....	62

## RESUMEN

El presente documento tiene por objetivo analizar el efecto de la variación de fundentes y desgasificantes en la aleación de aluminio AK5M obtenida mediante colado dinámico. Para esto se fabricó 10 moldes a base de arena sílice y resina de los cuales se obtuvo 3 probetas por cada molde; para cada uno de estos se realizó una colada diferente, variando el porcentaje en peso de fundentes y desgasificantes y la aplicación del insuflado de argón, mientras que el colado dinámico se llevó a cabo con una frecuencia y amplitud constantes de 12 Hz y 93  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

Mediante la caracterización de la aleación, los resultados obtenidos de los ensayos de tracción, dureza, composición química y microestructura, evidenciaron que el uso simultáneo de fundentes, desgasificantes, colado dinámico e insuflado de argón, permite la obtención de un material con características similares a las de la aleación AK5M y superiores a las de la probeta M36A2 obtenida en la investigación de Mendoza & Oña (mejores resultados); y a su vez con un porcentaje bajo de porosidad determinado mediante los análisis de densidad relativa y fotográfico.

**Palabras clave:** aleación AK5M, fundentes, desgasificantes, colado dinámico, porosidad.

## ABSTRACT

The objective of this research is to analyze the effect of the variation of fluxes and degassing agents in the AK5M aluminum alloy obtained by dynamic casting. Were manufactured 10 silica sand and resin molds, from which 3 samples were obtained for each mold. For each of these, a different casting was carried out, varying the percentage by weight of fluxes and degassing agents and the application of argon insufflation, while the dynamic casting was carried out with a constant frequency and amplitude of 12 Hz and 93  $\mu\text{m}$ , respectively.

Through the characterization of the alloy, the results obtained from the tensile, hardness, chemical composition and microstructure tests showed that the simultaneous use of fluxes, degassing agents, dynamic casting and argon blowing, allows obtaining a material with characteristics similar to those of the AK5M alloy and higher than those of the M36A2 test piece obtained in the Mendoza & Oña investigation (best results); and in turn with a low percentage of porosity determined by relative density and photographic analysis.

**Keywords:** AK5M alloy, fluxes, degassing, dynamic casting, porosity.

# **EFFECTO DE LA VARIACIÓN DE FUNDENTES Y DESGASIFICANTES EN LA ALEACIÓN DE ALUMINIO AK5M OBTENIDA MEDIANTE COLADO DINÁMICO**

## **INTRODUCCIÓN**

Desde el desarrollo de la tecnología de fundición en el Ecuador hasta la fecha, no se han evidenciado avances en cuanto a la producción de fundiciones de aluminio y sus aleaciones, por lo que en su mayoría estas presentan defectos, ya sea en su estructura, acabado superficial, propiedades mecánicas, entre otros. Es de notable importancia ver como la producción ecuatoriana se fundamenta en la manufactura de productos a base de Hierro Gris, mientras que las fundiciones no ferrosas entre ellas el aluminio y sus aleaciones representa solamente el 5% de la producción total. Es por esta razón que la gran mayoría de piezas de aluminio usadas en industrias tales como, la automovilística, marina y arquitectónica, no son producidas por la industria nacional. [1] [2] [3]

Las aleaciones de aluminio se caracterizan por tener gran afinidad con el hidrogeno durante el proceso de fundición. Es por esta razón que se observa gran cantidad de discontinuidades presentes en una pieza fundida tales como poros, microrechupes o inclusiones. Existen métodos que buscan disminuir la presencia de dichas discontinuidades, entre ellos: el colado dinámico, el uso de fundentes y la aplicación de desgasificantes.[1] [3]

La manufactura de piezas de aluminio a nivel mundial ha ido en aumento considerando sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Es así que se busca mejorar dichas propiedades y a su vez disminuir uno de los grandes problemas característicos que presentan las aleaciones de aluminio, la porosidad. [4]

La tecnología usada en el colado dinámico mediante el uso de una mesa vibratoria ha presentado resultados favorables en la disminución de poros y rechupes en materiales ferrosos y no ferrosos. Con el objetivo de lograr una homogeneización mayor de la aleación, durante la etapa de solidificación son aplicadas vibraciones mecánicas, obteniendo así una fundición con propiedades mejores. [1] [5]

Investigaciones previas han demostrado que la utilización de vibraciones mecánicas si bien logran una mejora de las propiedades de la aleación AK5M, no se logra contrarrestar el efecto de la alta solubilidad del hidrógeno en el Aluminio, la cual es la causa principal del desarrollo de porosidades y discontinuidades en el material. Por otra parte, se ha comprobado que la aplicación de desgasificantes y la utilización de

fundentes químicos, permiten reducir el número de inclusiones y porosidades sin alterar la composición química de la aleación.

Para lograr los objetivos de estudio propuestos en el presente trabajo de titulación, se plantea aplicar diferentes concentraciones de fundentes y desgasificantes durante el proceso de fundición del material. Se empleará el método de colado dinámico, utilizando una determinada frecuencia y amplitud en la mesa vibratoria.

Se ha seleccionado la aleación de aluminio AK5M, debido a que los componentes que la conforman, se pueden encontrar fácilmente en el medio.

Se obtendrá varias probetas de la aleación de aluminio AK5M, para su posterior análisis de porcentaje de porosidad, con el propósito de comprobar el beneficio de aplicar fundentes y desgasificantes.

Adicionalmente, se estudiará las características del material, para realizar un análisis comparativo de las propiedades obtenidas entre el método empleado y métodos convencionales de fundición.

Una vez analizados los resultados, se establecerá un procedimiento que logre disminuir el porcentaje de porosidad en la aleación AK5M.

Este trabajo de investigación toma en cuenta la necesidad de desarrollo de la industria fundidora artesanal en el Ecuador y de la creciente demanda de piezas de aluminio, presentando una alternativa que permitirá disminuir las porosidades características del aluminio y sus aleaciones, para lograr que el material cumpla con estándares de calidad demandados por la industria.

De esta manera se busca que las fundidoras artesanales nacionales pongan en práctica un control técnico del proceso, desarrollando tecnologías que permitan mejorar la calidad de producción, dando una mayor cabida de sus productos en el mercado ecuatoriano.

## **Objetivo general**

Analizar el efecto de la variación de fundentes y desgasificantes en la aleación de aluminio AK5M obtenida mediante colado dinámico

## **Objetivos específicos**

- Caracterizar la aleación de aluminio obtenida mediante los diferentes procesos de fundición empleados.

- Realizar pruebas de cantidad de porosidad a la aleación de aluminio obtenida en cada proceso de fundición empleado, mediante los métodos de análisis de densidad relativa y análisis fotográfico.
- Determinar las propiedades mecánicas y microestructurales de la aleación de aluminio obtenida de cada proceso de fundición empleado, mediante ensayos destructivos y no destructivos.
- Realizar una matriz comparativa de los diferentes procesos de fundición empleados para establecer los parámetros en los que se presentó menor porosidad en el material.
- Establecer un procedimiento para disminuir el porcentaje de porosidades de una aleación de aluminio obtenida mediante colado dinámico.



# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Aleaciones de aluminio fundidas

Actualmente existen varias aleaciones de aluminio, usadas en las diferentes industrias, tales como la industria automotriz, aeroespacial, etc. La mayoría de las aleaciones de aluminio contienen similares elementos de aleación, estos desempeñan funciones diferentes y se los puede clasificar en tres grupos:

- Elementos de aleación principales
- Elementos de adición auxiliar
- Impurezas

Por lo general los más usados son el magnesio, zinc, cobre y silicio; constituyendo estos elementos de aleación básicos, los cuales especifican las propiedades y microestructura de la aleación. De estos cuatro elementos principales el magnesio es el principal, ya que este puede encontrarse en mayores concentraciones en las aleaciones de aluminio, definiendo así la resistencia de las mismas. Es posible introducir cantidades relativamente grandes en las aleaciones, ya que los elementos de aleación principales tienen una solubilidad alta en el aluminio. La solubilidad máxima es mayor al 1% para los siguientes elementos: germanio, silicio, magnesio, cobre, plata, litio y manganeso. Estos elementos forman diagramas de fase eutéctica con el aluminio, como se puede observar la Figura 1.1.

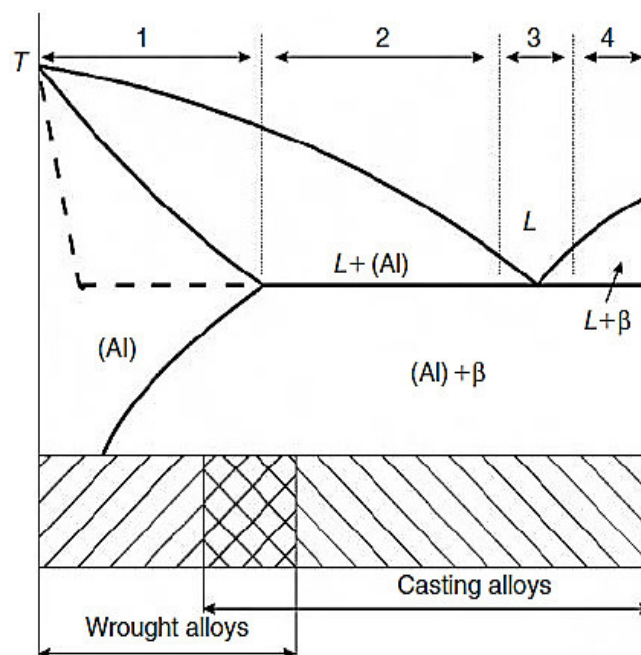


Figura 1.1 Esquema de diagrama de fase binario Al-B de tipo eutéctico (Fuente: [6])

Las aleaciones de aluminio obtenidas mediante procesos de fundición se pueden clasificar en cuatro grupos principales:

- Aleaciones de solución sólida
- Aleaciones hipo eutécticas
- Aleaciones eutécticas
- Aleaciones híper eutécticas

En cuanto a los elementos de adición auxiliares, la mayoría de las aleaciones industriales contienen uno o más de estos elementos en concentraciones que van desde 10-2% hasta concentraciones de 10-1%; por lo general, se trata de tierras raras y metales de transición como vanadio, manganeso, cromo, escandio, titanio, hierro, cerio y níquel, así también de berilio, cadmio y boro. Estos elementos junto con el aluminio forman diagramas de fase como eutécticos cuya solubilidad en aluminio es muy baja como se observa en la Figura 1.1 y peritéticos cuya solubilidad puede ser del 0,1% o mayor, tal como se observa en el diagrama de la Figura 1.2.

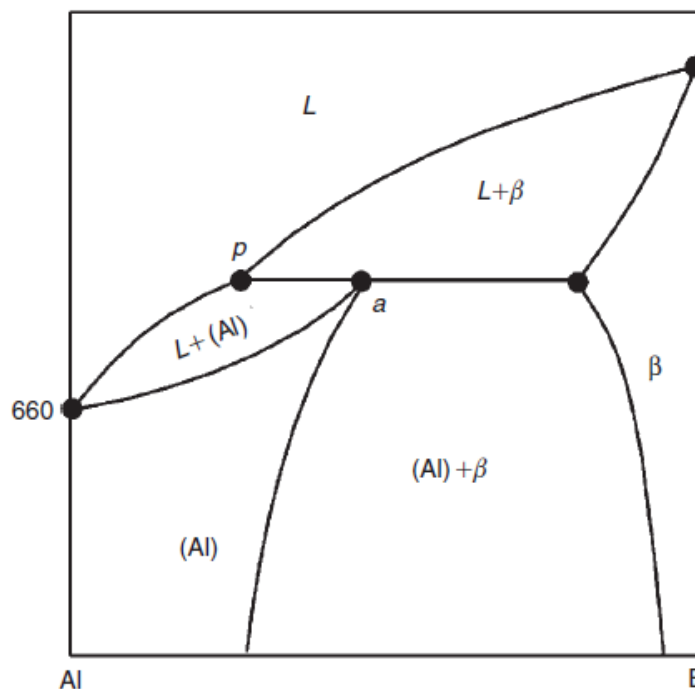


Figura 1.2 Esquema de diagrama de fase binario Al-B de tipo peritético  
(Fuente: [6])

La Tabla 1.1 muestra los principales parámetros de los diagramas de fase correspondientes para metales de transición y metales de tierras raras comúnmente utilizados como aditivos para aleaciones de aluminio.

Tabla 1.1 Características de diagramas de fase binarios de Al con metales de transición usados en aleaciones de aluminio, también como elementos aleantes o adiciones auxiliares

N°	Elementos aleantes (tipo de diagrama de fase) <sup>d</sup>	C <sub>a</sub> <sup>a</sup>		C <sub>e,p</sub> <sup>b</sup>		T <sub>e,p</sub> <sup>c</sup> (°C)	Fase en equilibrio con (Al) (Contenido del segundo componente, masa%)
		Mass %	At. %	Mass %	At. %		
1	Fe (e)	0.05	0.03	1.8	0.9	655	FeAl <sub>3</sub> (40% Fe)
2	Ni (e)	0.04	0.02	6.0	2.8	640	NiAl <sub>3</sub> (42% Ni)
3	Ce (e)	0.05	0.01	12	2.6	650	CeAl <sub>4</sub> (57% Ce)
4	Mn (e)	1.8	0.89	1.9	0.91	658	MnAl <sub>6</sub> (25% Mn)
5	Sc (e)	0.3	0.2	0.6	0.4	655	ScAl <sub>3</sub> (36% Sc)
6	Ti (p)	1.3	0.8	0.12	0.08	661	TiAl <sub>3</sub> (37% Ti)
7	Zr (p)	0.28	0.1	0.11	0.04	661	ZrAl <sub>3</sub> (53% Zr)
8	Cr(p)	0.8	0.4	0.4	0.2	661	CrAl <sub>7</sub> (22% Cr)

(Fuente: [6])

Donde:

- Limite de solubilidad a una temperatura eutectica (e) o peritectica (p)
- Concentración en el punto eutectico o peritectico
- Temperatura de solidificación eutectica o peritectica
- e: Eutectico, p: peritectico

Por último, las impurezas pueden ser introducidas en las aleaciones a través de equipos, moldes, etc.; es decir, durante el proceso de fundición. El hierro y el silicio comprenden los elementos más dañinos a menos que estos se utilicen controladamente, esto se debe a que las partículas de hierro y silicio afectan negativamente a las propiedades de la aleación tales como su flexibilidad, tenacidad y fatiga. Es por esto que resulta de vital importancia el uso de materiales con alta pureza en aplicaciones aeroespaciales y militares.

No existe un sistema de codificación para las aleaciones de aluminio en el mundo. Sin embargo, el método de designación creado por la Aluminium Association es el más común. Las aleaciones de fundición se clasifican acorde con un sistema de tres dígitos, con un número después del punto decimal; el primer número es la composición principal de la aleación, el segundo y tercer número son números aleatorios, que se utilizan para especificar una aleación única en una serie específica y el cuarto Los números indican el método de fabricación de la

aleación, donde (0) significa fundición y (1, 2) lingotes. Por lo tanto, la aleación (Al-Si) se determina de la siguiente manera:

- 3xx.x Aluminio - Silicio con Magnesio y/o Cobre
- 4xx.x Aluminio - Silicio

## 1.2. Microestructura y modificación de la aleación Al Si

La familia de aleaciones (Al-Si) es considerada la más importante de las aleaciones fundidas, y es por esta razón que más del 85% de la producción de fundición de aluminio pertenece a esta familia. En la aleación (Al-Si), la microestructura está formada por:

- Fase primaria (la aleación hipoeutéctica es una matriz de dendrita  $\alpha$ -Al, la aleación hipereutéctica es Si primario).
- La fase eutéctica de Al-Si formada en el espacio restante está controlada principalmente por la velocidad de enfriamiento.
- Los otros componentes de la microestructura son fases ricas en Mg, Ni, Fe y Cu.

Se debe recalcar que casi todas las aleaciones de aluminio contienen fases eutécticas en su microestructura debido a la solidificación desequilibrada y la segregación de los elementos químicos que componen la aleación. Para las aleaciones (Al-Si), dependiendo del tipo de aleación, la fracción volumétrica de la fase eutéctica puede estar entre el 40% y el 100% de la composición total de la colada; hipoeutéctica, eutéctica o hipereutéctica. El silicio representa el principal elemento de aleación en la mayoría de las aleaciones de fundición de aluminio, y existe principalmente en forma eutéctica. Debido a su estructura altamente ordenada, el silicio requiere mucha energía para fundirse; por lo tanto, las aleaciones ricas en silicio requieren un tiempo de solidificación más largo y, por lo tanto, tienen una mejor capacidad de fusión, fluidez y alimentación interdendrítica durante el proceso de fundición.

Una vez completado el llenado del molde, el metal fundido comienza a solidificarse. Los cristales equiaxiales de la fase  $\alpha$  comienzan a nuclearse en la pared fría del molde a medida que la temperatura del líquido cercano desciende rápidamente por debajo del punto líquido, estos son de forma columnar o tipo escritura china. Mientras que cuando la temperatura desciende con menor velocidad se forman estructuras en forma de aguja o cristales facetados.

La Figura 1.3 muestra la microestructura típica de Al con Si hipoeutéctica.



Figura 1.3 Microestructura típica de Al con Si hipoeutéctico  
(Fuente: [7])

Las inclusiones también pueden desarrollarse en la microestructura, las más importantes son las fases ricas en Fe, ya que estos siempre se encuentran presentes incluso en el aluminio puro. La Figura 1.4 muestra la microestructura típica de un aluminio hipoeutéctico.

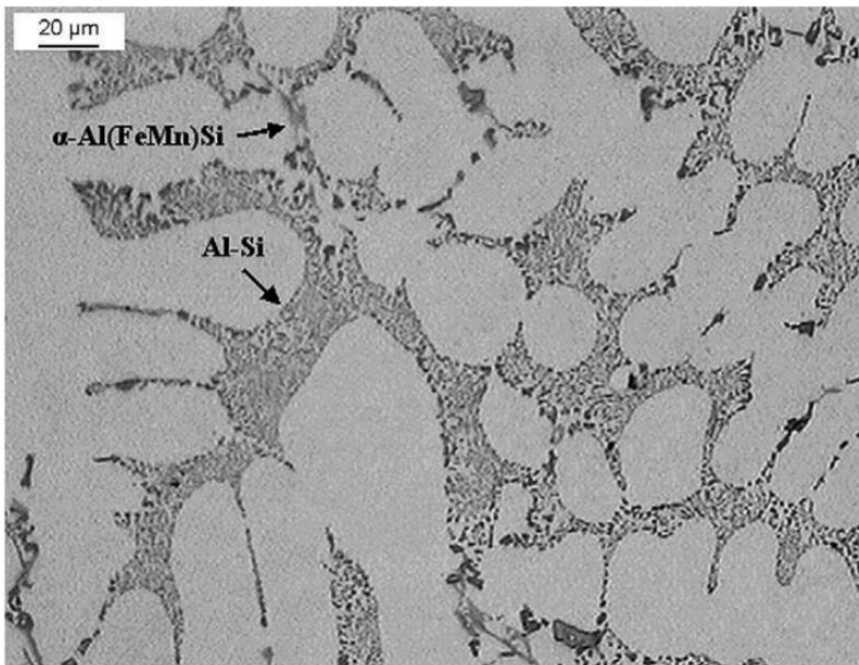


Figura 1.4 Microestructura de Al con Si eutéctico, Al dendrítico e inclusiones  
(Fuente:[8])

En cuanto a la modificación de la aleación Al Si, existen distintas variables que determinaran la microestructura final de la aleación, tales como: el modificador, velocidad de enfriamiento, impurezas presentes y el contenido de silicio.

Según American Foundry Society las modificaciones en aleaciones de aluminio hipoeutéctica se pueden clasificar en 6 desde 1 “estructura no modificada” hasta 6 “estructura muy fina”, las cuales se pueden observar en la Figura 1.5.

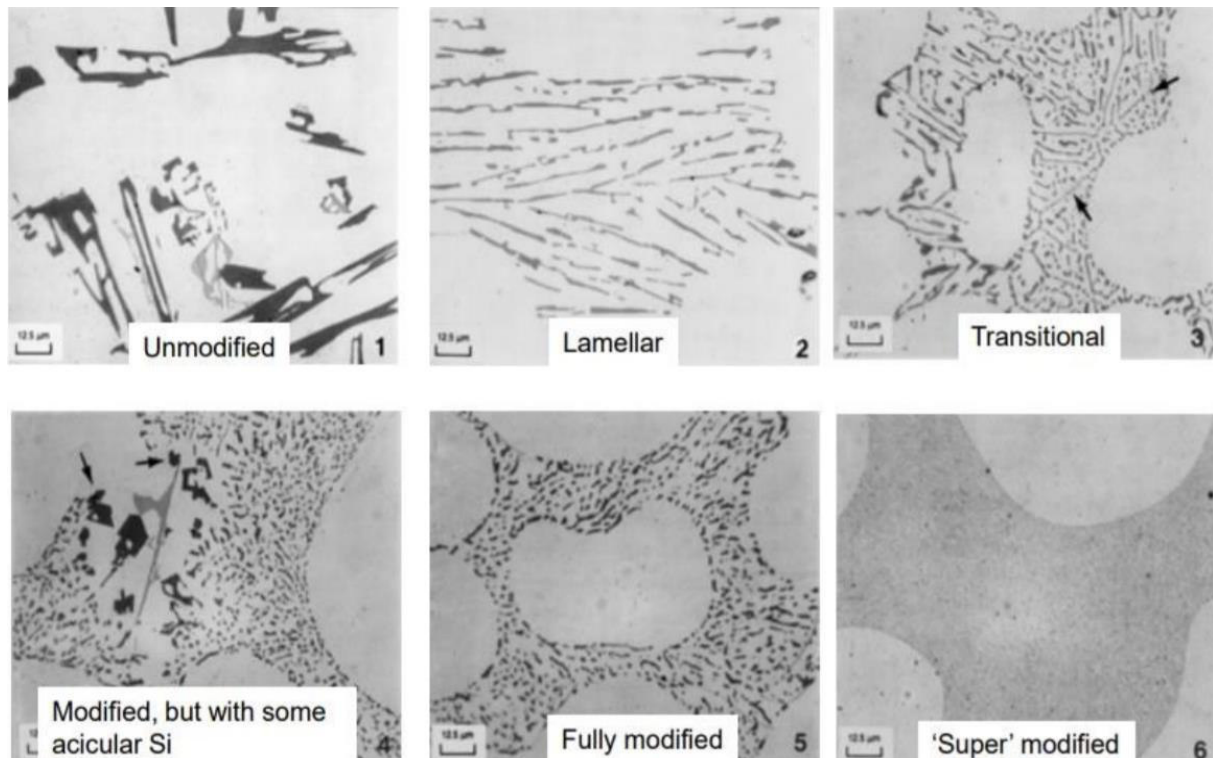


Figura 1.5 Clasificación sistema de modificación por niveles  
(Fuente: [8])

Es importante señalar que, a pesar de que la modificación eutéctica es asociada con la mejora de las propiedades mecánicas, se opte por no ejecutar este tratamiento, ya que se obtiene piezas con una mayor porosidad.

### 1.3. Aplicaciones de la aleación Al Si

El aluminio y sus aleaciones presentan propiedades como una alta resistencia a la corrosión, elevada conductividad térmica, al igual que la conductividad eléctrica, además de una densidad relativamente baja de 2,7 g/cm<sup>3</sup>; así también se destaca la fácil formación de estas aleaciones debido a su alta ductilidad. La composición, propiedades y aplicaciones de las diversas aleaciones forjadas y fundidas se detallan en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Composiciones, propiedades mecánicas y aplicaciones de algunas aleaciones de aluminio comunes

Serie Aluminium Association	Numero UNS	Composicion (% en peso)				Condicion	Propiedades mecanicas			Aplicaciones tipicas
		Cu	Mg	Mn	Otros		Resistencia a la traccion (psi x 10 <sup>3</sup> Mpa)	Limite elastico (psi x 10 <sup>5</sup> Mpa)	Ductilidad (% El. En 2 pulg)	
Aleaciones hechurables no tratables termicamente										
1100	A91100	0.12			0.25 Cr	Recocido	13 (90)	5 (34)	35	Planchisteria
3003	A93003	0.12		1.2		Recocido	16 (110)	6 (42)	30	Utensilios cocina
5052	A95052		2.5			Recocido	28 (195)	13 (90)	25	Partes de autos y camiones
Aleaciones hechurables tratables termicamente										
2014	A92014	4.4	5	0.8	0.8Si	Tratamiento termico	70 (485)	60 (415)	13	Estructuras generales
6061	A96061	0.3	1.0		0.6Si, 0.2Cr	Tratamiento termico	45 (310)	40 (275)	12	Camiones, torres, muebles
7075	A97075	1.6	2.5		5.6Zn, 0.23 Cr	Tratamiento termico	83 (580)	73 (505)	11	Partes estructurales de aviones
Aleaciones moldeables tratables termicamente										
295.0	A02950	4.5			1.1Si	Tratamiento termico	36 (250)	24 (165)	5	Carter de motor, ruedas de avion
356.0	A03560		0.3		7.0Si	Tratameinto termico	33 (230)	24 (165)	4	Bloques de cilindros enfriados por agua

(Fuente: [9])

Entre los usos más frecuentes de las aleaciones de aluminio se destaca su uso en piezas estructurales de aviones, latas de bebidas, carrocerías de autobuses y piezas de automóviles como bloques de motor, pistones y colectores.

En la actualidad las aleaciones de aluminio son usadas como materiales de ingeniería para el transporte y la mejora de su eficiencia energética. Una propiedad importante de estos materiales es su resistencia específica. Estas aleaciones pueden tener menor resistencia a la tracción que los materiales más densos, pero pueden soportar cargas más altas, dependiendo de su peso.

#### 1.4. Aleación AK5M

La microestructura de las aleaciones de la familia AK5M está compuesta principalmente de: dendritas de aluminio y el componente eutéctico (Al-Si). En la Figura 1.6 se observa partículas ubicadas a lo largo de los límites de grano en formas esqueléticas, estas representan las fases Al<sub>2</sub>Cu, Al<sub>5</sub>Cu<sub>2</sub>MgSi<sub>6</sub> y Mg<sub>2</sub>Si.



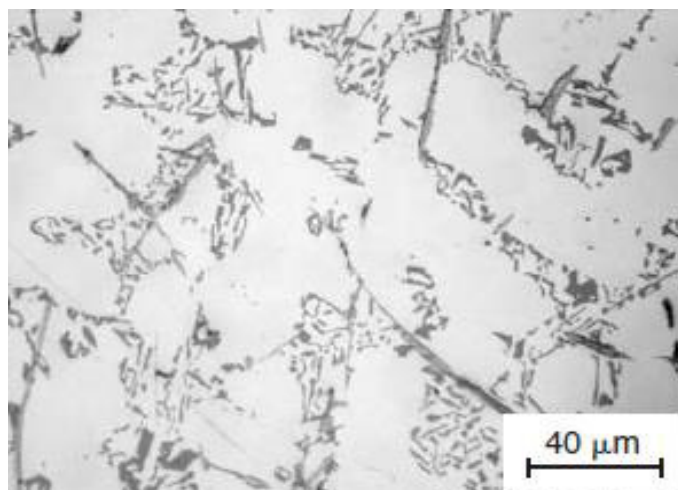


Figura 1.6 Microestructura de la familia AK5M  
(Fuente: [10])

La aleación AK5M se fabrica a partir de componentes primarios. Las propiedades mecánicas y de función de la aleación, están por debajo de las aleaciones del tipo AK7 y AK9. Es por esta razón que posee una aplicación limitada en la industria, principalmente en las áreas automotriz y aeroespacial, culatas de cilindros de motor, que trabajen a temperaturas no superiores a 250 ° C, la Tabla 1.3 detalla la composición de la aleación.

Tabla 1.3 Composición química de aleación AK5M

Aleación	Concentraciones (%)						
	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Zn	Otros elementos
AK5M (Al5Si1Cu)	4.5 - 5.5	1-1,5	0.35-0.65	1	0.5	0.3	-

(Fuente: [10])

La aleación AK5M se puede obtener por medio de diferentes métodos de fundición tales como: fundición mediante presión, fundición en arena y fundición por gravedad. Las características principales de esta aleación son la maquinabilidad, resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y soldabilidad. [11]

## 1.5. Proceso de fundición

Consiste en el vertido de metal fundido por medio de un sistema de canales a través de una cavidad en condiciones controladas. La forma final de la pieza fundida la proporciona el molde que es básicamente una cavidad con la forma del componente a fundir y que está dimensionada para compensar los cambios dimensionales por contracción que ocurren cuando la aleación se solidifica y enfría a temperatura ambiente. El proceso de fundición se presenta en la Figura 1.7.



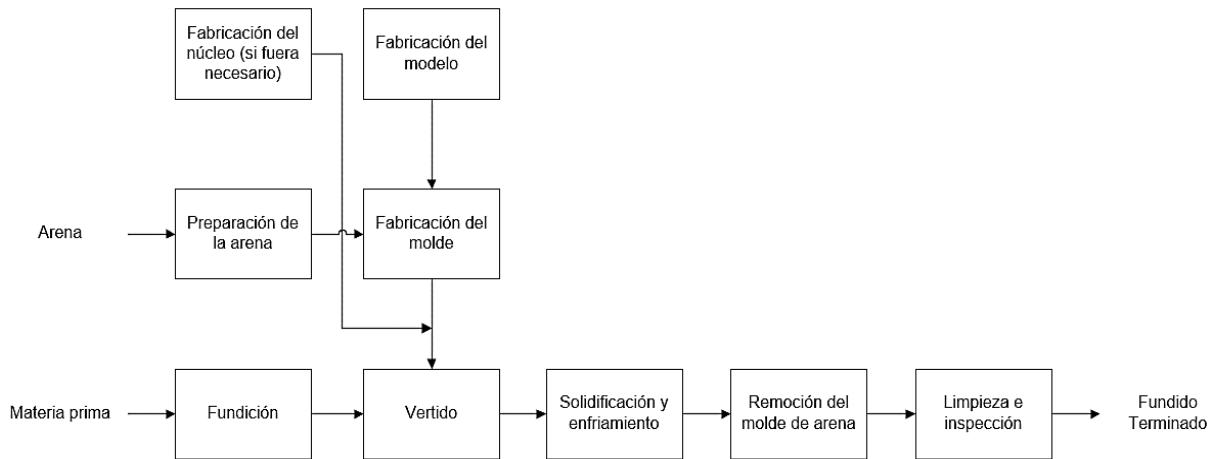


Figura 1.7 Secuencia de pasos para producción de piezas en fundición con arena.  
(Fuente: [12])

## 1.5.1. Fundición por colado estático

### 1.5.1.1 Fundición en molde desechable

#### 1.5.1.1.1 Molde, modelo y moldeado

Existe una variedad de procesos de fundición por molde desechable, tales como:

- Fundición en arena
- Moldeo de cascara
- Moldeo al vacío
- Por espuma perdida
- Fundición de inversión

En todos estos procesos, el molde desechable se prepara apuntalando un material refractario alrededor de un modelo que determina la forma de la moldura o cavidad del molde. Estos métodos se diferencian por la composición del material o a su vez la manera de obtener el modelo. El moldeado en arena, el moldeado en cáscara, el moldeado al vacío y otros procesos de moldeado similares emplean patrones reutilizables. Para ser reutilizable, el modelo está hecho típicamente de un material que es lo suficientemente duradero como la madera para permitir la consolidación repetida del refractario y tiene una forma que permite la extracción del molde refractario consolidado. Para permitir la extracción del patrón del molde, se selecciona un plano de separación que divide la cavidad en dos o más partes. Condicionalmente el patrón crea la forma externa de la pieza fundida, como se observa en la Figura 1.8. [13]

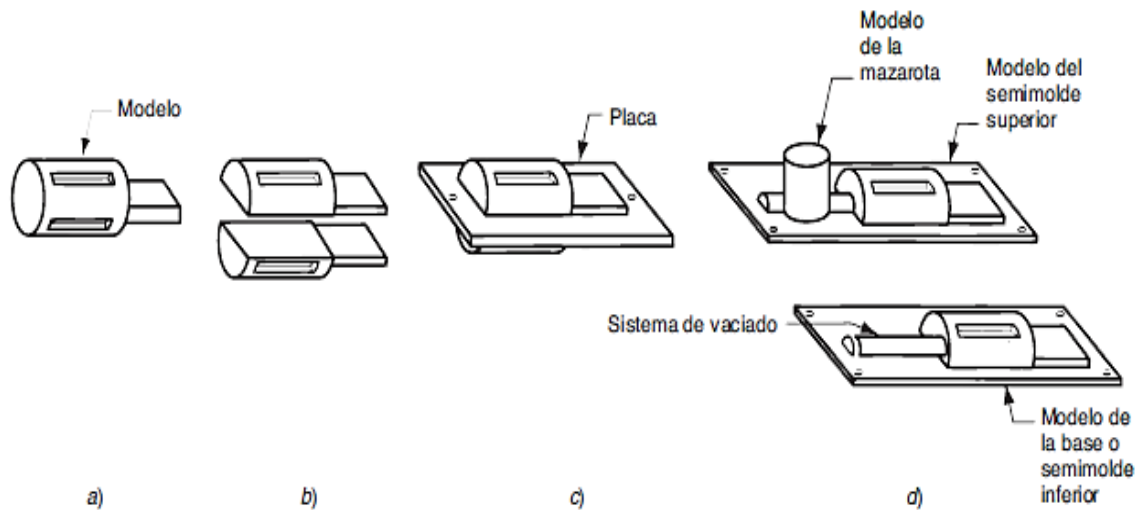


Figura 1.8 Modelos empleados en la producción de piezas fundidas en moldes de arena: a) Fijo, b) Deslizante, c) De placas ajustadas, y d) De capucha y base (Fuente: [13])

Las características internas, como los huecos, las cavidades internas, los orificios y otras muescas, están formadas por núcleos. Un núcleo es un modelo a escala completa que se coloca en la vacío del molde después de que se remueve el patrón y están soportados por impresiones de núcleos y por coronillas. En la Figura 1.9 se observa la disposición del núcleo para la formación de cavidades.

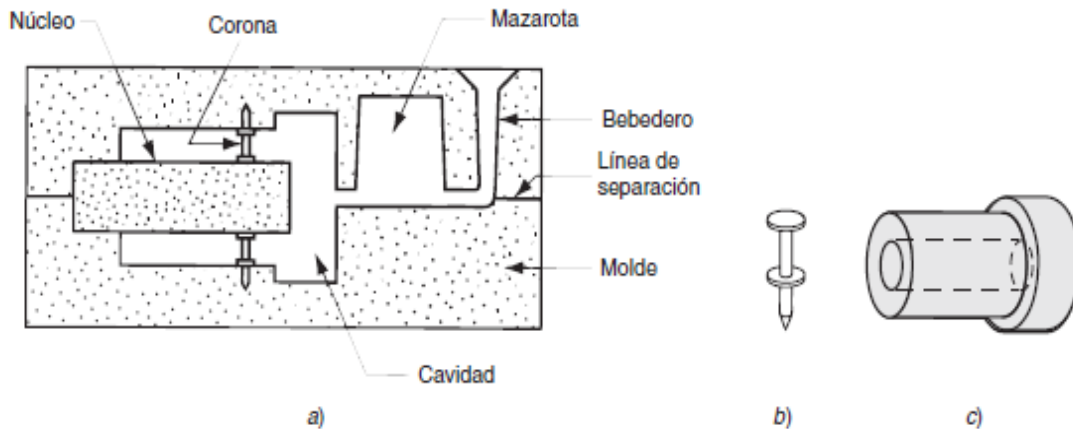


Figura 1.9 a) Núcleo dentro de la cavidad del molde sostenido por medio de coronas, b) Posible diseño de las coronas, c) Pieza fundida con cavidad interna (Fuente: [13])

El proceso de fabricación del molde consiste en obtener una mezcla de arena con agua y arcilla en los siguientes porcentajes 90% en volumen de arena, 7% de arcilla y 3% de agua; mientras que para mantener la consistencia de la mezcla se usan agentes adhesivos tales como, resinas y aglutinantes.

Tradicionalmente el proceso que se realiza para formar la moldura o cavidad del molde, consiste en apisonar o compactar la arena en torno al modelo, en un contenedor denominado como caja de moldeo. La compactación de arena se realiza con diferentes métodos, el más sencillo consiste en golpear de forma manual.

La calidad del molde puede ser medida mediante los siguientes indicadores:

- 1) Resistencia: es la capacidad del molde para conservar su forma
- 2) Permeabilidad: es la capacidad del molde para permitir el paso de aire y gases calientes a través de los vacíos de la arena
- 3) Estabilidad térmica: Capacidad para oponer resistencia al agrietamiento y a la deformación al entrar en contacto con el material fundido
- 4) Colapsabilidad: Fácil retiro del molde permitiendo que la pieza fundida se contraiga evitando el agrietamiento

Según sus componentes los moldes de arena se pueden clasificar como:

- Moldes arena verde: elaborados con una mezcla de arena, arcilla y agua
- Moldes arena seca: elaborados con aglutinantes orgánicos, secados en un horno a temperaturas altas

#### **1.5.1.1.2 Fusión y solidificación**

En la fundición intervienen procesos importantes tales como, la fusión y la solidificación, en el caso de la fusión su impacto es mayor ya que este proceso influye directamente en la calidad de la pieza fundida. Este proceso consiste en abastecer los hornos con en metal, aleantes y materiales como fundentes y desgasificantes. Para este proceso los hornos más comúnmente usados son:

- Los hornos de arco eléctrico: son uno de los más usados en fundición ya que cuentan con ciertas ventajas como una alta capacidad de fusión, menor contaminación y capacidad de mantener el metal fundido.
- Los hornos de inducción: son útiles ya que estos pueden producir fusiones de composición controlada.
- Los hornos de crisol: pueden ser encendidos con combustibles, además de que se pueden activar con electricidad. Se clasifican en estacionarios, basculantes o móviles.
- Los cubilotes: se caracterizan por estar recubiertos de materiales refractarios, poseen capacidades altas de fusión y gran capacidad de fundición.

Otro aspecto importante del proceso de fundición es la solidificación esta se lleva a cabo una vez que el metal fundido es depositado en el molde, para posteriormente solidificarse y enfriarse; durante la ejecución de este proceso ocurre una serie de eventos que influyen altamente las propiedades de la pieza fundida. Existen factores que están relacionados directamente con estos eventos tales como las propiedades térmicas tanto del molde como del material, el tipo de metal, la relación geométrica y el diseño del molde.

(Kalpakjian & Schmid, 2008) En su libro afirman que “la solidificación en las aleaciones comienza cuando la temperatura desciende por debajo del líquido (TL) y termina cuando alcanza el sólido (TS); como se observa en la Figura 1.10. En este intervalo de temperaturas, la aleación se encuentra en un estado blando o pastoso que consiste en dendritas columnares.”

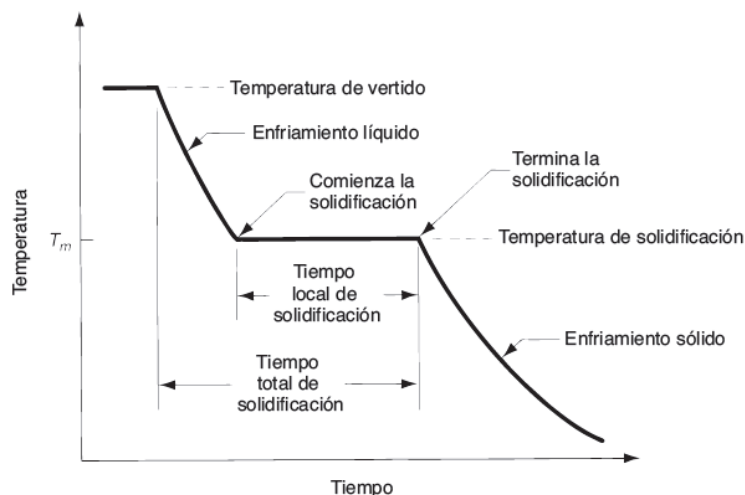


Figura 1.10 Curva de enfriamiento de un metal durante el proceso fundición (Fuente: [12])

Kalpakjian & Schmid. (2008) en su análisis definieron que:

El ancho de la zona pastosa donde coinciden las fases líquida y sólida es un factor importante durante la solidificación. Esta zona se describe en términos de una diferencia de temperatura, conocida como rango de solidificación o de congelamiento. Para las aleaciones, un rango de solidificación corto por lo común comprende una diferencia de temperatura de menos de 50 °C, y un rango de solidificación largo, más de 110 °C. En general, las fundiciones ferrosas tienen zonas pastosas estrechas, mientras que en las aleaciones de aluminio y de magnesio dichas zonas son amplias. Por lo tanto, estas aleaciones se encuentran en un estado pastoso durante la mayor parte del proceso de solidificación. [12]

$$\text{Rango de solidificación} = TL - TS \quad (1.1)$$

### 1.5.1.2 Fundición en molde permanente

En este proceso, el molde tiene la capacidad de abrirse y cerrarse con facilidad, al ser este fabricado de metal, por lo general de acero o hierro fundido. Se utilizan una variedad de diferentes procesos de fundición en molde permanente, tales como:

- Fundición en hueco
- Fundición a baja presión
- Fundición al vacío con molde permanente
- Fundición con troquel

En la Figura 1.11 se describe el proceso de fundición por molde permanente típico.

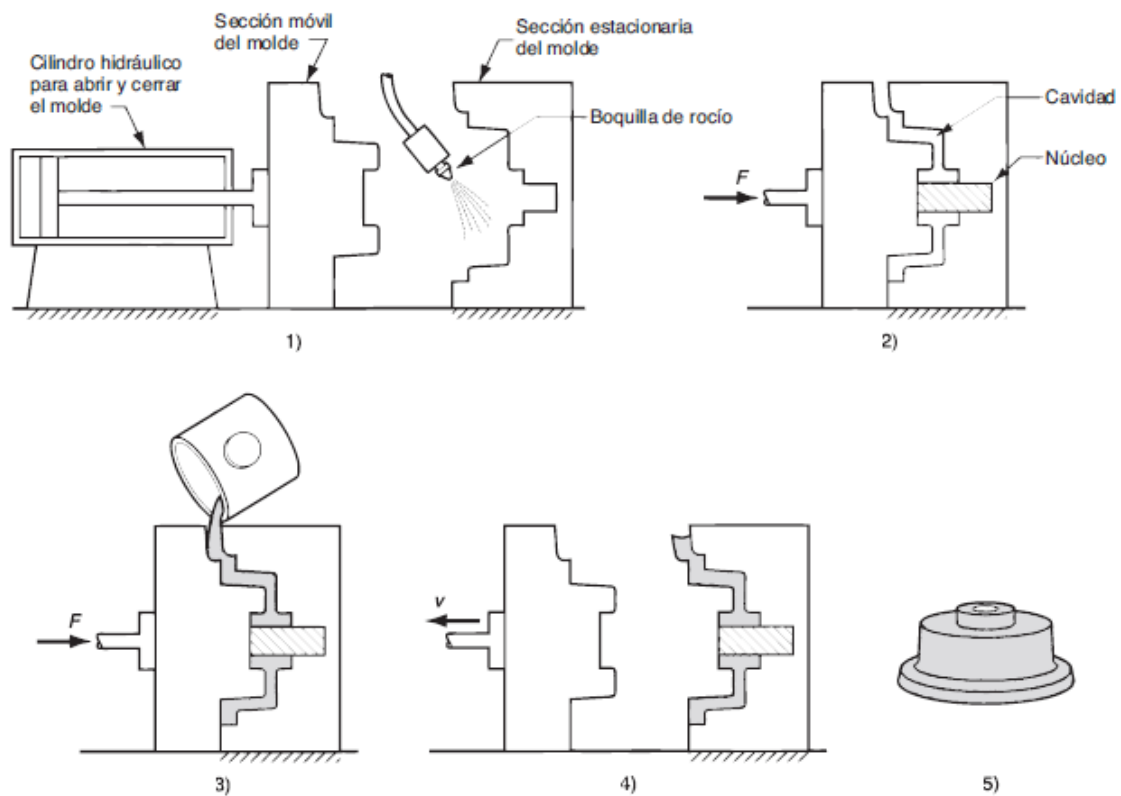


Figura 1.11 Etapas del vertido con moldes permanentes: 1) Precalentar y cubrir el molde, 2) Insertar los núcleos (si los hay) y cerrar el molde, 3) Verter el metal fundido en el molde, 4) Retirar la pieza del molde, 5) Pieza fundida obtenida (Fuente: [13])

### 1.5.2. Colado dinámico

El proceso de colado dinámico consiste en verter el metal fundido, durante el movimiento vertical de una mesa vibratoria logrando vibraciones, cuyo objetivo es minimizar los defectos en las piezas fundidas.

Promakhov et al. (2019), en su investigación definieron que:

El tratamiento por vibración es uno de los métodos de procesamiento de masa fundida más rentables que utilizan campos externos. Como se muestra en algunos estudios, el tratamiento por vibración de fundiciones metálicas tiene una serie de ventajas, incluida la desgasificación y la destrucción de las dendritas). Se demostró experimentalmente que la reducción del tamaño de grano aumenta con el aumento de la frecuencia de vibración hasta un cierto valor. [14]

Zhao et al. (2010) estudiaron:

Los efectos de la vibración mecánica, con diferentes picos de aceleración, sobre el tamaño y morfología de la fase  $\alpha$ -Al, y también sobre las propiedades mecánicas de las piezas fundidas. Los resultados indicaron que las dendritas de  $\alpha$ -Al crecen gradualmente en granos equiaxiales a medida que aumenta la aceleración máxima de la vibración. Cuando la aceleración máxima está entre aproximadamente 1 y 4 g, la distribución de fase de  $\alpha$ -Al es uniforme y, obviamente, se refina. Las dendritas de  $\alpha$ -Al se reducen y las propiedades mecánicas de las piezas fundidas mejoran significativamente en comparación con las de las piezas fundidas que se producen sin vibración. Sin embargo, cuando la aceleración máxima es superior a 4 g, una fuerte vibración conducirá a la formación de defectos, como la adherencia de la arena, mientras que aumentará la cantidad y el tamaño de los poros. Y debido al flujo turbulento causado por una fuerte vibración, la posibilidad de que se formen poros grandes en la matriz se ha incrementado significativamente. El aumento de defectos dará como resultado el deterioro de las propiedades mecánicas. [15]

### **1.5.2.1 Mesa vibratoria**

El laboratorio de fundición de la Escuela Politécnica Nacional cuenta con una mesa vibratoria donde se puede aplicar el proceso de colado dinámico. Esta mesa fue fabricada en 2014 y posteriormente repotenciada en 2018 y 2019; en la Tabla 1.4 se describe el sistema electromecánico que la compone.

Tabla 1.4 Elementos de la mesa vibratoria

Elemento	Función	Características
Motor Trifásico SIEMENS	Generar la suficiente potencia para girar el eje excéntrico.	Máxima revolución: 1020 RPM Voltaje: 220 V
Guarda motor	Proteger el motor si existe una descarga eléctrica.	Corriente admitida: 1,6 a 2,4V
Resortes	Generar el movimiento vertical de la mesa.	Carga aplicada: Carga a fatiga Constante del resorte: 47 Kg/cm Tipo de terminales del resorte: Rebajados a escuadra
Eje Excéntrico	Generar el movimiento vertical a la mesa.	-

(Fuente: [16])

El diagrama presentado en la Figura 1.12, detalla los elementos mecánicos que componen la mesa vibratoria.

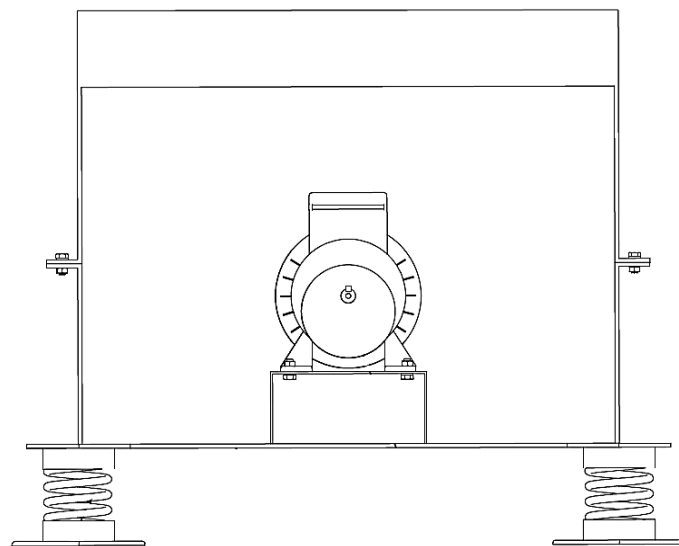


Figura 1.12 Esquema de la mesa vibratoria

(Fuente: [1])

La mesa vibradora está compuesta por:

1. Un motor trifásico con una masa excéntrica
2. Resortes
3. Soportes

La mesa vibratoria está diseñada para una resistencia estable a las vibraciones fijándola al suelo con un resorte amortiguador. Al conectar el motor directamente a la mesa vibratoria, la transmisión de vibraciones se dirige desde el motor al molde de arena.

Proaño & Sánchez de la Cruz (2014) en su investigación afirman que “la vibración de la mesa se la considera como un movimiento vibratorio forzado amortiguado debido a que es un sistema que posee elasticidad inducido por los resortes, y oscilaciones que son producto de una fuerza externa proporcionado por el disco excéntrico que viene conectado al motor de la máquina, el amortiguamiento es debido a la fricción que presenta el equipo con el aire circundante y al amortiguamiento histérico en los resortes”.

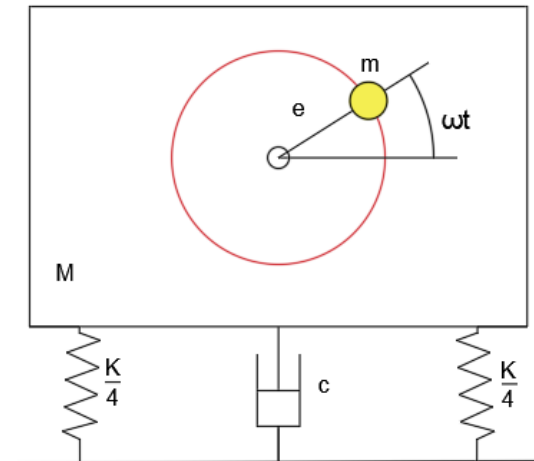


Figura 1.13 Esquema del sistema mesa-molde con movimiento vibratorio  
(Fuente: [1])

El estudio de Proaño & Sánchez de diseño de la mesa vibratoria recomienda variar la amplitud con el uso de tres discos excéntricos que otorgan los siguientes resultados de prueba, siendo  $A_i$  la amplitud.

- $A_1 = \pm 0.02$  cm
- $A_2 = \pm 0.07$  cm
- $A_3 = \pm 0.1$  cm

Es posible variar la amplitud de la mesa vibratoria cambiando únicamente la velocidad de trabajo del motor, no obstante, al requerir una velocidad constante el uso de los discos excéntricos permite variar la amplitud y mantener la frecuencia constante.

## 1.6. Defectos comunes en aleaciones de aluminio fundidas

### 1.6.1. Defectos por el proceso de fundición

Nos referimos a estos como defectos de fundición relacionados con el diseño porque involucran la geometría de fundición y, a menudo, pueden evitarse mediante un diseño adecuado del sistema de fundición y aparejo.



- La porosidad es un defecto de la fundición que suele aparecer como una red de pequeños huecos distribuidos en varias regiones de la fundición. La porosidad en el aluminio fundido es causada por burbujas de gas que quedan atrapadas en la aleación mientras esta se solidifica.
- Una cavidad de contracción es un gran vacío de forma irregular en el molde solidificado. Este defecto sucede cuando el abastecimiento de metal fundido se agota o no fluye lo suficiente para compensar la contracción por solidificación.
- El término corrimiento incorrecto se utiliza para describir situaciones en las que una región de la cavidad del molde no está completamente llena de metal. Este defecto ocurre generalmente porque el metal fundido se solidifica apresuradamente.
- Los cierres en frío generalmente se deben a una congelación prematura de metal que no se ha fusionado completamente.
- Lágrimas calientes, es un desprendimiento del metal que aparece como un desgarro o una grieta. El desgarro en caliente ocurre cuando el molde evita que la pieza se contraiga naturalmente a medida que se solidifica y enfría.
- Deformación y distorsión, el estrés se desarrolla cuando las regiones más delgadas y menos masivas se enfrían más rápido y, por lo tanto, se vuelven más fuertes y rígidas que las regiones adyacentes que son más masivas y, por lo tanto, se enfrían más lentamente.

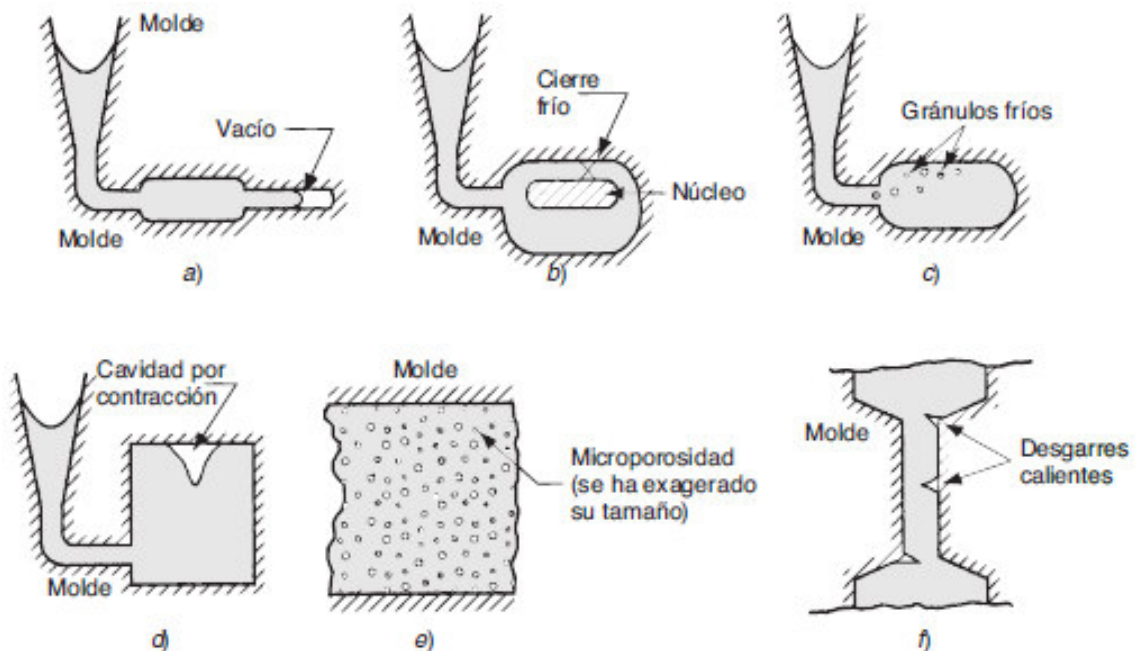


Figura 1.14 Defectos frecuentes en fundiciones, a) vacíos, b) cierre frío, c) granulos fríos, d) cavidad por contracción, e) microporosidad, f) desgarro caliente.  
(Fuente: [13])

### 1.6.2. Defectos debido al molde

Groover (2008), en su libro establece que:

Es común encontrar defectos ocasionados por el uso de moldes de arena, así como también en procesos con moldes desechables. En la Figura 1.15 se ilustran los defectos descritos a continuación:

- Sopladuras: Son cavidades llenas de gas en forma redonda, producida generalmente por los gases atrapados al interior del molde durante el vertido del metal fundido.
- Agujeros de pasador: Son producidos por la liberación de gases del molde durante el vertido, consisten en cavidades pequeñas agrupadas debajo de la superficie.
- Lavado de arena: Se trata de una irregularidad presente en la superficie del material fundido que se forma durante el vertido del material debido a la erosión del molde.
- Penetración: Sucede cuando el metal posee una gran fluidez y este penetra en el molde de arena.
- Desplazamiento del molde: Se produce por el movimiento del molde de manera lateral con relación a la base, dando como resultado una línea en la pieza fundida.
- Desplazamiento del núcleo: A diferencia del desplazamiento del molde, éste ocurre en el plano vertical.
- Agrietamiento del molde: Consiste en una grieta en el molde, en la que entra metal líquido y forma una rebaba al momento de solidificarse. [13]

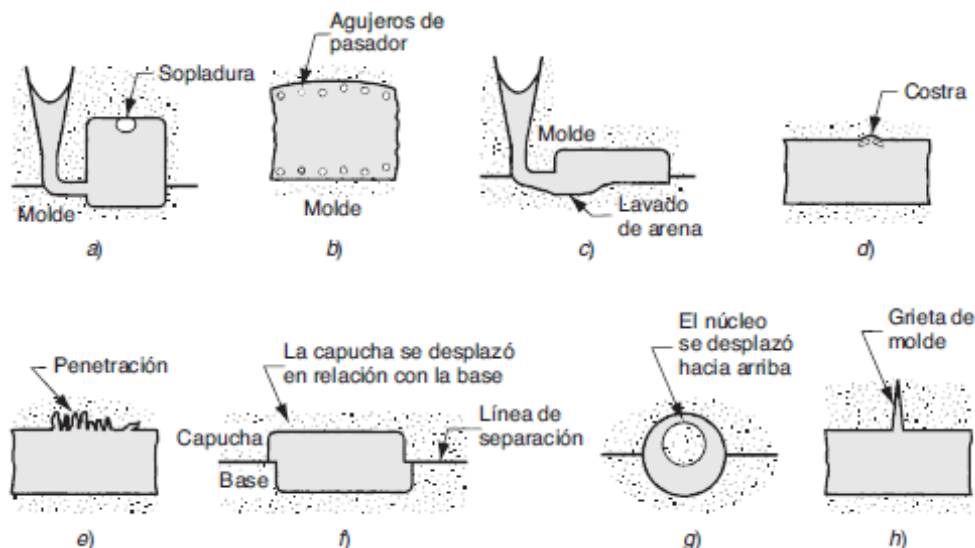


Figura 1.15 Defectos frecuentes en fundiciones con arena: a) Sopladura, b) Agujeros de pasador, c) Lavado de arena, d) Costras, e) Penetración, f) Desplazamiento del molde, g) Desplazamiento del núcleo y h) Agrietamientos del molde.

(Fuente: [13])

## 1.7. Porosidad presente en aleaciones de aluminio fundido

Kalpakjian & Schmid. (2008) definieron que:

La porosidad en una fundición puede ser ocasionada por contracción, gases, o por ambos. Se pueden desarrollar regiones porosas debido a la contracción del metal solidificado. Las secciones delgadas de una fundición se solidifican antes que las regiones gruesas; en consecuencia, el metal fundido fluye dentro de las regiones más gruesas que aún no se han solidificado. Las regiones porosas se pueden desarrollar en la parte central debido a la contracción, ya que la región más gruesa comienza a solidificarse primero. También puede desarrollarse microporosidad cuando el metal líquido se solidifica y contrae entre las dendritas y entre sus ramas.

Debido a que los metales líquidos tienen una solubilidad mucho mayor para los gases que los metales sólidos, cuando un metal comienza a solidificarse, los gases disueltos se expelen de la solución. [12]

El hidrógeno es el único gas con una considerable solubilidad en las fundiciones de aluminio. Se puede disolver fácilmente en grandes cantidades, por lo que es seguro decir que todas las fundiciones de aluminio pueden contener algunos niveles de hidrógeno disuelto. Este gas contribuye en gran medida a las imperfecciones de la fundición al formar porosidad. Como se indicó anteriormente, la porosidad es el defecto de fundición más común y se considera la causa principal del rechazo de los productos de fundición.

(Radwan, 2020) En su investigación menciona que “la porosidad puede, en algunos casos, hacer que la fundición falle cuando está en uso, donde se rompe debido a las concentraciones de tensión en los poros. En un sentido general, la porosidad en las aleaciones de aluminio puede atribuirse a factores combinados que incluyen alimentación deficiente, aire atrapado, hidrógeno disuelto y gases liberados de arena, núcleos o lubricantes, etc.”

La mayor parte de la porosidad encontrada en la fundición se produce en regiones interdendríticas que son la última zona en solidificarse. Esto se debe al hecho de que dicha porosidad necesita tanto hidrógeno disuelto como contracción para su formación, ya que la nucleación de los poros de hidrógeno en un sistema de metal solidificado es un proceso extremadamente difícil. Al disminuir la temperatura, la solidificación progresa y la masa fundida eventualmente tendrá solo el 6% en peso de su concentración original de hidrógeno que se obtuvo a una temperatura más alta. El resto del hidrógeno, si no se elimina mediante desgasificación, eventualmente precipitará en forma de poros. Los resultados experimentales muestran que tanto la porosidad como el tamaño medio de los poros disminuyen al aumentar

la velocidad de enfriamiento debido al hecho de que el hidrógeno tiene menos tiempo para difundirse en la región interdendrítica. El factor tiempo incluso evitará que el hidrógeno se escape a las burbujas ya nucleadas, lo que dará como resultado poros de menor tamaño. También es evidente que cualquier aumento en los niveles de hidrógeno en la masa fundida eventualmente conducirá a una mayor porosidad, esto se observa en la Figura 1.16.

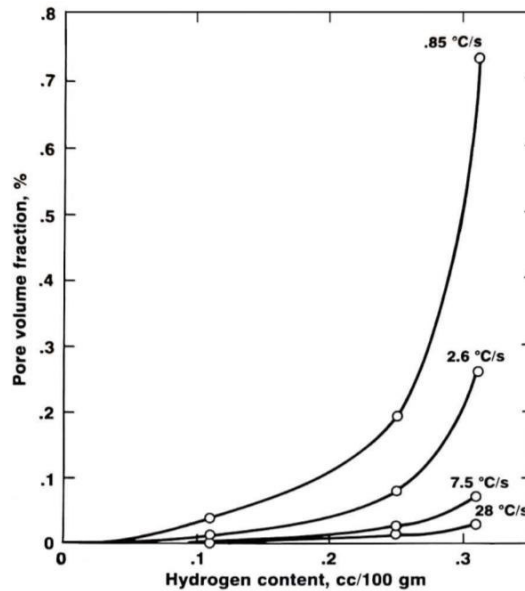


Figura 1.16 Fracción volumétrica del poro en función del contenido de hidrógeno a diferentes rangos de enfriamiento.  
(Fuente: [8])

## 1.8. Limpieza de la colada

### 1.8.1. Tratamientos con fundentes

El método tradicional de desgasificación se denomina desgasificación de tabletas. La técnica requiere que el gas de tratamiento se introduzca en la aleación líquida como una pastilla sólida. Estas píldoras consisten en compuestos químicos que se descomponen a altas temperaturas liberando una gran cantidad de burbujas de gas. El cloro es el gas generado en la mayoría de los casos y el hexacloroetano ( $C_2Cl_6$ ) se considera el desgasificador sólido más común. Cabe señalar que estos desgasificadores químicos son materiales higroscópicos y, por lo tanto, deben mantenerse en un entorno libre de humedad, de lo contrario, su uso hará más daño que bien a la masa fundida al agregar más hidrógeno en lugar de eliminarlo. [12]

Algunas desventajas del método pueden ser las siguientes:

- Es difícil de controlar ya que la reacción es muy rápida.
- Se facilita la formación de escoria y se generan vapores extremadamente desagradables.
- Partes de la masa fundida de aluminio se dejan sin tratar.

Sin embargo, aparte de las desventajas mencionadas anteriormente, el método es bastante apropiado para la desgasificación de pequeños baños de aluminio y podría ser totalmente aplicable si no se desean niveles más altos de desgasificación.

### 1.8.2. Tratamientos con gases

Este método consiste en la dispersión de gas inerte en un baño de aleación líquida. El hidrógeno atómico disuelto se difundirá en las burbujas del gas inerte que está circulando. El hidrógeno molecular se formará y saldrá de la masa fundida a medida que las burbujas, se eleven a la superficie debido a la fuerza de flotación. Se pueden tener en cuenta muchos factores para evaluar la calidad de un método de desgasificación, entre ellos: [8]

- El tamaño y el número de burbujas introducidas, así como su capacidad para una circulación completa en la masa fundida. (es preferible una gran cantidad de burbujas con un tamaño más pequeño)
- La pureza del gas inerte.
- El tiempo necesario para el tratamiento (tiempos de tratamiento más largos conllevan un alto coste energético).
- La turbulencia creada por el gas inerte; El tratamiento turbulento conducirá a un aumento de la reabsorción de escoria y de hidrógeno.

El método de desgasificación mediante el insuflado de gases inertes tales como el argón, utiliza un cabezal con agujeros en su extremo inferior el cual es capaz de producir una gran cantidad de burbujas de una pequeña dimensión, como se puede observar en la Figura 1.17. Al girar el mecanismo se crea una circulación uniforme de las burbujas dentro de la colada, es decir casi toda la colada es desgasificada; a su vez generando menor cantidad de escoria.

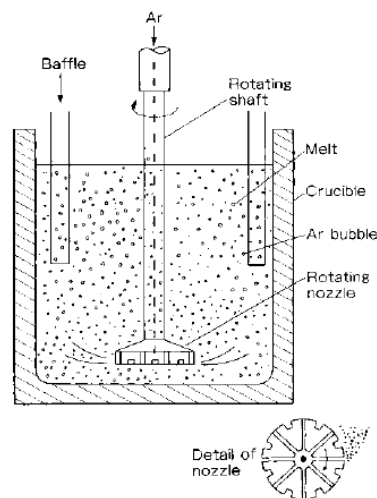


Figura 1.17 Esquema mecanismo usado para desgasificación por medio de gases inertes.  
(Fuente: [17])

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Antecedentes

Según la investigación “Caracterización comparativa de una aleación de aluminio entre los procesos de colado estático y colado dinámico con variación de frecuencia y amplitud en la mesa vibratoria.” realizada por Mendoza y Oña, se establece que en la fundición de la aleación de aluminio AK5M utilizando colado dinámico a frecuencias de 4, 8, 12 y 16 Hz con amplitudes variables de 5 a 175  $\mu\text{m}$ , se obtiene una mejora cuantitativa de la resistencia a la tracción y la dureza, al comparar los resultados con los obtenidos del colado estático. Sin embargo, si bien se tiene esta mejora no se logra lo mismo con el acabado superficial, ya que el material presenta varias discontinuidades como microrechupes y porosidad a lo largo de toda su estructura, tal como se visualiza en la Figura 2.1.



Figura 2.1 Probetas de tracción obtenidas en el proyecto de investigación de Mendoza y Oña  
(Fuente: [18])

Por otra parte, Garrido y Sánchez, en su investigación “Determinación de la metodología para la obtención de aleaciones de aluminio de fundición maquinables sin porosidades”, establecen un procedimiento basado en el uso de fundentes y desgasificantes, en el cual se logra disminuir el porcentaje de porosidad en una aleación de aluminio, sin que estos elementos alteren la composición química de la aleación.

Teniendo en cuenta estos aspectos antes mencionados, en el presente proyecto se analizará la influencia de fundentes y desgasificantes en la aleación de aluminio AK5M obtenida mediante colado dinámico, esperando obtener una mejora cuantitativa y cualitativa del acabado superficial.

## 2.1. Selección de componentes de la aleación

Para obtener la aleación requerida, se ha seleccionado componentes que se pueden encontrar fácilmente en el medio. Se utilizó pistones automotrices, los cuales corresponden a aleaciones de aluminio de la serie 4000, caracterizadas por su alto contenido de silicio. También se utilizó planchas de aluminio antideslizante y de láminas de aluminio, correspondientes a aleaciones de la serie 1000, caracterizadas por su porcentaje de aluminio mayor a 99%. [19]

Estos componentes son considerados la carga de material y deben ser introducidos en el horno en las proporciones adecuadas. En la sección 2.2.6 se detalla el cálculo de cargas que se realizó para determinar las proporciones necesarias para obtener la aleación requerida. Para este caso de estudio se plantea obtener una aleación de aluminio hipoeutectoide denominada AK5M, cuya composición química se indica en la Tabla 2.1

Tabla 2.1 Composición química de la aleación AK5M.

Composición química de la aleación AK5M.			
% Si	% Cu	% Mg	% Al
4.5 - 5.5	1 - 1.5	0.35 - 0.6	> 91,5

(Fuente: [20])

## 2.2. Dimensionamiento de probetas

### 2.3.1. Ensayo de tracción

Es utilizado para medir la resistencia de los materiales al ser sometidos a una carga uniaxial longitudinal en el eje de la probeta, esta es estirada hasta llegar a la fractura.

Para la realización de este ensayo se utilizará las recomendaciones del estándar ASTM E8 / E8M (Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials), en la que se detalla el procedimiento a seguir y las dimensiones de las probetas a ensayar, la cual se describe en la Tabla 2.2. [21]

Tabla 2.2 Descripción de la probeta de tracción según el estándar ASTM E8 / E8M

Designación	Descripción	Espécimen
D	Diámetro	12,5 ± 0,2 mm
G	Longitud calibrada	50 ± 0,1 mm
R	Radio filete mínimo	10 mm
L	Longitud total aproximada	145 mm
A	Longitud de la sección paralela reducida	56 mm
B	Longitud de la sección final	35 mm
C	Diámetro de la sección final	20mm
Nota 1.	La sección paralela reducida puede tener una inclinación gradual desde los extremos hacia el centro, considerando que los extremos pueden tener una inclinación no más del 1% mayor en diámetro que el centro.	
Nota 2.	Se permite cualquier rosca estándar que proporcione una adecuada alineación y asegure que la muestra se rompa dentro de la sección paralela reducida.	

(Fuente: [21])

### 2.3.2. Ensayo de microestructura

Este ensayo metalográfico permite conocer a nivel microscópico de forma cuantitativa y cualitativa las características estructurales de un determinado material, de esta manera se obtiene información precedente sobre las propiedades y comportamiento que tendrá dicho material.

Para la realización de este ensayo las probetas deberán ser pulidas mediante el uso de abrasivos de acuerdo a la norma ASTM E3. [22]

La geometría de la probeta que se utilizará en este ensayo se detalla en la Figura 2.2.



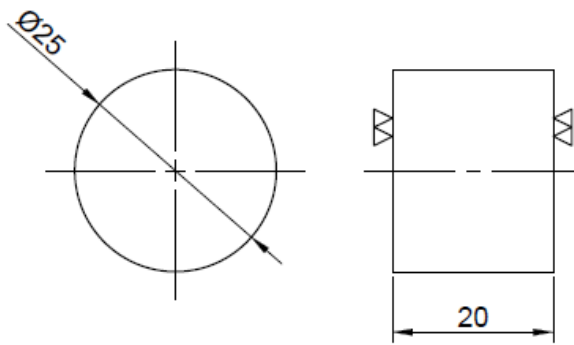


Figura 2.2 Dimensiones de la probeta para el ensayo de microestructura  
(Fuente: Propia)

### 2.3.3. Ensayo de dureza

Este ensayo es realizado para medir de manera cuantitativa la resistencia que opone un material a deformarse plásticamente por rayado o penetración.

Los tres métodos más empleados para la realización de este ensayo son los ensayos Brinell, Rockwell, Vickers. En el presente proyecto se utilizará el método de ensayo de dureza Brinell, ya que es la escala de dureza que se utiliza para materiales blandos como el aluminio.

El ensayo de dureza Brinell se lo realizará según las recomendaciones del estándar ASTM E10 (Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials). Este ensayo consiste en presionar sobre la superficie de la probeta, una esfera de acero templado de 10 mm de diámetro, utilizando una carga estática de 3000Kg. Para el caso del aluminio la dureza Brinell se encuentra en el rango de 15 HB para aluminio blandos hasta 100 HB para aluminios endurecidos mediante tratamientos térmicos. [23]

La geometría de la probeta será la misma que la probeta utilizada en ensayo de microestructura, la cual se detalla en la Figura 2.2.

### 2.3.4. Ensayo de composición química

El ensayo de composición química es un procedimiento que se realiza para medir de manera cuantitativa la composición de un material. Este procedimiento se realizará para garantizar que cada uno de los elementos aleantes cumpla con la proporción requerida en la aleación y de esta manera no se produzca variaciones en las propiedades al presentar una diferente composición.

Se debe considerar que para este ensayo la probeta que se utilizará será la misma que la probeta utilizada en el ensayo de microestructura, la cual se detalla en la Figura 2.2.

## 2.3. Determinación de parámetros del proceso tecnológico de fundición.

### 2.4.1. Dimensionamiento del modelo

Considerando las dimensiones y geometrías de las probetas requeridas para los diferentes ensayos a realizar, se optó por un modelo de forma cilíndrica. En la Figura 2.3. se detalla la distribución del modelo a realizar.

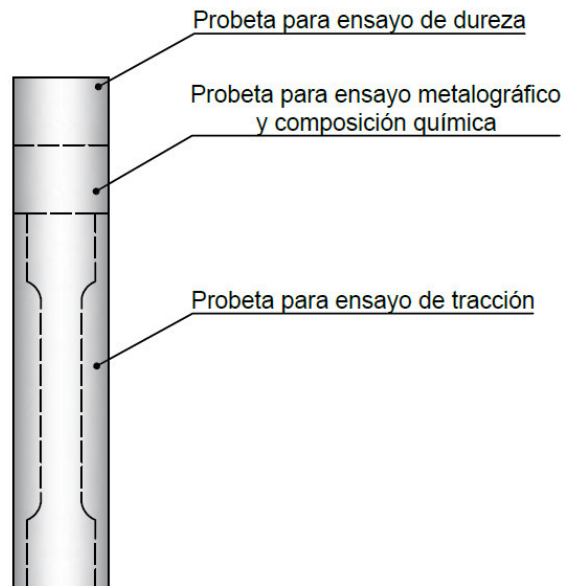


Figura 2.3 Distribución del modelo.  
(Fuente: Propia)

Debido a la incertidumbre relacionada a la medición de valores resultantes de los ensayos de tracción y dureza se definió como muestra 3 probetas, las cuales se obtendrán por cada proceso de fundición realizado. Por lo tanto el diseño de la moldura consta de 3 moldes, justo como se indica en la Figura 2.4.

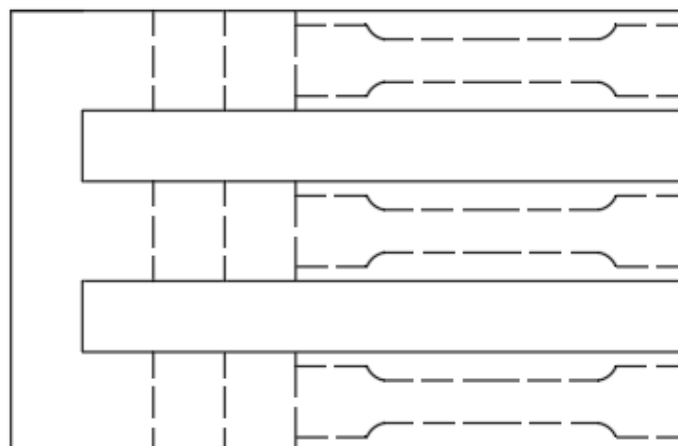


Figura 2.4 Moldura para la obtención de las probetas cilíndricas.  
(Fuente: Propia)

El modelo a utilizar será bipartido, es decir, dividido por la mitad a lo largo del plano de partición de la pieza para facilitar el proceso de moldeo. En la Figura 2.5 se muestra la moldura que se utilizará.



Figura 2.5 Modelo bipartido.  
(Fuente: Propia)

Para determinar la dimensión final del modelo se consideró un sobredimensionamiento que esta relacionado con la contracción del material y el posterior mecanizado que se realizará en la pieza para obtener las probetas.

### 2.3.1.1. Sobredimensionamiento por contracción del material

Toda pieza fundida sufre una reducción de su volumen cuando el material cambia de estado líquido a sólido. Para contrarrestar este efecto se debe aumentar la dimensión de la pieza, considerando las tolerancias de contracción establecidas para cada material descritas en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Tolerancia de contracción en metales.

Material	Dimensión del modelo [mm]	Tolerancia de contracción
Fundición Gris	Hasta 600	1,05 %
	600 a 1200	0,85 %
	Sobre 1200	0.7 %
Fundición Blanca	-	1,6 – 2,3 %
Acero al carbono	Hasta 600	2,1 %
	600 a 1800	1,6 %
	Sobre 800	1,3 %
Aleaciones de aluminio	-	1,3 – 1,6 %
Cobre	-	1,6 %
Bronce	-	2,0 – 2,3 %
Zinc	-	1,0 – 1,5 %

(Fuente: [24])

Se considera que la contracción del aluminio es 1,3% de la longitud de la pieza. De modo que para determinar la longitud final del modelo se utiliza la siguiente expresión:

$$l_f = l + l * t_c \quad (2.1)$$

Donde:

- $l_f$ : Longitud final de la pieza
- $l$ : Longitud inicial de la pieza
- $t_c$ : Tolerancia por contracción del material

### 2.3.1.2. Sobredimensionamiento por mecanizado del material

Otro factor a considerar en el dimensionamiento de modelos es la tolerancia de mecanizado, ya que la pieza fundida generalmente tiene un acabado pobre, que debe eliminarse. Es por esta razón que se considera material adicional que posteriormente se eliminará en el mecanizado para asegurar el buen acabado superficial requerido por la pieza.

En la Tabla 2.4 se indican las tolerancias de mecanizado.

Tabla 2.4 Tolerancias de mecanizado para fundición en arena.

Dimensiones [mm]	Tolerancia de maquinado [mm]
<b>Fundiciones de hierro</b>	
Hasta 300	3
301 a 500	4
501 a 900	5
<b>Fundiciones de acero</b>	
Hasta 150	3
151 a 500	5,5
501 a 900	6
<b>Materiales no ferrosos</b>	
Hasta 300	1,5
301 a 500	1,5
501 a 900	2,5

(Fuente: [24])

Para el caso de fundiciones de aleaciones de aluminio de hasta de 300mm de dimensión, la tolerancia de mecanizado de superficies es 1,5 mm. Este valor es el que se aumentará a la dimensión del modelo

Considerando el sobredimensionamiento de la pieza por contracción y maquinado, se establece las dimensiones finales del modelo, que se detallan en la Figura 2.6.

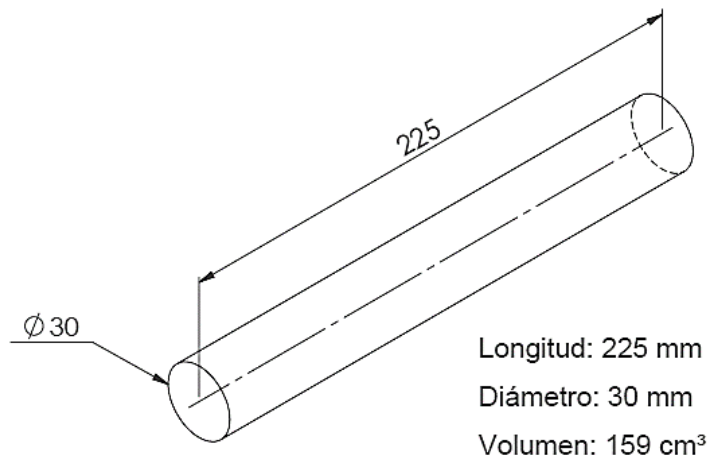


Figura 2.6 Dimensiones del modelo.  
(Fuente: Propia)

### 2.4.2. Dimensionamiento del sistema de alimentación

El correcto dimensionamiento del sistema de alimentación es una variable esencial para la obtener alta calidad en piezas fundidas, dado que este es el encargado de suministrar la colada a la cavidad de la moldura.

El diseño óptimo del sistema de alimentación garantiza el completo llenado de toda la cavidad del molde y la distribución de material a una adecuada velocidad sin que presente turbulencia, sin pérdidas excesivas de temperatura y sin que exista atrapamiento de gases. [25]

En el presente trabajo se utilizará un moldeo horizontal, debido a que este se adapta de mejor manera a la mesa vibratoria que se utilizará para el colado dinámico, como se observa en la Figura 2.7.



Figura 2.7 Molde horizontal para colado dinámico.  
(Fuente: Propia)

Teniendo en cuenta la disposición del moldeo, se diseñará el sistema de alimentación y se dimensionará los diferentes elementos que lo conforman. En el Anexo I, se detalla el dimensionamiento realizado para el sistema de alimentación de un moldeo horizontal.

En la Figura 2.8 se muestran los diferentes elementos que se consideró para el diseño del sistema de alimentación, cada uno de estos elementos son descritos en los siguientes apartados.

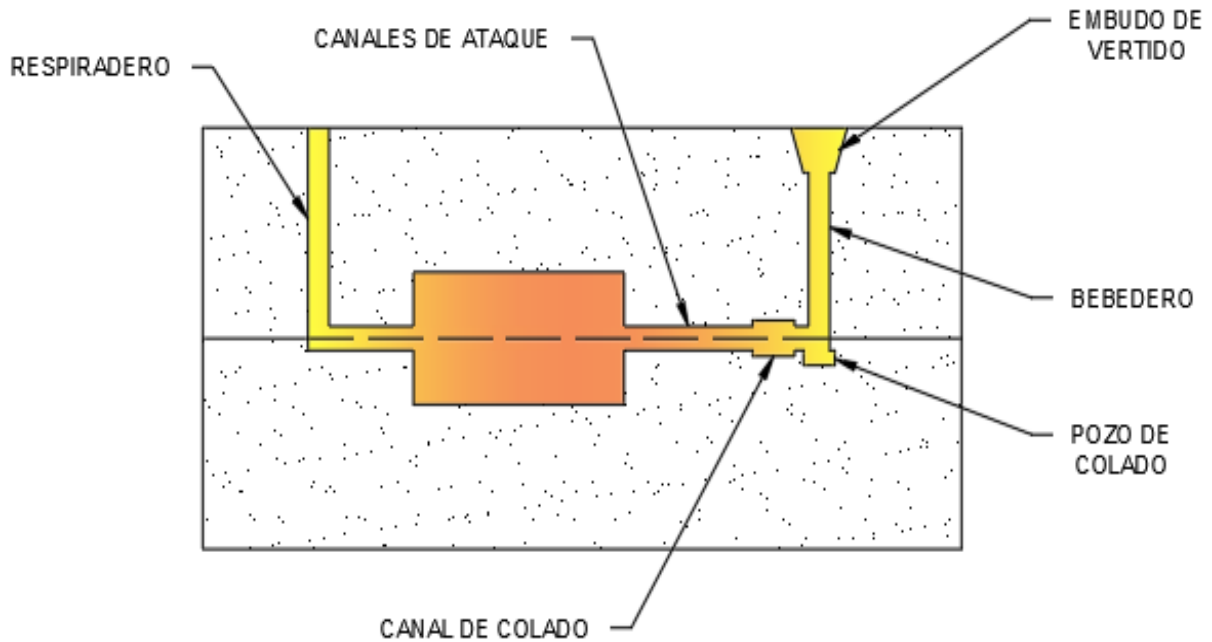


Figura 2.8 Elementos del sistema de alimentación.  
(Fuente: Propia)

### 2.3.2.1. Bebedero

El bebedero es el canal generalmente vertical, que conduce el metal fundido hacia el plano de partición y distribuye la colada hacia el canal de colado. [24]

Existen 2 principios de la dinámica de fluidos que son considerados durante el vertido del material fundido. El primero de ellos es la ecuación de la continuidad, en la que se establece que el caudal volumétrico del flujo permanece constante a lo largo de todo el sistema. Esta ecuación se expresa de la siguiente forma: [26]

$$Q = A_1 * v_1 = A_2 * v_2 \quad (2.2)$$

Donde

Q: caudal del flujo

A: área de la sección transversal donde atraviesa el flujo

v: velocidad lineal del flujo

El segundo principio a considerar es el Teorema de Bernoulli y está relacionado con la velocidad lineal del flujo. Este teorema establece que la energía es constante en todo el sistema, y se expresa como:

$$h_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} + F_1 = h_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g} + F_2 \quad (2.3)$$

Donde:

h: altura desde un determinado punto de referencia donde se realiza el análisis

P: presión del fluido

v: velocidad lineal del flujo

F: pérdidas por fricción

$\rho$ : densidad del fluido

g: aceleración gravitacional

Tomando las consideraciones necesarias para el presente caso de estudio, tenemos que la ecuación es reducida a la siguiente expresión:

$$h = \frac{v^2}{2g} \quad (2.4)$$

Donde podemos observar que la velocidad del flujo está relacionada con la distancia desde donde es vertido el material fundido.

$$v = \sqrt{2gh} \quad (2.5)$$

Relacionando las ecuaciones, tenemos la siguiente expresión que relaciona las áreas de la sección transversal por donde atraviesa el fluido con las alturas. Se expresa de la siguiente forma:

$$\frac{A_2}{A_1} = \sqrt{\frac{h_1}{h_2}} \quad (2.6)$$

Las ecuaciones (2.5) y (2.6) , indican que al momento del vertido el fluido aumenta su velocidad mientras desciende y adopta una hipérbola. En este sentido, el bebedero debería adaptar una forma similar a la que se indica en la Figura 2.9.

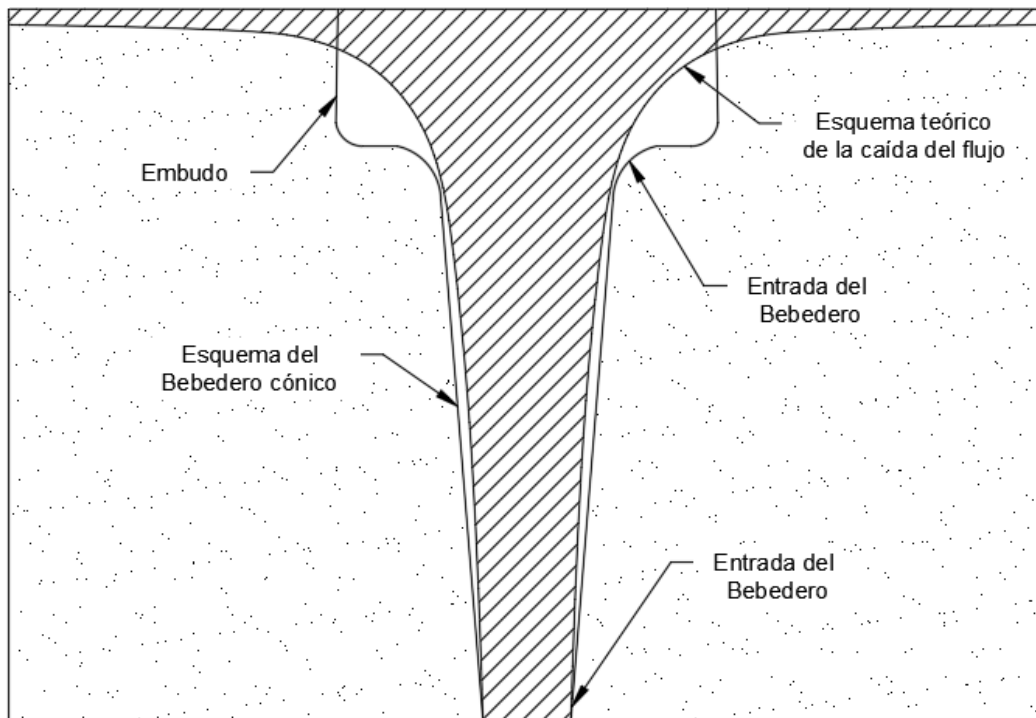


Figura 2.9 Bebedero con forma hiperbólica.  
(Fuente: [27])

A diferencia de bebederos rectos o cilíndricos, los bebederos hiperbólicos evitan la absorción de aire tal como se indica en la Figura 2.10 a. Sin embargo, hacer un bebedero con forma hiperbólica resulta, más complejo en la práctica; por esta razón se utilizará un bebedero con perfil cónico, tal como se indica en la Figura 2.10 b.

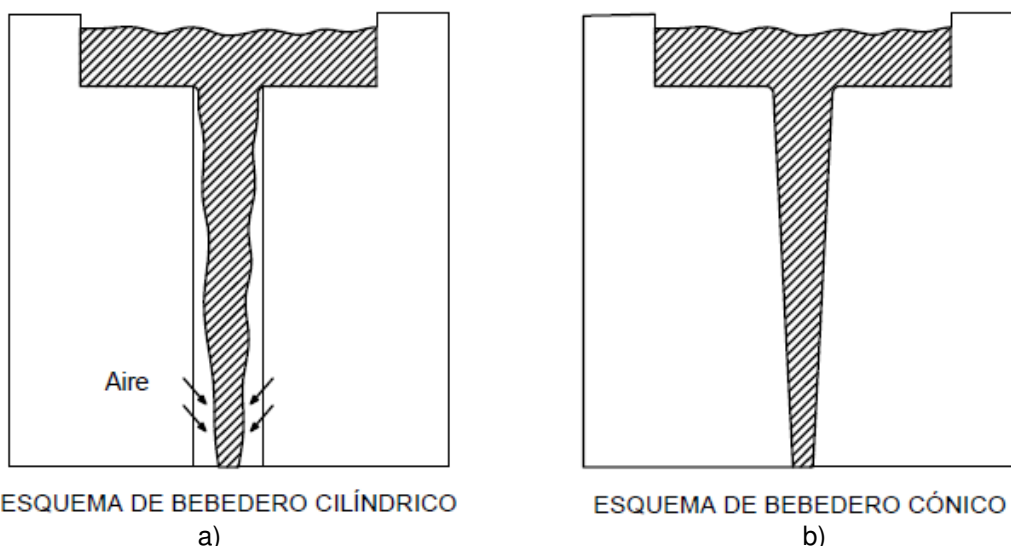


Figura 2.10 a) Esquema de bebedero cilíndrico. b) Esquema de bebedero cónico.  
(Fuente: [28])



Para calcular el área reducida de la parte inferior del bebedero o también llamada área de estrangulamiento, tenemos la siguiente expresión:

$$Ab_i = \frac{W}{\rho t c \sqrt{2 g H}} \quad (2.7)$$

Donde:

$Ab_i$ : área inferior del bebedero

W: masa de la pieza fundida

t: tiempo de vertido

$\rho$ : densidad del metal fundido

g: aceleración gravitacional

H: altura efectiva del bebedero

c: factor de eficiencia

En la Figura 2.11, se presenta las distintas maneras de calcular la altura efectiva de bebedero H, dependiendo del tipo de llenado de molde. Se tomó como referencia el modelo de llenado superior dado que éste será el utilizado en el presente proyecto.

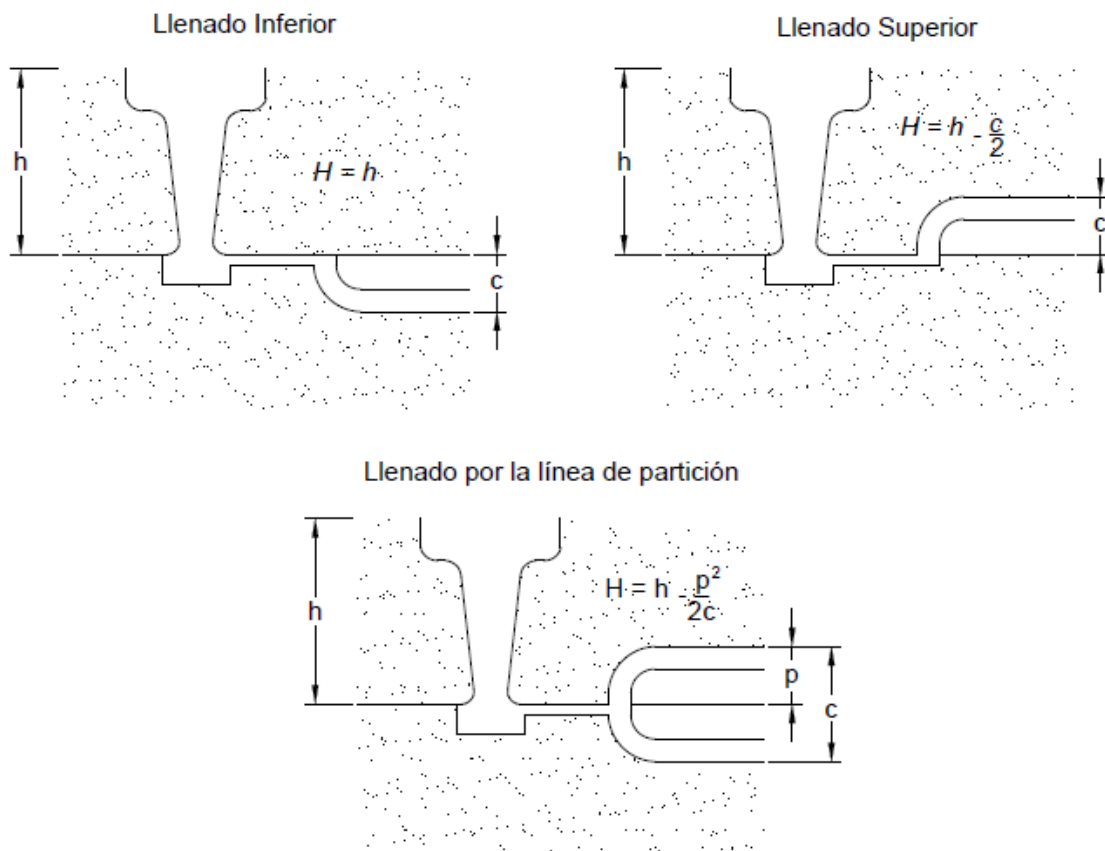


Figura 2.11 Disposición de diferentes tipos de llenado del molde.  
(Fuente: [24])

Los valores del factor de eficiencia son proporcionados en la Tabla 2.5, en la que toma como referencia los valores para un bebedero cónico con un solo canal de colado.

Tabla 2.5 Valores del factor de eficiencia son

Tipo de sistema	Bebedero cónico	Bebedero recto
Canal de colado único	0,90	0,73
Dos canales de colado con múltiples canales de ataque, sin curvas en los canales de colado	0,90	0,73
Dos canales de colado con múltiples canales de ataque, con curvas a 90° en los canales de colado	0,85	0,70

(Fuente: [24])

### 2.3.2.2. Tiempo de vertido

Uno de los factores importantes durante el diseño de sistemas de alimentación es el tiempo de vertido o tiempo para el llenado completo del molde. Un tiempo demasiado largo requeriría una elevada temperatura del material fundido, en contraste, un tiempo demasiado corto implicaría que el flujo sea turbulento, lo que ocasionaría defectos en la pieza fundida. [24]

Si consideramos que la altura del bebedero es la misma altura que va desde la superficie superior del molde hasta el canal de ataque, tal como se indica en la Figura 2.12, entonces el caudal volumétrico hacia la cavidad del molde permanece constante. En consecuencia, es posible estimar el tiempo de vertido requerido para llenar la cavidad del molde, así:

$$t = \frac{V}{Q} \quad (2.8)$$

Donde:

t: tiempo de llenado del molde

V: volumen de la cavidad del molde

Q: caudal volumétrico del flujo

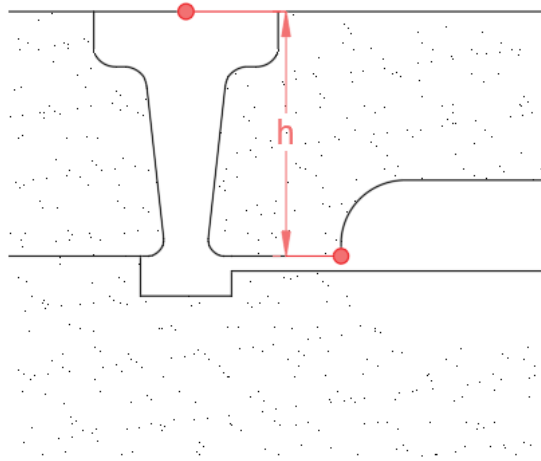


Figura 2.12 Altura del bebedero  
(Fuente: Propia)

Sin embargo, existen otros criterios que se han desarrollado de manera práctica para obtener el tiempo óptimo de vertido. Uno de ellos es la ecuación desarrollada por Mikhailov. Esta expresión establece lo siguiente: [29]

$$t = A \delta^m M^n \quad (2.9)$$

Donde:

t: tiempo de vertido

$\delta$ : espesor mínimo de la pieza

M: peso total de la pieza, en Kg.

A, m, n son constantes que depende del material, para el caso del aluminio y sus aleaciones, los valores de estas constantes son:

$$A = 1,7$$

$$m = 0,334$$

$$n = 0,334$$

### 2.3.2.3. Embudo de vertido

En la parte superior del bebedero se debe realizar el embudo, cuya finalidad es estabilizar la entrada de flujo hacia la cavidad el molde. Las paredes de este embudo tienen determinado ángulo de inclinación, de manera el material fundido al ser colado no ingresa directamente en el bebedero, sino que, al ser vertido sobre estas paredes inclinadas, el material fundido pierde impulso, lo que evita y reduce las salpicaduras y turbulencias, mientras el material es colado. [13] [24]

Existen varias geometrías óptimas para el embudo, sin embargo, por facilidad de implementación se ha escogido la forma de cono truncado, cuyo dimensionamiento se presenta en la Figura 2.13.

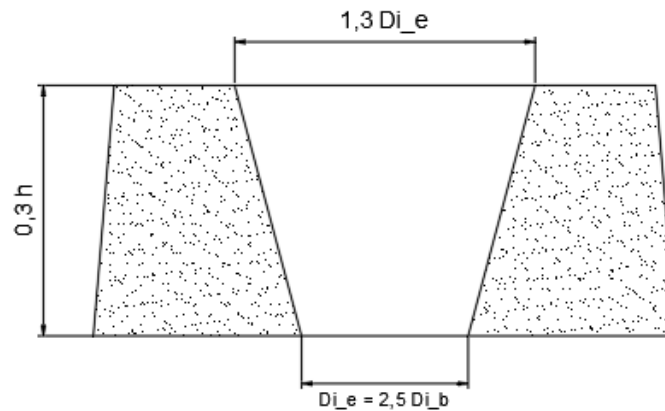


Figura 2.13 Dimensiones del embudo.  
(Fuente: [30])

#### 2.3.2.4. Pozo de colado

Este depósito se forma en la parte inferior del bebedero y su función es reducir el impulso del metal fundido que viene a gran velocidad desde el bebedero. Para el dimensionamiento del pozo de colado se recomienda que el área del pozo de colado debe ser cinco veces mayor que el área inferior del bebedero y que la profundidad del pozo es igual a la del corredor o canal de colado, tal como se indica en la Figura 2.14. [24]

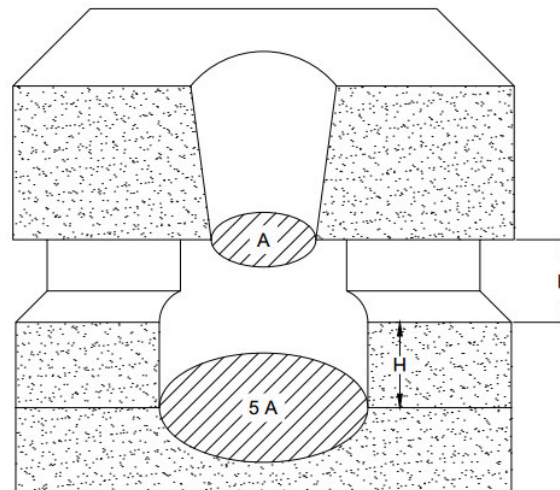


Figura 2.14 Dimensionamiento del pozo de colado  
(Fuente: [31])

#### 2.3.2.5. Canales de colado y ataque

El canal de colado conecta el bebedero con los canales de ataque y su función principal es atrapar la escoria del metal fundido antes de su ingreso a la cavidad del molde. Por otra parte,

los canales de ataque se encargan de llevar el metal fundido hacia la cavidad del molde. En la Figura 2.15 se muestra un esquema de estos canales.

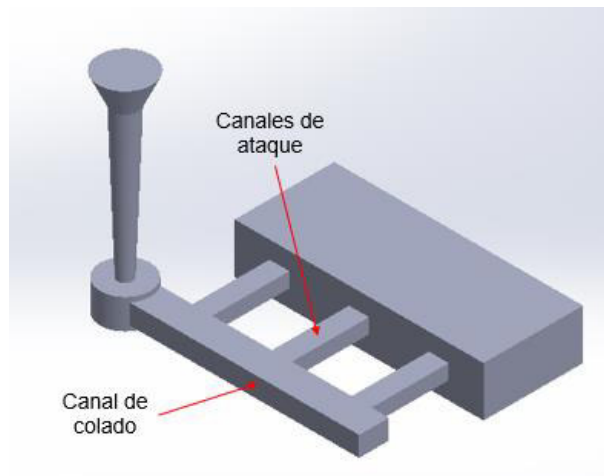


Figura 2.15 Canales de colado y ataque.  
(Fuente: Propia)

Existe una relación entre el área inferior del bebedero, el área del canal de colado y el área del canal de ataque. Para el caso del aluminio las relaciones de áreas de colado más comunes se indican en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Relaciones más comunes de áreas de colado para aluminio.

Relación	Área inferior del bebedero	Área del canal de colado	Área del canal de ataque
1:2:1	1	2	1
1:3:3	1	3	3
1:4:4	1	4	4

(Fuente: [24])

### 2.3.2.6. Respiraderos

Son los que permiten la salida del aire que ocupaba previamente la cavidad del molde y también la salida de los gases calientes producidos por el material vertido al interior de la moldura. Para contribuir con la fluidez de la colada hay que evitar cambios de sección, por lo que para el dimensionamiento de los respiraderos se utilizara el mismo diámetro que el de la pieza modelo.

### 2.4.3. Dimensionamiento de la caja modelo

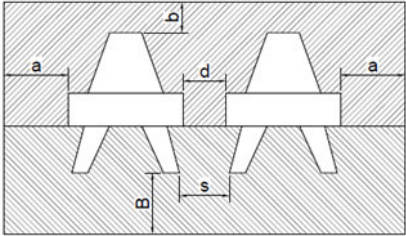
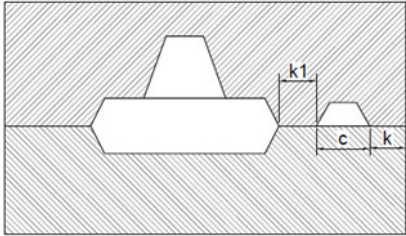
Para el dimensionamiento de la caja de moldeo, se tomará en consideración las dimensiones del modelo presentadas en la Figura 2.6.

Las dimensiones de la caja y el posicionamiento correcto de los moldes se establecerán mediante la Tabla 2.7, en la que se definen variables recomendadas de posicionamiento entre las piezas, el molde y el sistema de alimentación.

Tabla 2.7 Distancia admisible del molde y las piezas.

Distancia pieza - pieza y pieza -molde																	
Tipo de pieza		Dimensiones															
		a	b	B		s	d										
Pequeñas		20 - 30	35 - 60	50 - 75		0,3 de la altura del modelo	0,5 de la altura del modelo										
Medianas		50 - 75	75 - 100	100 - 125													
Grandes		125 - 175	150 - 200	175 - 200		-	-										
Distancia pieza - conductos de alimentación																	
Base del conducto c [mm]	Tipo de molde	Masa de la pieza [Kg]															
		≤ 50				51 - 250				250 - 500				> 501			
		k1				k											
≤ 25	Seco	30	35	-	-	30	35	-	-								
	Verde	50	60	-	-	30	35	-	-								
26 - 50	Seco	40	40	45	50	40	40	45	50								
	Verde	50	55	60	70	45	50	55	60								
> 51	Seco	50	55	60	50	50	50	55	60								
	Verde	60	65	70	80	60	60	65	70								

Nota: Todas las unidades en [mm]

(Fuente: [32])

Para determinar las dimensiones de distancia pieza - pieza y pieza - molde, se consideró los valores establecidos para una pieza pequeña y para determinar las dimensiones de distancia pieza - conductos de alimentación, se consideró una masa menor a 50kg, el tipo de molde seco y una base de conducto de 26 a 50 mm. Los valores determinados se detallan en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Dimensiones de la caja modelo.

Variable	Dimensión [mm]
a	20 - 30
b	35 - 60
d	15
B	50 -75
s	10
k1	40
c	30
k	40

(Fuente: Propia)

Además de las dimensiones tanto del modelo, como de la caja, otro factor que se consideró para la construcción, es el proceso de moldeo. Teniendo en cuenta que se utilizará arena aglomerada con resinas y que esta al solidificarse resulta difícil de trabajar, lo más óptimo es realizar un sistema en el que la caja de moldeo, el molde y el sistema de alimentación formen un solo conjunto, tal como se muestra en la Figura 2.16.



Figura 2.16 Caja modelo  
(Fuente: Propia)

La caja modelo está dividida simétricamente por la mitad para cuando se coloque la arena sobre ella forme la cavidad hueca de la moldura, como se observa en la Figura 2.17. Este sistema también cuenta con un canal de fijación para que la parte superior de arena solidificada quede asegurada con la parte inferior y no se mueva al momento del colado.

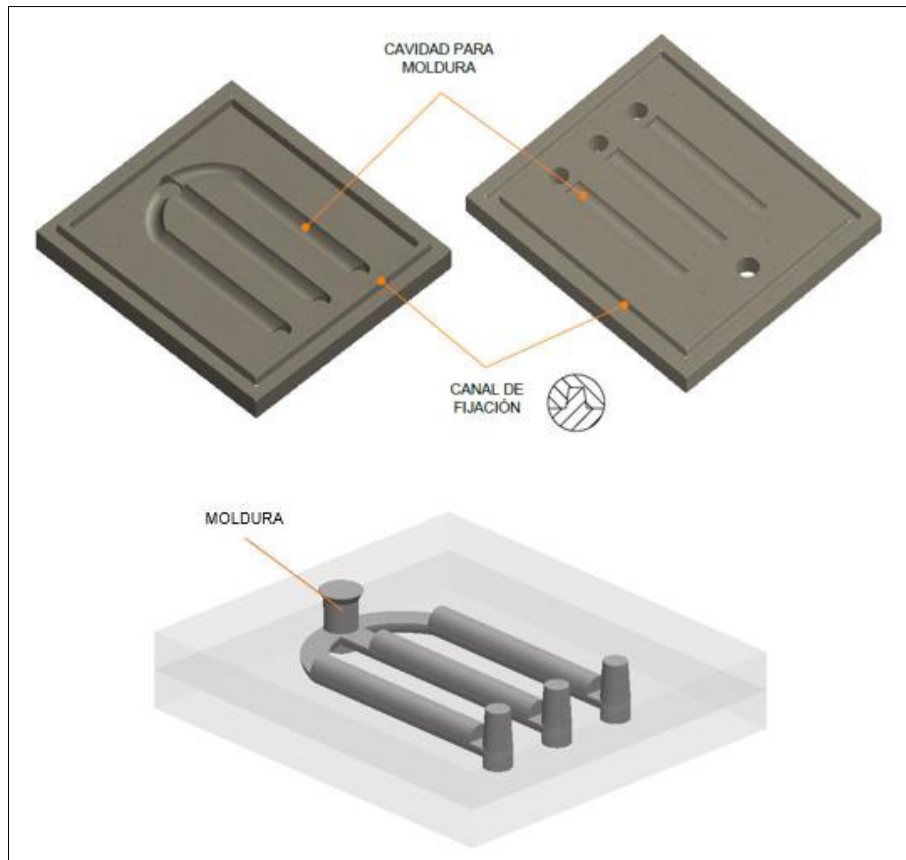


Figura 2.17 Moldura  
(Fuente: Propia)

#### 2.4.4. Preparación de arena de moldeo

Para la elaboración de los moldes se utilizará arena sílice, debido a la gran resistencia, buenas propiedades refractarias y la fiabilidad que presentan estos moldes en la fundición de piezas metálicas.

La arena sílice se debe mezclar con tres tipos de resinas fenólicas de uretano. Estos componentes son añadidos a la arena en las proporciones adecuadas respecto al peso de arena que se utilizará. Para determinar las proporciones de resinas se tomará en cuenta las recomendaciones de la investigación de Mendoza y Oña, en la cual se definen las proporciones de cada una de las resinas que deben añadirse a la arena, estas son:

- Resina A: 3,50% en peso con respecto al peso de arena sílice.
- Resina B: 1,26% en peso con respecto al peso de arena sílice.
- Resina C: 3,50% en peso con respecto al peso de arena sílice.

Los valores de resina utilizados para la elaboración de los moldes a utilizar se indican en la Tabla 2.9.



Tabla 2.9 Valores de resina utilizado para las cajas modelo utilizadas.

Molde	Peso de la arena sílice [Kg]	Resina A [g]	Resina B [g]	Resina C [g]
Molde superior	10	350	126	350
Molde inferior	13	455	163,8	455

(Fuente: Propia)

#### 2.4.5. Parámetros de la mesa vibratoria

En la investigación de Mendoza y Oña, se observa que el mejor resultado en cuanto a propiedades mecánicas del material se obtiene al utilizar una frecuencia del sistema de 12 Hz con una amplitud de 93  $\mu\text{m}$ .

Por esta razón, se definió estos valores de frecuencia y amplitud del sistema como parámetros constantes en el presente caso de estudio. Para obtener estos parámetros se debe configurar la mesa vibratoria con los datos de la Tabla 2.10.

Tabla 2.10 Parámetros a utilizar en la mesa vibratoria.

Frecuencia del motor [Hz]	Dimensiones del disco excéntrico acoplado al motor	
36	Diámetro:	$\varnothing 11 \text{ mm}$
	Espesor:	26 mm

(Fuente: Propia)

#### 2.4.6. Fundentes y desgasificantes

Para reducir el efecto de absorción de hidrógeno durante el proceso de fundición se utilizará fundentes y desgasificantes, que permitan obtener piezas con una alta maquinabilidad. Por consiguiente, se utilizará el fundente tres en uno Alufundex extra y dos tipos de desgasificantes, el primero denominado Apartagas H7-50 y el segundo que corresponde a la aplicación del gas inerte argón.

Para la aplicación del fundente Alufundex extra y del desgasificante Apartagas H7-50, se realizará de acuerdo a la ficha técnica del fabricante, las cuales se indican en el Anexo IV: y Anexo V: respectivamente. Mientras que para la aplicación del gas inerte argón, se empleará las recomendaciones descritas en el libro: "Handbook of Aluminum Vol1: Physical Metallurgy and Processes", las cuales sugieren utilizar un caudal mínimo de 0,4 l/min por cada kg de metal fundido.

El objetivo principal de este estudio experimental, es analizar el efecto de la variación de fundentes y desgasificantes en la aleación de aluminio fundida mediante colado dinámico.

A continuación, en la Tabla 2.11 se detalla los parámetros a variar.

Tabla 2.11 Variables a utilizar en el proceso de fundición

Colado Estático							
21040 - A	Probeta testigo, fundida sin la adición de fundentes ni desgasificantes.						
Colado Dinámico							
Código	Porcentaje en peso de Alufundex	Porcentaje en peso de Apartagas	Insuflado de argón		Frecuencia del Sistema Mesa vibratoria - molde [Hz]	Amplitud del sistema [ $\mu$ m]	Tiempo que el sistema permanece en vibración [min]
			Caudal [l/min]	Tiempo [min]			
21040 - B	-	-	-	-	12	93	2
21040 - C	0,3%	0,15%	-	-			
21041 - D	0,3%	0,25%	-	-			
21041 - E	0,5%	0,15%	-	-			
21042 - F	0,5%	0,25%	-	-			
21042 - G	0,3%	-	1	2			
21043 - H	0,5%	-	1	2			
21043 - I	0,3%	0,15%	1	2			
21044 - J	0,5%	0,25%	1	2			

(Fuente: Propia)

#### 2.4.7. Cálculo de cargas

Una vez establecido el número de fundiciones a realizar y el peso de cada moldura, se procede a realizar el cálculo de la carga a introducir en el horno, para establecer el peso requerido de cada carga para obtener la aleación AK5M.

Se debe tener en cuenta que existe 2 tipos de carga, la primera proveniente de los pistones automotrices y la segunda proveniente de las planchas y láminas de aluminio que es considerada como material puro, ya que tiene un contenido de aluminio de mayor al 99%.

Para la producción de la materia prima o carga se fabricó lingotes cúbicos, como se indica en la Figura 2.18. Esto se realizó debido a que la geometría y dimensión de estos elementos permiten un mejor manejo del material al introducirlos dentro del crisol.



Figura 2.18 Fundición de lingotes cúbicos.  
(Fuente: Propia)

En el Anexo II:, se observa los resultados obtenidos de los ensayos de composición química realizados a los tochos, en los que se establece los porcentajes en peso de los elementos que conforman la carga a utilizar. En la Tabla 2.12 se indica la composición química de cada una de las muestras provenientes de los pistones automotrices. Por otra parte, para el material considerado como aluminio puro se definió un porcentaje de aluminio de 99%, validando este valor con los resultados obtenidos del ensayo de composición química del Anexo III:.

Tabla 2.12 Composición química de las muestras fundidas obtenidas de los pistones automotrices.

Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Peso [Kg]	0,940	0,892	0,900	0,912	0,839	0,845	0,896	0,918	0,879	0,880
% Elementos	% Si	13,10%	13,81%	14,09%	13,02%	13,81%	14,09%	13,10%	13,02%	13,16%
	% Cu	0,84%	1,78%	0,84%	1,66%	1,78%	0,84%	0,84%	1,66%	1,82%
	% Mg	1,28%	0,74%	1,63%	1,39%	0,74%	1,63%	1,28%	1,39%	1,23%
	% Al	81,52%	81,70%	80,67%	81,25%	81,70%	80,67%	81,52%	81,25%	81,10%

(Fuente: Propia)

Otra variable importante que se debe considerar al calcular la carga es la pérdida de elementos por evaporización y oxidación. En la Tabla 2.13 se indica los valores de quemado de elementos para fundiciones de aleaciones aluminio en un horno de crisol.

Tabla 2.13 Porcentaje de quemado de elementos.

% Si	% Cu	% Mg	% Al
0.5 - 1	1 - 1.5	2 - 3	0.5 - 1

(Fuente: [33])

A continuación, se detalla el procedimiento realizado para calcular la carga:

- 1) Definir los porcentajes de composición química de cada una de los elementos que conformaran la carga a introducir en el horno. Los resultados se visualizan en la Tabla 2.12.
- 2) Establecer el material requerido para obtener la aleación AK5M, considerando que se debe agregar material debido al quemado de los elementos. Este cálculo se lo realiza considerando una masa de 100 Kg, para su fácil interpretación.

Tabla 2.14 Material requerido para obtener la aleación AK5M.

Elementos	A (Peso de los elementos en la aleación requerida) [Kg]	B (Porcentaje en peso del quemado de elementos)	C = A x B (Material por agregar) [Kg]	D = A x C (Material total requerido) [Kg]
Si	5	0,01	0,05	5,05
Cu	1,25	0,015	0,01875	1,26875
Mg	0,5	0,03	0,015	0,515
Al	92	0,01	0,92	92,92

(Fuente: Propia)

- 3) Definir el material requerido para cada una de las muestras. Para esto se debe realizar una relación de proporcionalidad inversa entre los valores de porcentaje de silicio disponible, porcentaje de silicio requerido y el peso disponible. Este cálculo se lo realiza teniendo en cuenta que el único material que se añadirá para obtener la aleación es aluminio puro.

Tabla 2.15 Cálculo de cargas

Nº Muestra	A Peso de la muestra [Kg]	B % Si disponible en la muestra	C = A x B Peso del Si disponible en la muestra [Kg]	D %Si requerido	E = A x B / C Peso que se necesita para obtener el %Si requerido [Kg]	F = E - A Aluminio que se necesita añadir para obtener el %Si requerido [Kg]
M1	0,940	13,10%	0,1231	5,05%	2,44	1,50
M2	0,892	13,81%	0,1232		2,44	1,55
M3	0,900	14,09%	0,1268		2,51	1,61
M4	0,912	13,02%	0,1187		2,35	1,44
M5	0,839	13,81%	0,1159		2,29	1,46
M6	0,845	14,09%	0,1191		2,36	1,51
M7	0,896	13,10%	0,1174		2,32	1,43
M8	0,918	13,02%	0,1195		2,37	1,45
M9	0,879	13,16%	0,1157		2,29	1,41
M10	0,880	13,81%	0,1215		2,41	1,53

(Fuente: Propia)

#### 2.4.8. Proceso tecnológico fundición de probetas

Para llevar a cabo el proceso de fundición se utilizó un horno del Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional. Este horno es de tipo crisol móvil y su sistema de combustión se efectúa mediante de gas propano.

El crisol utilizado corresponde a un crisol de hierro, ya que presenta una mayor conductividad calorífica en comparación a los crisoles de arcilla-grafito, además el crisol de hierro no es permeable a los gases.

Una vez establecido el peso de las cargas, se procede a introducir las en el crisol de hierro que se encuentra en el interior del horno para su posterior fundición.

Un factor importante que se debe considerar es la temperatura a la cual se colará el material fundido, ya que esta debe estar alrededor de 750°C para garantizar la fluidez de la colada, este parámetro será controlado mediante el uso de un pirómetro digital.

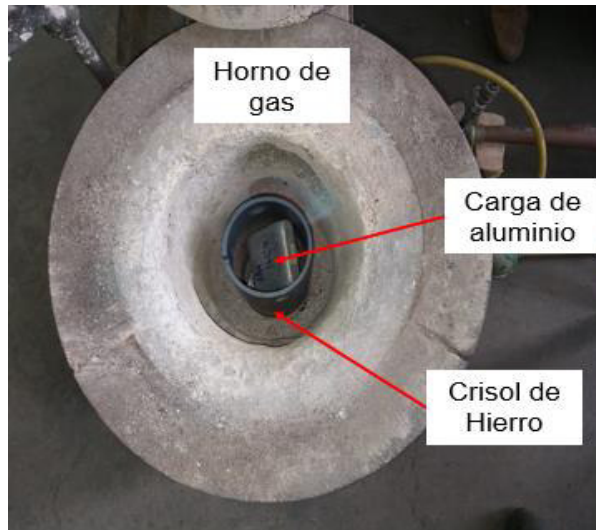


Figura 2.19 Introducción de carga de aluminio en el crisol del horno a gas.  
(Fuente: Propia)

## 2.4. Mecanizado de Probetas

Una vez obtenidas las piezas fundidas, se procede a extraer la parte útil, es decir, se retira el sistema de alimentación y los respiradores, dejando únicamente las 3 piezas cilíndricas, tal como se indica en la Figura 2.20.

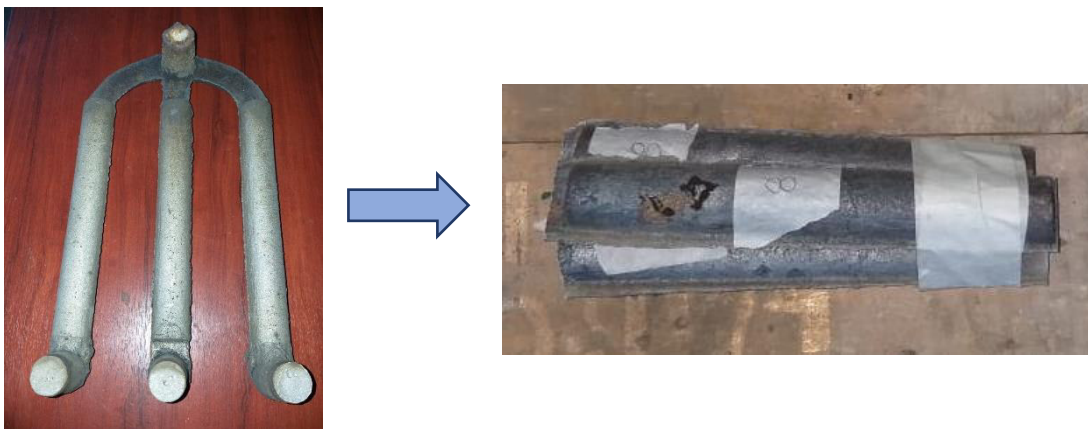


Figura 2.20 Extracción de piezas cilíndricas del material fundido.  
(Fuente: Propia)

Posteriormente, estas piezas cilíndricas serán mecanizadas para obtener las probetas normalizadas de los diferentes ensayos a realizar. En la Figura 2.21, se observa las probetas fabricadas en el Laboratorio de Máquinas Herramientas de la Escuela Politécnica Nacional.

PROBETAS PARA ENSAYO DE TRACCION



PROBETAS PARA ENSAYO DE DUREZA



PROBETAS PARA ENSAYO DE MICROESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA



Figura 2.21 Probetas obtenidas del mecanizado de las piezas cilíndricas.  
(Fuente: Propia)

## 2.5. Pruebas de porcentaje de porosidad en la aleación.

### 2.6.1. Análisis de densidad relativa

Para la realización de este análisis se toma como referencia el principio de Arquímedes, en el que se estipula que “la magnitud de la fuerza de flotación sobre un objeto siempre es igual al peso del fluido desplazado por el objeto”. [34]

Para la obtención de los datos descritos en la Tabla 3.5 se tiene como referencia la densidad del agua como  $1 \text{ g/cm}^3$  y la densidad de la aleación de aluminio silicio AK5M como  $2,67 \text{ g/cm}^3$ . La prueba consiste en el cálculo de la densidad relativa de las probetas de aluminio obtenidas en este estudio, mediante el uso de una balanza con una precisión de  $\pm 0,1\text{g}$  y un vaso graduado; para lo cual es necesario obtener el volumen de agua desplazado al momento de introducir la probeta de aluminio, el que se cuantifica en centímetro cúbico de aluminio y a su vez la masa de la misma.

Para determinar la densidad relativa se aplica la siguiente ecuación:

$$\rho_r = \frac{W_p}{V_p} \quad (2.10)$$

Donde:

$\rho_r$ : Densidad relativa de la aleación AK5M ( $\text{g/cm}^3$ )

$W_p$ : Masa de la probeta (g)

$V_p$ : Volumen de la probeta ( $\text{cm}^3$ )

Una vez obtenido el valor de la densidad relativa de la probeta, este se compara con el valor de la densidad de la aleación AK5M, y se calcula el porcentaje de porosidad existente en la muestra con la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje porosidad} = \left( \frac{\rho_r \times 100}{\rho_{AK5M}} \right) - 100 \quad (2.11)$$

Donde:

$\rho_{AK5M}$ : Densidad de la aleación AK5M = 2,67 (g/cm<sup>3</sup>)

Al aplicar las ecuaciones (2.10) y (2.11) se obtiene los resultados de porcentaje de porosidad presentes en las probetas analizadas.

### **2.6.2. Análisis fotográfico**

Para el análisis fotográfico, se utilizarán las probetas del ensayo de metalográfico, debido a que se necesita que las superficies a analizar se encuentren pulidas.

Con la ayuda de una cámara de 25 Mpx, se tomará fotografías de cada una de las probetas obtenidas de los distintos procesos y con la ayuda del software AutoCAD se procederá a dimensionar digitalmente la porosidad superficial presente en el corte transversal de cada probeta, de esta manera se logrará estimar el porcentaje de porosidad existente en cada muestra.



### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Análisis e interpretación de resultados.

##### 3.1.1. Análisis de inspección visual

En la Figura 3.1 se puede observar que la pieza fundida obtenida no presenta defectos, pero existe presencia de pequeñas discontinuidades relacionadas al proceso de fundición como poros y un pequeño rechupe en el canal de ingreso del material.



Figura 3.1 Porosidad presente en la pieza fundida  
(Fuente: Propia)

Posterior al mecanizado de la pieza fundida, las probetas del ensayo de resistencia a la tracción presentan pequeños poros en la pieza, tal como se indica en la Figura 3.2.



Figura 3.2 Porosidad presente en la probeta del ensayo de tracción.  
(Fuente: Propia)

Al igual que en las probetas para el ensayo de tracción, las probetas para el ensayo de microestructura presentan pequeños poros y microrechupes como se puede observar en la Figura 3.3. Sin embargo, existe un buen acabado posterior al mecanizado.



Figura 3.3 Porosidad presente en la probeta del ensayo de microestructura  
(Fuente: Propia)

### 3.1.2. Análisis de resultados obtenidos del ensayo de composición química

En el Anexo VI: se detalla completamente el ensayo de composición química realizado a cada una de las probetas ensayadas. A continuación, en la Tabla 3.1 se resume estos resultados, considerando únicamente los valores más relevantes de la aleación.

Tabla 3.1 Resultados obtenidos del ensayo de composición química

Muestras	Elemento				
	% Si	% Fe	% Cu	% Mg	% Al
21040-A	4,524	1,857	0,544	0,13	92,48
21040-B	5,302	1,355	0,397	0,135	92,29
21040-C	4,752	0,53	0,66	0,279	93,29
21040-D	4,579	0,665	0,436	0,289	93,51
21040-E	5,051	0,716	0,683	0,169	92,92
21040-F	5,251	0,545	0,773	0,297	92,63
21040-G	5,306	0,629	0,817	0,262	92,45
21040-H	4,611	0,718	0,41	0,305	93,45
21040-I	5,048	0,894	0,654	0,258	92,57
21040-J	5,238	0,567	0,839	0,307	92,51

(Fuente: Propia)

Considerando los valores de la aleación AK5M indicados en la Tabla 1.3, se puede determinar en base a los resultados del ensayo de composición química, que cada una de las muestras obtenidas de los diferentes procesos de fundición se encuentra dentro del rango de valores correspondientes a la composición química de la aleación de referencia.

### 3.1.3. Análisis de resultados obtenidos del ensayo de tracción

En la tabla del Anexo VII: se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de tracción, para esto se tomó tres valores de cada probeta ensayada con el objetivo de tener un promedio entre las medidas de resistencia a la tracción, estos promedios se muestran en la Tabla 3.2 junto a los valores de referencia con los que se realizara una análisis comparativo.

Tabla 3.2 Análisis ensayo de tracción

Muestra	Promedio de resistencia a la tracción [Mpa]	Resistencia a la tracción M36A2 [Mpa]	Resistencia a la tracción AK5M [Mpa]
21040-A	86,4	176	118,4
21040-B	112,2		
21040-C	98,6		
21040-D	126,0		
21040-E	123,7		
21040-F	106,9		
21040-G	130,2		
21040-H	146,8		
21040-I	149,5		
21040-J	140,5		

(Fuente: Propia)

A continuación, se presenta el análisis de los resultados en forma comparativa entre los promedios de los resultados del presente estudio y el resultado obtenido en la probeta M36A2 del estudio de Mendoza & Oña.

Este análisis se divide en 4 categorías probeta testigo (21040-A), probeta obtenida únicamente mediante colado dinámico (21040-B), probetas obtenidas mediante colado

dinámico y la aplicación de fundentes y desgasificantes (21040-C, 21040-D, 21040-E, 21040-F) y probetas obtenidas mediante el proceso completo (21040-G, 21040-H, 21040-I, 21040-J). Con base en esta categorización se hacen conclusiones objetivas, presentando los valores más relevantes como son los de la última categoría superando el valor obtenido en la investigación de Mendoza & Oña de 118,4 MPa.

Así también se muestra gráficamente la comparación entre los valores de resistencia a la tracción de los valores obtenidos de las probetas y el valor de la resistencia a la tracción correspondiente a la aleación AK5M ( $\geq 176$  [MPa]). Se observa que el valor de la probeta obtenida mediante colado estático (21040-A) es la que presenta mayor diferencia con respecto al valor de referencia, mientras que las probetas cuyo proceso de fundición consistió en la aplicación de fundentes desgasificantes, insuflado de argón y colado dinámico (21040-G, 21040-H, 21040-I, 21040-J), presentan valores de resistencia a la tracción más aproximados al valor correspondiente de la aleación AK5M.

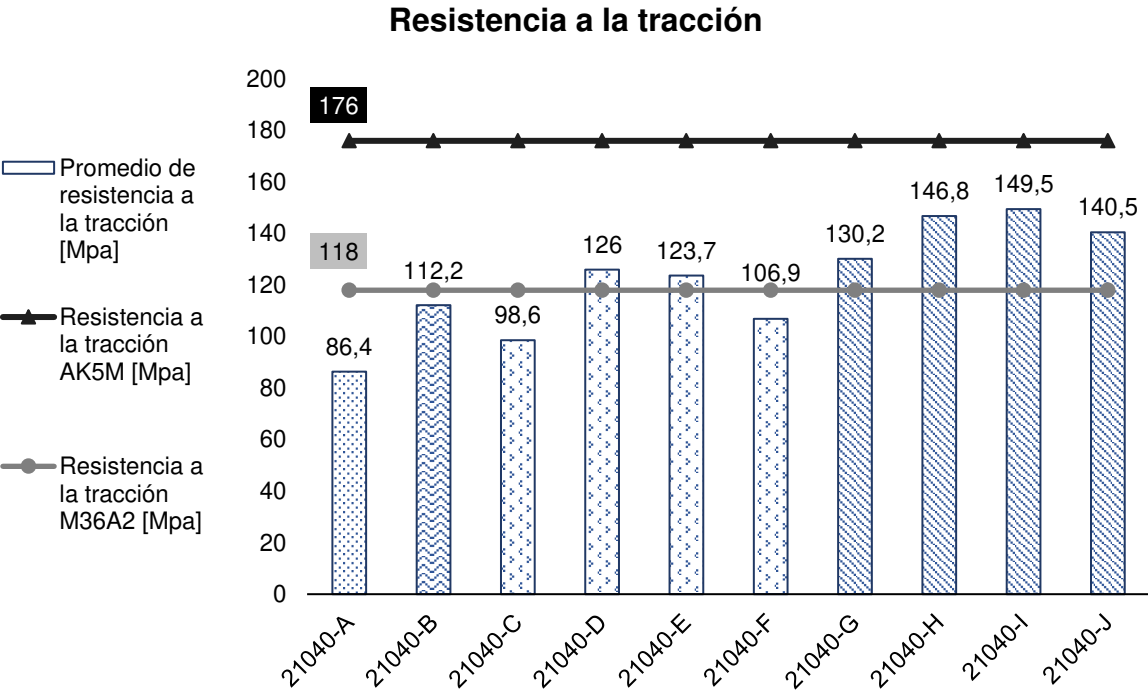


Figura 3.4 Análisis del ensayo de resistencia a la tracción (Fuente: Propia)

**3.1.4. Análisis de resultados obtenidos del ensayo de dureza**

En la Tabla 3.3 se muestra los valores promedio de dureza obtenidos de cada una de las probetas ensayadas, el valor de dureza obtenido en la investigación de Mendoza & Oña y el valor de referencia de la dureza de la aleación AK5M.

Tabla 3.3 Análisis ensayo de dureza

Muestra	Promedio Dureza Brinell [HB]	Dureza Brinell AK5M [HB]	Dureza Brinell M36A2 [HB]
21040-A	37	65	42
21040-B	42		
21040-C	40		
21040-D	44		
21040-E	46		
21040-F	40		
21040-G	47		
21040-H	53		
21040-I	52		
21040-J	49		

(Fuente: Propia)

En la Figura 3.5 se observa una mejora de la dureza del material, ya que al comparar los resultados obtenidos con los de la investigación de Mendoza & Oña se puede evidenciar que se obtuvo valores más elevados y también más cercanos a los valores de la aleación de referencia.

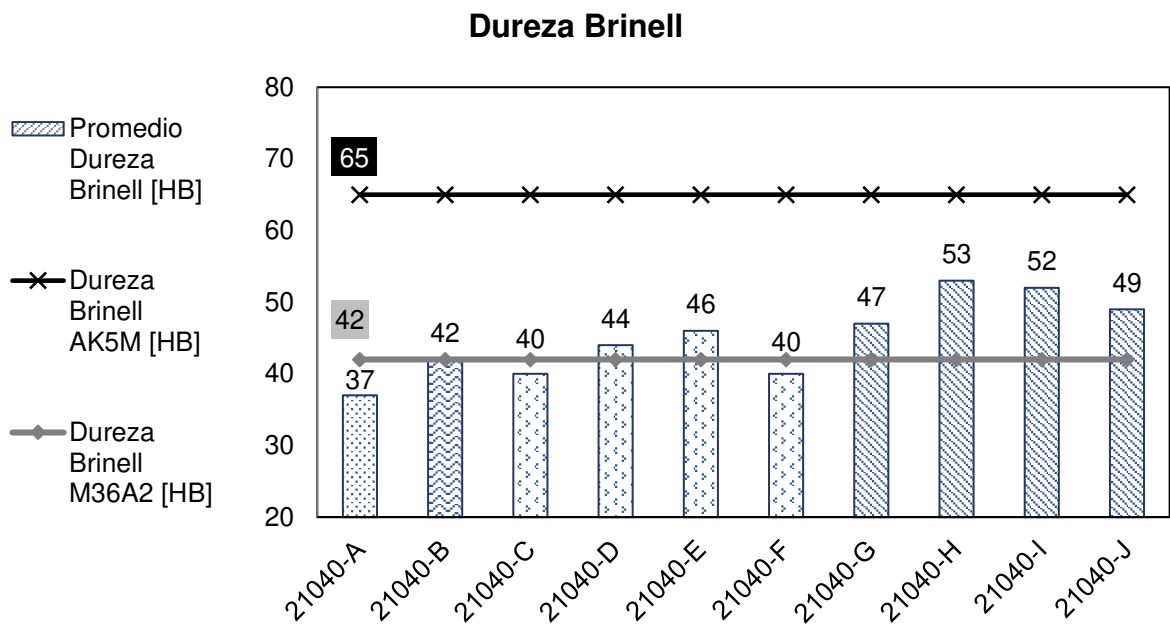


Figura 3.5 Análisis del ensayo de dureza  
(Fuente: Propia)

En la Figura 3.6 se destaca la relación directamente proporcional entre la dureza y la resistencia a la tracción; así también se observa que la tendencia a mejorar propiedades está relacionada con la aplicación de desgasificantes y fundentes, insuflado de argón y colado dinámico.

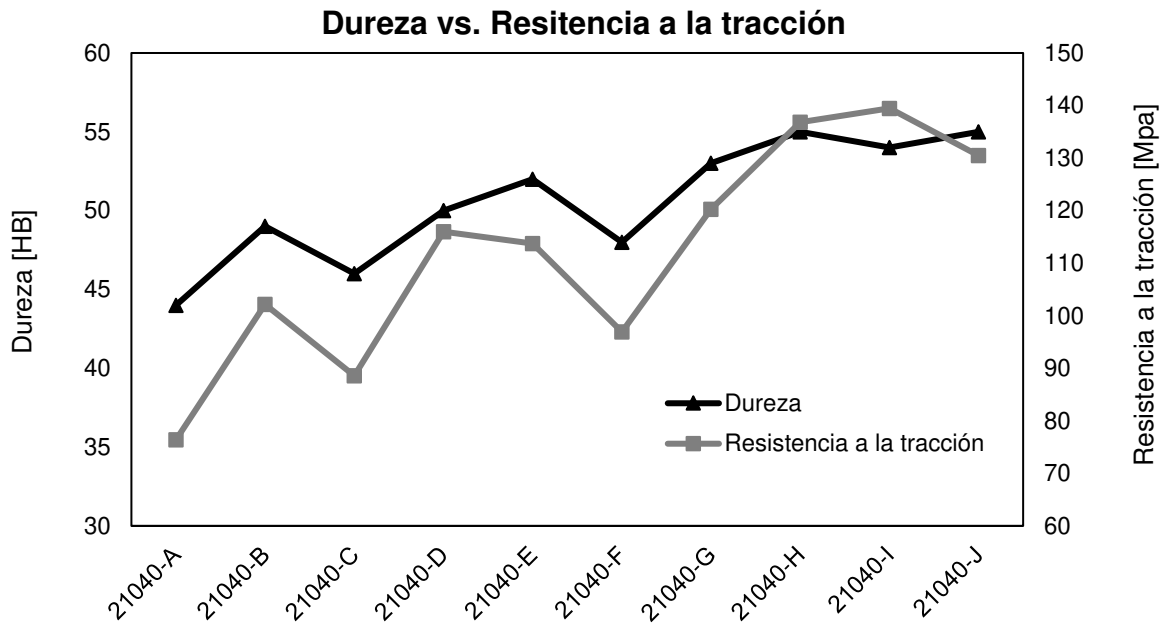


Figura 3.6 Dureza vs. Resistencia a la tracción.  
(Fuente: Propia)

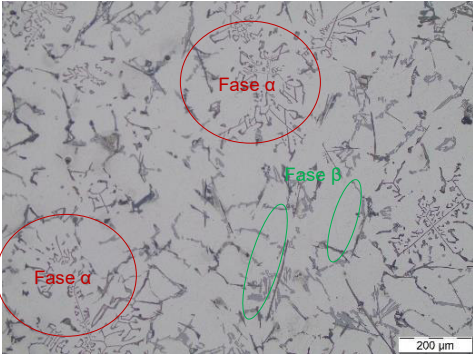
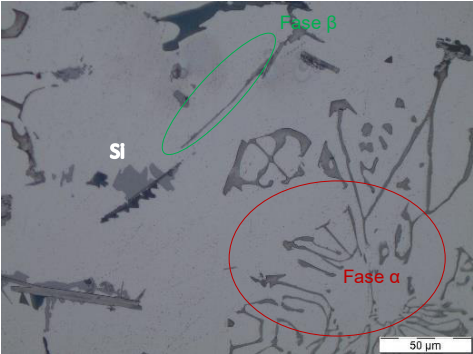

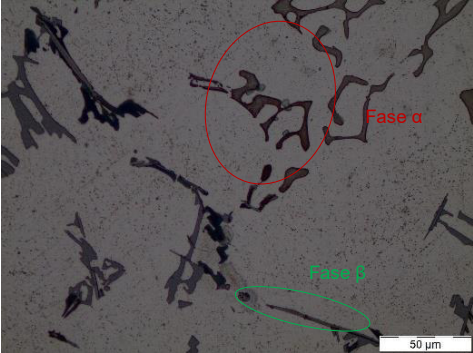
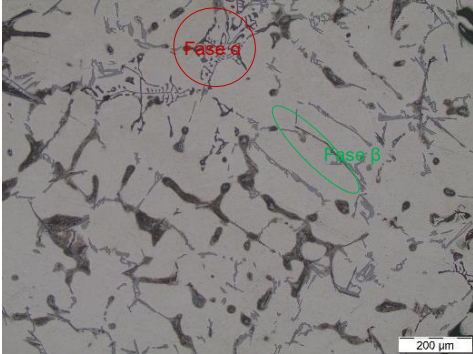
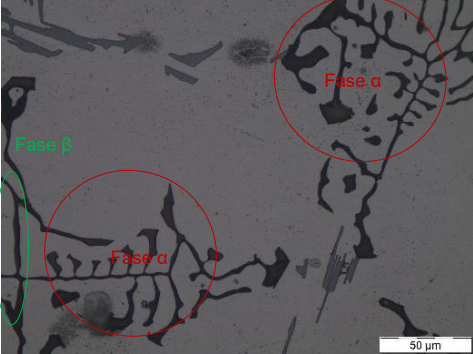
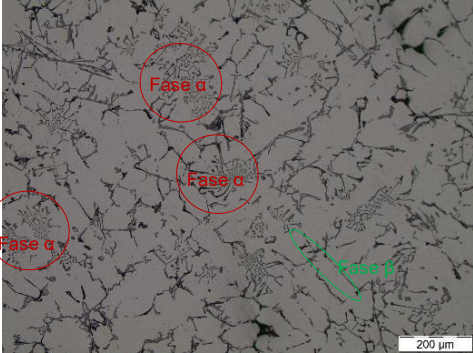
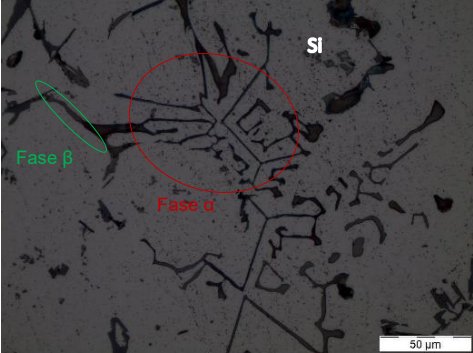
### 3.1.5. Análisis de resultados obtenidos del ensayo metalográficos

En la Tabla 3.4 se detalla las interpretaciones de las micrografías correspondientes a cada una de las probetas obtenidas en los diferentes procesos de fundición empleados, en las cuales se observa las estructuras típicas que se tienen en aleaciones fundidas de Al-Si.

Tabla 3.4 Resultados obtenidos del ensayo de microestructura

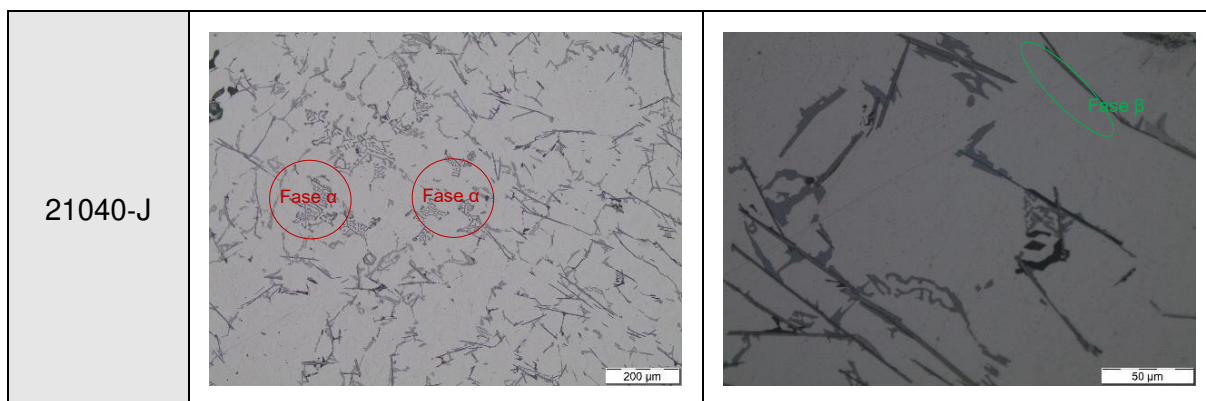
Muestra	Aumento 100x	Aumento 500x
21040-A		



<p>21040-B</p>		
<p>21040-C</p>		
<p>21040-D</p>		
<p>21040-E</p>		

<p>21040-F</p>		
<p>21040-G</p>		
<p>21040-H</p>		
<p>21040-I</p>		





(Fuente: Propia)

Mediante el ensayo metalográfico se logró observar microestructuras semejantes (21040-G, 21040-H, 21040-I, 21040-J) a las mostradas en las Figura 1.3 y Figura 1.6 en las que se presentan las dos fases propias de la microestructura de la aleación AK5M, como son la fase  $\beta$  en forma de agujas y la fase  $\alpha$  en forma de escritura china, teniendo así un sistema completamente modificado según el sistema de modificación por niveles mostrado en la Figura 1.5

Por otra parte, las probetas 21040-A y 21040-B presentan una estructura no modificada y la presencia desordenada de la fase  $\alpha$ , este fenómeno se encuentra reflejado en los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas analizados en los apartados 3.1.3 y 3.1.4; así también en la probeta 21040-A se observa presencia de partículas de Fe, esto se debe a una contaminación por parte del crisol a la colada.

En cuanto a las micrografías observadas en las probetas 21040-C, 21040-D y 21040-E, se tiene una estructura modificada, pero con mayor presencia de la fase  $\beta$ .

Mediante un análisis comparativo entre la Figura 3.7 y la Figura 3.8 se observa que existe gran similitud entre las microestructuras obtenidas tanto en la investigación de Mendoza & Oña, así como en el presente estudio. Se puede observar una distribución homogénea y ordenada de las interfaces  $\alpha$  y  $\beta$ , característica que otorga propiedades mecánicas similares a las de la aleación de referencia, cabe destacar que las propiedades obtenidas en la probeta 21040-I son superiores a las de la probeta M36A2.

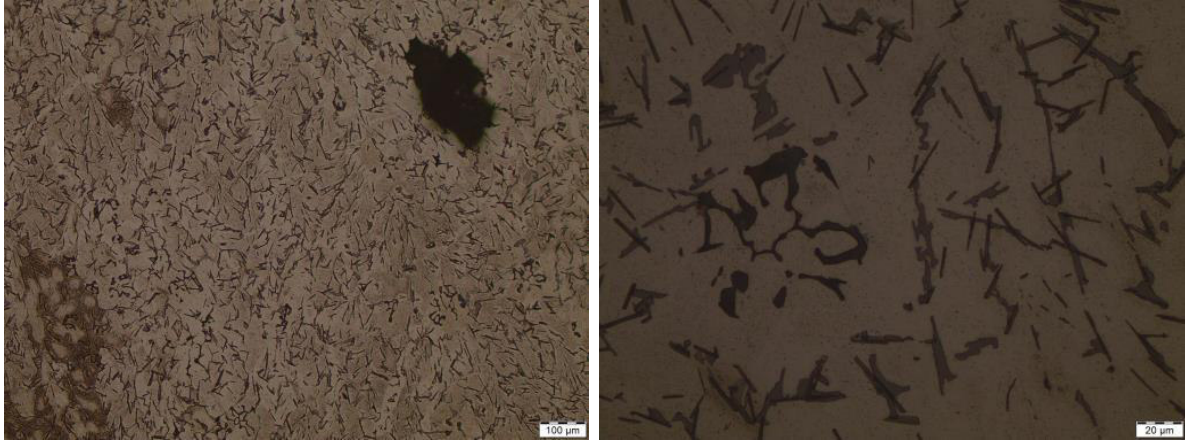


Figura 3.7 Micrografías de la probeta M36A2 de la investigación de Mendoza & Oña  
(Fuente: [18])

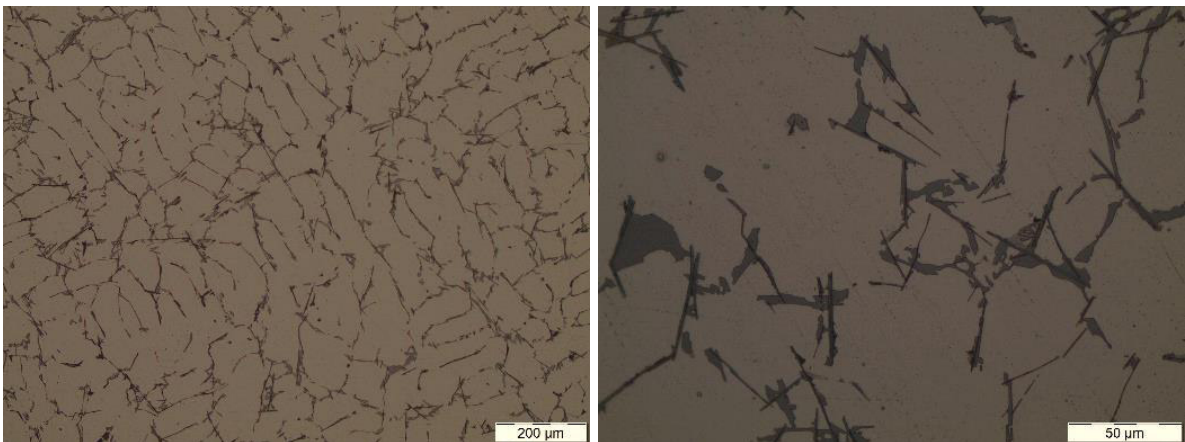


Figura 3.8 Micrografías de la probeta 21040-I.  
(Fuente: Propia)

### **3.1.6. Análisis de resultados obtenidos de las pruebas de porcentaje de porosidad mediante el método de densidad relativa.**

En la Tabla 3.5 se detalla los resultados de porcentaje de porosidad que presenta cada probeta mediante el análisis de densidad relativa.

En estos resultados se observa que la probeta que presenta el menor porcentaje de porosidad es la probeta 21040-I, es decir la probeta que tuvo un tratamiento con aditivos para la limpieza y desgasificación de la colada.

Tabla 3.5 Resultados obtenidos de las pruebas de porcentaje de porosidad mediante el método de densidad relativa.

Probeta	$W_p$ (g)	$V_p$ (cm <sup>3</sup> )	$\rho_r$ (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)
21040-A	27,3	11,54	2,37	11,24
21040-B	27,2	11,07	2,46	7,87
21040-C	27,1	11,45	2,36	11,61
21040-D	26,8	11,04	2,43	8,99
21040-E	27,21	11,01	2,47	7,49
21040-F	27,21	11,51	2,36	11,61
21040-G	27,21	11,05	2,46	7,87
21040-H	27,21	11,05	2,46	7,87
21040-I	27,4	11,01	2,49	6,74
21040-J	27,1	11,02	2,46	7,87

(Fuente: Propia)

Como se observa en la Figura 3.9, la relación entre la resistencia a la tracción y los valores obtenidos mediante las pruebas de cantidad de porosidad es indirectamente proporcional, ya que, al existir mayor porcentaje de porosidad en el material ensayado el valor de resistencia a la tracción tiende a disminuir, ya que los poros actúan como concentradores de tensión, aumentando la fragilidad de la aleación.

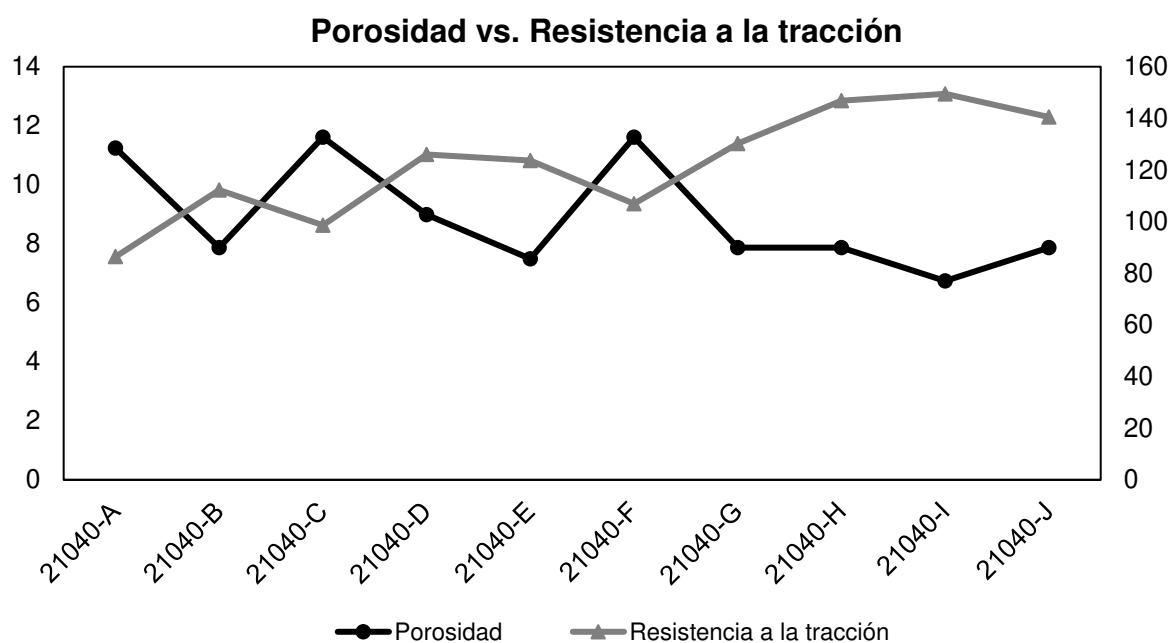



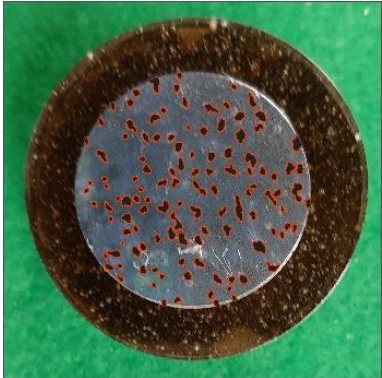


Figura 3.9 Resistencia a la tracción vs. Porcentaje de porosidad.  
(Fuente: Propia)

### 3.1.7. Análisis de resultados obtenidos de las pruebas de porcentaje de porosidad mediante el método de análisis fotográfico.




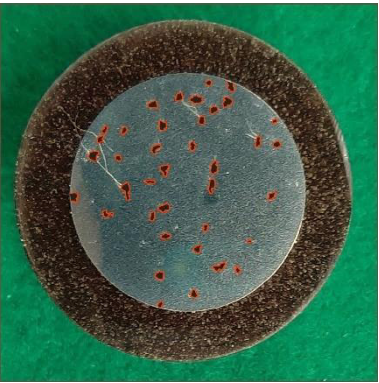


En la Tabla 3.6, se observa los resultados del análisis digital realizado a cada una de las muestras, en la que se observa la porosidad en una superficie plana de la probeta. En estos resultados se observa que la muestra 21040-A posee el mayor porcentaje de porosidad de 14,95%, esta muestra corresponde a la probeta testigo la cual fue fundida mediante colado estático y sin la adición de fundentes ni desgasificantes. Por otra parte, la menor cantidad de porosidad registrada se tiene en la probeta 21040-I, la cual tuvo un tratamiento con aditivos.

Los valores de porosidad obtenidos son significativamente menores comparándolos con los estos resultados de la investigación de Mendoza & Oña, en los cuales se obtuvieron valores de porosidad 35% a 12 Hz y 75% a 16 Hz.

Tabla 3.6 Resultados obtenidos de las pruebas de porcentaje de porosidad mediante el método análisis fotográfico.

21040-A	 <p data-bbox="459 1352 711 1384">Porosidad: 14,95%</p>	21040-F	 <p data-bbox="1066 1352 1318 1384">Porosidad: 12,97%</p>
21040-B	 <p data-bbox="459 1807 711 1839">Porosidad: 11,71%</p>	21040-G	 <p data-bbox="1066 1807 1318 1839">Porosidad: 7,91%</p>



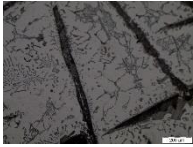
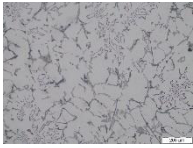
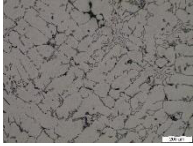
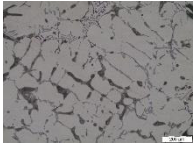
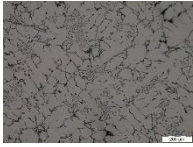
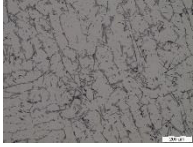
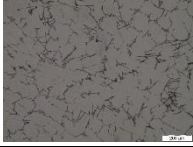
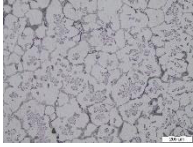
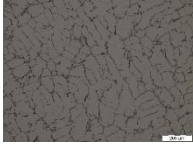
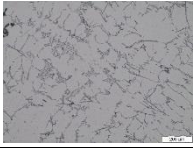
21040-C	 <p data-bbox="464 629 703 663">Porosidad: 13,5%</p>	21040-H	 <p data-bbox="1072 629 1311 663">Porosidad: 4,39%</p>
21040-D	 <p data-bbox="464 1081 703 1115">Porosidad: 8,57%</p>	21040-I	 <p data-bbox="1072 1081 1311 1115">Porosidad: 3,94%</p>
21040-E	 <p data-bbox="464 1534 703 1568">Porosidad: 8,19%</p>	21040-J	 <p data-bbox="1072 1534 1311 1568">Porosidad: 4,47%</p>

(Fuente: Propia)

### 3.2. Matriz comparativa

En la Tabla 3.7, se muestra una matriz comparativa de todos los resultados obtenidos, en los cuales se puede observar que los resultados guardan una gran relación entre la porosidad presente en cada muestras con las propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción y la dureza.

Tabla 3.7 Matriz comparativa.

Muestra	Porcentaje en peso de Alufundex	Porcentaje en peso de Apartagas	Insuflado de argón		Dureza (HB)	Resistencia a la tracción (Mpa)	Porosidad (%)	Microestructura
			Caudal [l/min]	Tiempo [min]				
21040-A (Estático)	-	-	-	-	37	86,4	11,09	
21040-B	-	-	-	-	42	112,2	7,39	
21040-C	0,3	0,15	-	-	40	98,6	11,74	
21040-D	0,3	0,25	-	-	44	126,0	8,75	
21040-E	0,5	0,15	-	-	46	123,7	7,35	
21040-F	0,5	0,25	-	-	40	106,9	11,38	
21040-G	0,3	-	1	2	47	130,2	7,35	
21040-H	0,5	-	1	2	53	146,8	7,35	
21040-I	0,3	0,15	1	2	52	149,5	6,71	
21040-J	0,5	0,25	1	2	49	140,5	7,73	

(Fuente: Propia)

### **3.3. Procedimiento para disminuir el porcentaje de porosidad en la aleación de aluminio AK5M.**

A continuación, se detallan los pasos a seguir para obtener la aleación con los mejores resultados en cuando a propiedades mecánicas y la menor cantidad de porcentaje de porosidad, la cual es la muestra 21040-I.

#### **Arena de moldeo**

Para realizar el moldeo se utilizó arena sílice aglomerada con 3 tipos de resina. Esta mezcla debe ser realizada en orden de acuerdo al tipo de resina. Primero se debe agregar la resina A, con 3,5% en peso con respecto al peso de arena sílice, posterior se debe agregar la resina B, con 1,26% en peso con respecto al peso de arena sílice y finalmente se debe agregar la resina C, con 3,50% en peso con respecto al peso de arena sílice.

#### **Ingreso de carga en el horno**

Se ingresa el crisol en el interior del horno de gas y éste es encendido durante 5 minutos para eliminar la humedad del crisol. Posteriormente se coloca cada una de las cargas metálicas al interior del crisol.

#### **Fundición del material**

Después de 80 minutos el horno habrá alcanzado una temperatura de alrededor de 750°C, la cual es una variable importante ya que en este instante la colada del material tendrá la suficiente fluidez y con esta temperatura se deberá realizar el proceso de la limpieza de la colada.

#### **Limpieza de la colada**

Se utilizará el fundente Alufundex extra con una composición de 0,3% en peso de la carga. El fundente es ingresado en la colada con la ayuda de una campana y cuidadosamente se agitará.

#### **Desgasificación de la colada**

Posteriormente se utilizará desgasificante Apartagas H7 con una composición de 0,15% en peso de la carga. Sin retirar la escoria generada del proceso anterior, se deberá sumergir por medio de una campana perforada, el desgasificante sólido empleado. Se debe mantener la campana en el fondo del crisol hasta que cese el desprendimiento de burbujas producidas por el desgasificante.

Utilizando el utillaje apropiado se debe retirar la escoria del proceso anterior. A continuación, se debe sumergir el sistema de insuflado de argón y agitarlo de manera continua con el caudal y tiempo establecidos. Para el actual caso de estudio se utilizó un caudal de 1l/min de acuerdo

al peso de la carga y de estableció un tiempo de 2 minutos, durante el cual el sistema de insuflado permanecerá encendido.

### **Vertido del material**

Apagar el horno y retirar el crisol del interior de éste. Posteriormente se debe retirar la escoria de la colada.

Antes de realizar en colado del material, cuando el material está siendo fundido al interior del horno, se debe calentar el molde de arena con una lanza de llama, para evitar el choque térmico cuando ingrese el material fundido en la moldura del molde.

El molde de arena debe ser puesto sobre la mesa vibratoria y con la ayuda de unas prensas debe ser fijado a la mesa.

Encender la mesa vibratoria, con los parámetros ya establecidos. Y se procede a verter la colada en la molde, tomando en cuenta el tiempo de vertido calculado. El sistema permanecerá encendido durante 2 minutos posterior al vertido. La mesa vibratoria utilizará una frecuencia del motor de 36Hz y una Amplitud de  $\pm 0,07\text{cm}$ , esta amplitud se producirá por un disco excéntrico de diámetro 11cm y espesor 2,6cm.



## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. Conclusiones**

Se caracterizó la aleación aluminio obtenida mediante los diferentes procesos de fundición establecidos en el presente estudio, cuyos resultados muestran valores de dureza y resistencia a la tracción superiores a los valores obtenidos en la investigación previa

Al dar un mejor tratamiento a la carga de material adicionando fundentes y desgasificantes se disminuyó el porcentaje de porosidad de 35% obtenido en la investigación previa al 6% obtenido en la presente investigación.

Se evidenció que la diferencia entre los valores de las propiedades de aleación de referencia con los valores obtenidos de las probetas fundidas se debe a que el proceso de fundición se lo realizó de manera artesanal, pero manteniendo un control en las variables esenciales del proceso.

El análisis de composición química demostró que la adición de fundentes y desgasificantes no altera la composición química de la aleación, siendo así que todas las muestras ensayadas se encontraron dentro del espectro de valores correspondientes a la aleación AK5M, independientemente del proceso de obtención.

Mediante inspección visual se observó que las piezas fundidas presentan un buen acabado superficial, es decir no se aprecia discontinuidades considerables como rechupes, fisuras o poros de gran tamaño. Cabe mencionar que momento del mecanizado de la pieza para obtener las probetas de ensayo se evidencia la presencia mínima de poros y microrechupes.

Se determinó que el porcentaje de porosidad disminuye considerablemente al utilizar colado dinámico con la aplicación completa aditivos llegando a valores de hasta 6%, mientras que la muestra obtenida convencionalmente mediante colado estático presento un valor relativamente alto, por sobre el 11%; influyendo así en sus propiedades mecánicas

Las pruebas de cantidad de porosidad realizadas arrojaron resultados cuya relación es inversamente proporcional a los valores obtenidos en los ensayos de dureza y resistencia a la tracción, es decir que a medida que la pieza presenta mayor cantidad de porosidad sus propiedades mecánicas disminuyen.

Una vez analizado los resultados del estudio, se determinó que la probeta 21040I presenta las mejores propiedad y con mayor similitud a la aleación de referencia, destacando que esta

probeta se obtuvo mediante colado dinámico y aplicando el método completo de fundentes y desgasificantes, es decir utilizando el fundente Alufundex extra, el desgasificante sólido Apartagas H7 e insuflado de argón.

## **4.2. Recomendaciones**

Para evitar inclusiones de hierro de la colada es importante la aplicación de silicatos y pintura refractaria en el crisol del hierro, ya que esta contaminación directamente en las propiedades del material.

Se recomienda utilizar molde permanente debido a las ventajas que éste presenta como evitar la generación de gases procedentes del mismo molde, además que se tiene un mayor control de la temperatura de solidificación, de esta manera se podrá obtener una mejor microestructura y con ello una mejora en las propiedades del material.

Para una mejor distribución de las burbujas de argón, se recomienda el uso de un sistema rotativo de insuflado, ayudando a que las burbujas de gas cubran un mayor volumen de colada, para obtener una mejor desgasificación.

Con el fin de obtener una colada con menor cantidad de inclusiones y escoria, se recomienda primero fundir la chatarra y tratarla mediante escorificantes, posteriormente se deberá volverla a fundir agregando el material requerido para obtener la aleación deseada.

Se recomienda realizar el estudio del proceso de solidificación en el colado dinámico, para controlar la microestructura del material ya que las propiedades que se obtienen dependerán de las fases que se forman al solidificarse.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] J. S. Sánchez De La Cruz y B. S. Proaño Sarauz, «Diseño y Construcción de una Mesa Vibradora para utilizarla en Colado Dinámico», Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2014. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8612>
- [2] D. A. Villamarín Tipán y B. P. Vozmediano Obando, «Proyecto de implementación, adecuación e instalaciones para los equipos del laboratorio de fundición de la ESPE», Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Quito, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/1098>
- [3] A. R. Garrido Meneses y V. H. Sánchez Taco, «Determinación de la metodología para la obtención de aleaciones de aluminio de fundición maquinables sin porosidades», Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2011. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3955>
- [4] J. C. Jurado Lascano, «Estudio para determinar un procedimiento que disminuya la porosidad en el aluminio durante el proceso de fundición para mejorar sus propiedades mecánicas.», Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/1172>
- [5] E. Jumbo Ramírez, «Análisis por el Método de los Elementos Finitos de una plataforma vibratoria para el vertido de metales ferrosos y no ferrosos», Universidad de Holguín, Holguín, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uho.edu.cu/xmlui/handle/uho/5389>
- [6] M. V. Glazoff, V. S. Zolotarevsky, y N. A. Belov, Casting Aluminum Alloys. Elsevier, 2010.
- [7] J. E. Gruzleski, B. M. Closset, y A. F. Society, The Treatment of Liquid Aluminum-silicon Alloys. American Foundrymen's Society, Incorporated, 1990.
- [8] B. Radwan y A. K. Dahle, «Treatment of a Liquid Al-Si Alloy», p. 55.
- [9] W. D. Callister, Introducción A La Ciencia E Ingeniería De Los Materiales - Volumen 2. Barcelona, 1996.
- [10] M. Warmuzek, Aluminum-silicon Casting Alloys: An Atlas of Microfractographs. ASM International, 2004.
- [11] Company Auremo, «Alloy AK5M (AЛ5)», Alloy AK5M (AЛ5). <https://auremo.biz/materials/splav-ak5m-al5.html> (accedido nov. 07, 2021).
- [12] S. Kalpakjian y S. Schmid, Manufacturing: Engineering & Technology, 5ta ed. 2008.
- [13] M. P. Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems 3rd Edition with Materials Process Mfg 10th Edition ISU Set. John Wiley & Sons Canada, Limited, 2008.
- [14] V. Promakhov, M. Khmeleva, I. Zhukov, V. Platov, A. Khrustalyov, y A. Vorozhtsov, «Influence of Vibration Treatment and Modification of A356 Aluminum Alloy on Its

- Structure and Mechanical Properties», *Metals*, vol. 9, p. 87, ene. 2019, doi: 10.3390/met9010087.
- [15] Z. Zhao, Z. Fan, X. Dong, B. Tang, D. Pan, y J. Li, «Influence of mechanical vibration on the solidification of a lost foam cast 356 alloy», *China Foundry*, vol. 7, pp. 24-29, feb. 2010.
- [16] J. P. Pizango Ventimilla y J. J. Quinga Vega, «Caracterización de una aleación de latón obtenida por colado dinámico con variación de frecuencia», Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19371>
- [17] G. E. Totten y D. S. MacKenzie, *Handbook of Aluminum: Vol. 1: Physical Metallurgy and Processes*. CRC Press, 2003.
- [18] A. G. Mendoza Baraja y M. A. Oña Coba, «Caracterización comparativa de una aleación de aluminio entre los procesos de colado estático y colado dinámico con variación de frecuencia y amplitud en la mesa vibratoria», Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20887>
- [19] A. S. for Metals, *Source Book on Selection and Fabrication of Aluminum Alloys: A comprehensive collection of outstanding articles from the industrial and reference literature*. Metals Park, Ohio: ASM, 1978.
- [20] J. G. Kaufman y E. L. Rooy, *Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications*. ASM International, 2004.
- [21] ASTM International, «ASTM E8/E8M 15a Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials», ASTM International. doi: 10.1520/E0008\_E0008M-15A.
- [22] ASTM International, «ASTM E3-11 Guide for Preparation of Metallographic Specimens», ASTM International. doi: 10.1520/E0003-11R17.
- [23] ASTM International, «ASTM E10 -15 Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials», ASTM International. doi: 10.1520/E0010-15.
- [24] P. N. Rao, *Manufacturing Technology—Foundry, Forming and Welding, 5e (Volume 1)*. McGraw-Hill Education, 2018.
- [25] A. S. Parra Otárola, «Diseño del sistema de alimentación y alimentadores de los latones rojos Latón 85-5-5-5 (C 83600)», Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 1998. [En línea]. Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2922826>
- [26] P. Beeley, *Foundry Technology*. Butterworth-Heinemann, 2001.
- [27] J. CAMPBELL, «10 rules for good castings», *Mod. cast*, vol. 87, n.º 4, pp. 36-39, 1997.
- [28] ASM International, *Casting design and performance*. Materials Park, Ohio: ASM International, 2009. Accedido: nov. 07, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://www.books24x7.com/marc.asp?bookid=42630>
- [29] A. M. Mikhailov y V. V. Afanasyev, *Metal casting*. Moscow: Mir Publishers, 1989.

- [30] IPF, Guía de Fundición. Sevilla: Universidad de Sevilla, 2014.
- [31] U. S. Navy, Foundry Manual. Fredonia Books, 2006.
- [32] José Alberto García Chacón, «Estudio de la influencia de diferentes diseños de los sistemas de alimentación y compensación en la fundición en arena», Universidad de Sevilla, Sevilla, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/60372/>
- [33] N. D. Titov y Yu. A. Stepanov, Foundry Practice. 1981. [En línea]. Disponible en: <http://archive.org/details/titov-stepanov-foundry-practice>
- [34] R. A. Serway y J. W. Jewett, Physics for Scientists and Engineers. Thomson-Brooks/Cole, 2004.

## ANEXOS

### Anexo I: Dimensionamiento del molde en posición horizontal.

#### Volumen de pieza

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = \pi * (1,5 \text{ cm})^2 * (22,5 \text{ cm})$$

$$V = 159,04 \text{ cm}^3$$

#### Masa de pieza

$$M = \rho * V$$

$$M = 2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 159,04 \text{ cm}^3$$

$$M = 429,42 \text{ g}$$

$$M_T = 3 M$$

$$M_T = 3 * 429,42 \text{ g}$$

$$M_T = 1288,25 \text{ g}$$

$$M_T = 1,28825 \text{ Kg}$$

#### Masa de la moldura incluida el sistema de alimentación y respiraderos



$$W = 2000 \text{ g}$$

#### Tiempo de colado

$$t = A \delta^m M^n$$

$$t = 1,7 * 30^{0,334} * 1,28825^{0,334}$$

$$t = 5,76 \text{ s}$$

$$t \approx 6 \text{ s}$$

### Altura efectiva del bebedero

$$H = h - \frac{c}{2}$$
$$H = 40 \text{ mm} - \frac{30 \text{ mm}}{2}$$
$$H = 25 \text{ mm}$$
$$H = 2,5 \text{ cm}$$

### Área inferior del bebedero

$$Ab_i = \frac{W}{\rho t c \sqrt{2 g H}}$$
$$Ab_i = \frac{2000 \text{ g}}{2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 5,76 \text{ s} * 0,90 * \sqrt{2 * 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}} * 2,5 \text{ cm}}}$$
$$Ab_i = 2,04 \text{ cm}^2$$

### Diámetro inferior del bebedero

$$Ab_i = \frac{\pi Db_i^2}{4}$$
$$Db_i = \sqrt{\frac{4 Ab_i}{\pi}}$$
$$Db_i = \sqrt{\frac{4 * 2,04 \text{ cm}^2}{\pi}}$$
$$Db_i = 1,61 \text{ cm}$$
$$Db_i \approx 16 \text{ mm}$$

### Diámetro superior del bebedero

$$\frac{A_2}{A_1} = \sqrt{\frac{h_1}{h_2}}$$
$$\frac{Ab_i}{Ab_s} = \sqrt{\frac{h_a}{h_b}}$$
$$\frac{13 \text{ mm}}{Db_s} = \sqrt{\frac{0,3 * 40 \text{ mm}}{40 \text{ mm}}}$$

$$Db_s = \frac{13 \text{ mm}}{\sqrt{0,3}}$$

$$Db_s = 29,21 \text{ mm}$$

$$Db_s \approx 29 \text{ mm}$$

### Diámetro superior del embudo de vertido

$$De_s = 1,3 De_i$$

$$De_s = 1,3 Db_s$$

$$De_s = 1,3 * 29 \text{ mm}$$

$$De_s = 37,7 \text{ mm}$$

$$De_s \approx 38 \text{ mm}$$

### Diámetro del Pozo de colado

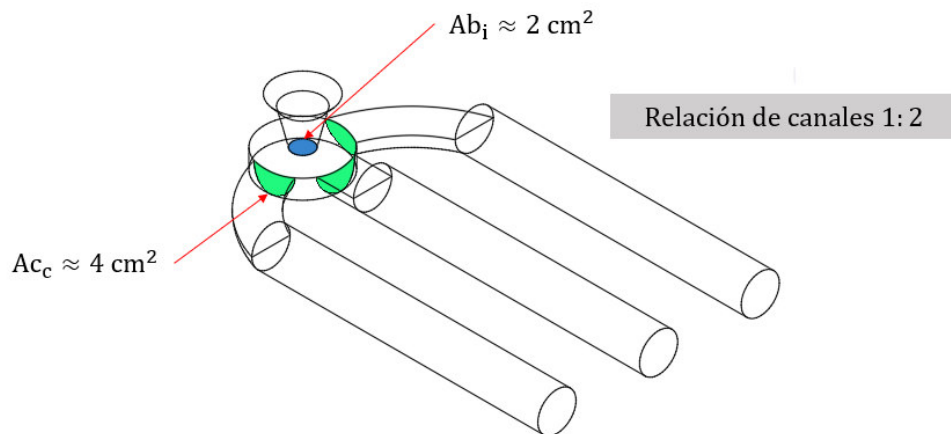
$$Ap = 5 Ab_i$$

$$Dp = 5 Db_i$$

$$Dp = 5 * 16 \text{ mm}$$

$$Dp = 80 \text{ mm}$$

### Área del canal de colado





**Anexo II: Resultados del ensayo de composición química realizado a los pistones automotrices.**

**Bruker Analysis Report**



Sample: M1

Analysis Time: 19.11.2020 08:45:40

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	14,10	1,381	1,182	0,142	1,563
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,093	1,076	0,202	0,025	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,017	<0,0030	0,0045	0,0060
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,014	80,19			

## Bruker Analysis Report



Sample: M2

Analysis Time: 19.11.2020 09:38:51

Method: Al120

---

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	14,09	1,354	0,843	0,136	1,632
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,080	0,953	0,153	0,026	0,0049
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,019	<0,0030	0,0042	0,0055
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,018	80,67			

## Bruker Analysis Report



Sample: M3

Analysis Time: 19.11.2020 10:57:23

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	13,10	1,529	0,842	0,104	1,275
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,080	1,347	0,150	0,022	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,014	<0,0030	0,0030	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,024	81,52			

## Bruker Analysis Report



Sample: M4

Analysis Time: 19.11.2020 11:33:36

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	13,02	1,127	1,661	0,132	1,392
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,062	1,239	0,061	0,023	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,012	<0,0030	0,0038	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0039	81,25			

## Bruker Analysis Report



Sample: M5

Analysis Time: 19.11.2020 11:19:52

Method: Al120

---

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	<b>13,16</b>	<b>0,974</b>	<b>1,817</b>	<b>0,109</b>	<b>1,231</b>
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	<b>0,027</b>	<b>1,417</b>	<b>0,100</b>	<b>0,021</b>	<b>&lt;0,0040</b>
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<b>0,012</b>	<b>0,015</b>	<b>&lt;0,0030</b>	<b>0,0045</b>	<b>0,0036</b>
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	<b>0,011</b>	<b>81,10</b>			

## Bruker Analysis Report



Sample: M6

Analysis Time: 19.11.2020 11:41:48

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	13,81	0,742	1,781	0,079	0,743
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,022	0,996	0,052	0,025	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,013	<0,0030	0,0038	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,016	81,70			

## Bruker Analysis Report



Sample: M7

Analysis Time: 26.11.2020 14:23:06

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	13,69	1,049	1,741	0,114	0,723
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,037	1,165	0,067	0,029	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,016	<0,0030	0,0038	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,019	81,33			

## Bruker Analysis Report



Sample: M8

Analysis Time: 26.11.2020 14:31:26

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	13,29	1,174	1,729	0,125	0,724
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,043	1,053	0,074	0,021	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,018	<0,0030	0,0039	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,028	81,71			



## Bruker Analysis Report



Sample: M9

Analysis Time: 26.11.2020 15:03:12

Method: Al120

---

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	13,48	0,645	2,217	0,154	1,183
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,047	0,870	0,060	0,028	0,023
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	0,031	0,025	0,0057	0,0080	0,011
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0040	81,21			

## Bruker Analysis Report



Sample: M10

Analysis Time: 26.11.2020 15:14:18

Method: Al120

---

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	13,54	0,966	2,491	0,153	1,114
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,058	1,502	0,075	0,033	0,023
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	0,031	0,032	0,0048	0,0086	0,011
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0040	79,96			

## Bruker Analysis Report



Sample: M11

Analysis Time: 26.11.2020 15:36:14

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	13,88	1,316	1,705	0,063	0,582
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,036	1,172	0,092	0,028	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,014	<0,0030	0,0047	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0047	81,10			

## Bruker Analysis Report



Sample: M12

Analysis Time: 01.12.2020 16:10:07

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	13,69	1,932	1,888	0,085	0,444
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,027	1,453	0,035	0,020	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,011	<0,0030	0,0035	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0022	80,39			

## Bruker Analysis Report



Sample: M13

Analysis Time: 26.11.2020 16:12:28

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	14,02	0,728	1,836	0,097	0,683
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,017	1,131	0,037	0,026	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,013	<0,0030	0,0040	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0052	81,39			

## Bruker Analysis Report



Sample: M14

Analysis Time: 26.11.2020 16:21:51

Method: Al120

---

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	13,11	1,377	1,203	0,064	0,688
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,031	1,045	0,086	0,026	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,014	<0,0030	0,0032	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0070	82,34			

## Bruker Analysis Report



Sample: M15

Analysis Time: 26.11.2020 16:26:05

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	13,24	0,960	1,797	0,066	0,685
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,034	1,331	0,075	0,031	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,013	<0,0030	0,0042	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0063	81,75			

## Bruker Analysis Report



Sample: M16

Analysis Time: 26.11.2020 16:55:03

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	14,24	0,631	1,945	0,076	0,574
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,019	0,855	0,034	0,031	0,0062
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	0,014	0,015	<0,0030	0,0051	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0019	81,55			



## Bruker Analysis Report



Sample: M17

Analysis Time: 01.12.2020 10:31:08

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	13,18	1,424	1,789	0,076	0,630
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,021	1,300	0,028	0,025	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,012	<0,0030	0,0039	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0023	81,49			

## Bruker Analysis Report



Sample: M18

Analysis Time: 01.12.2020 09:16:06

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	13,42	1,547	1,866	0,101	0,874
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,049	1,176	0,064	0,025	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	0,011	0,020	<0,0030	0,0043	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0045	80,84			

## Bruker Analysis Report



Sample: M19

Analysis Time: 01.12.2020 09:51:19

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	12,82	1,032	1,437	0,104	1,462
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,070	1,291	0,160	0,031	0,0069
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	0,011	0,016	<0,0030	0,0059	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,013	81,54			

## Bruker Analysis Report



Sample: M20

Analysis Time: 01.12.2020 09:57:03

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	13,16	1,720	1,676	0,084	0,603
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,022	1,113	0,029	0,023	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,011	<0,0030	0,0032	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0023	81,56			

**Anexo III: Resultados del ensayo de composición química realizado a las láminas de aluminio.**

**Bruker Analysis Report**



Sample: M1

Analysis Time: 08.12.2020 16:00:20

Method: Al100

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	0,059	0,260	<0,0020	<0,0020	<0,0020
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	<0,0020	<0,0050	0,0052	0,027	<0,050
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Cd [%]</b>
∅	<0,0050	0,019	0,0032	<0,0020	<0,0050
	<b>Co [%]</b>	<b>B [%]</b>	<b>Ag [%]</b>	<b>Bi [%]</b>	<b>Ca [%]</b>
∅	<0,0030	0,0030	<0,0010	<0,0060	0,0012
	<b>Li [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	<0,300	99,60			

Anexo IV: Ficha técnica Alufundex.

**INDUSTRIAL JUVAL/LTDA.**

FICHA TÉCNICA	<b>CÓDIGO</b> FT 1235	<b>FECHA VIGENCIA</b> 31/01/2012
	<b>VERSIÓN</b> 2	Página 1 de 1

Nombre : **ALU FUNDEX EXTRA**  
 Código : 1235  
 Descripción general : Fundente escorificante para todas las aleaciones de Aluminio.  
 Excelente para la recuperación de escorias y virutas.

<b>PROPIEDADES</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>
Presentación	Polvo
Peso específico	1.28-1.42
Color	Rosado
Olor	Penetrante
Empaque	Saco de polipropileno, con bolsa interior de polietileno x 25 o 50 kilos.
Almacenamiento	Lugar seco bajo techo. Reparar bolsas y sacos rotos inmediatamente. Colocar máximo 10 sacos o 3 pallets en vertical
Precauciones de uso	Usar guantes PVC, gafas protectoras y máscara para polvos.

N/A: No Aplica  
 N/C: No Conocido

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
(Firma)	(Firma)	(Firma)
NOMBRE: Alvaro Romero Osario CARGO : Ing. División Fundición. FECHA : 27/01/2012	NOMBRE: María T. Gómez R. CARGO : Jefe de Producción FECHA : 27/01/2012	NOMBRE : Hernando Bueno Azuero CARGO : Gerente FECHA : 27 /01/2012

CRA 53 F N° 5 C - 16 PBX: 4203188 FAX: 2907337  
 E-mail: [juvalcol@juval.com](mailto:juvalcol@juval.com) <http://www.juval.com>  
 Bogotá D.C.- Colombia

## **INDUSTRIAL JUVAL/LTDA.**

e-mail: juvCNol@juval.com

http://www.juval.com

### **ALU FUNDEX E**

ALU FUNDEX son una serie de fundentes que protegen, cubren y limpian las aleaciones de aluminio durante la fusión. Estos productos forman una capa protectora sobre el metal fundido, la cual reduce la oxidación y minimiza la absorción de hidrógeno.

#### **VENTAJAS QUE SE OBTIENEN CON EL USO DE ALU FUNDEX:**

- ✓ Reducción de la oxidación y las pérdidas de aluminio con un consiguiente incremento de la fluidez.
- ✓ Absorción de materias no metálicas o inclusiones es otro de los problemas que resuelve el ALU FUNDEX, con la consiguiente mejora en las propiedades mecánicas.
- ✓ Formación de una capa protectora que conlleva a una menor facilidad de absorción de gases.
- ✓ Reducción del contenido metálico en las escorias, por lo tanto mayor rendimiento de fusión.
- ✓ Seguridad. Actuación siempre idéntica. Suministro del fundente libre de humedad.

#### **• ALU FUNDEX E:**

Fundente escorificante de alta eficiencia, aplicado en la fundición de aluminio en crisol u horno de reverbero. Aplicación del 0.3-0.5% en peso con respecto a la carga dependiendo del tipo de material a fundir. Tiene excelente recuperación de metal en hornos tipo reverbero.

#### **MÉTODO DE APLICACIÓN DEL ALU FUNDEX E**

1. Calentar el crisol vacío. Luego el lingote y/o chatarra y añadir 250 gramos de ALU- FUNDEX E, por cada 50 kg de carga.  
El ALU FUNDEX E, protege la carga durante la fusión, reduce la oxidación y la absorción de gases. Debido a la disminución de óxidos, el aluminio tiene mayor colabilidad.
2. Cuando la temperatura alcance los 700°C, apagar el fuego o sacar el crisol del horno. El calor residual elevará la temperatura de la carga hasta unos 750°C.
3. Espolvorear sobre la superficie 250gr de ALU FUNDEX E, por cada 50kg de carga y dejar reposar un minuto.  
El ALU FUNDEX E, produce una reacción exotérmica con la escoria, con lo cual se logra que el metal retenido por la escoria se desprenda y regrese al baño.
4. Poner en íntimo contacto el fundente con la escoria mediante agitación apropiada
5. Con una cuchara perforada retirar la escoria ya libre de metal y proceder a la colada. Las temperaturas adecuadas de colada son:

750°C	Para piezas livianas de espesor inferior a 10mm.
710°C	Para piezas de espesor entre 10 y 35mm.
690°C	Para piezas de espesor superior a 35mm.

Debe evitarse la excesiva temperatura, de lo contrario aumentar la absorción de gas y las pérdidas por oxidación.

#### **MÉTODO DE APLICACIÓN DEL ALU FUNDEX E EN HORNO REVERBERO:**

1. Una vez terminada la colada y alcanzada la temperatura de vaciado, adicionar sobre la superficie de metal ALU FUNDEX E en bolsas pequeñas procurando distribuir el material homogéneamente sobre el baño. Si se dispone de una pistola de inyección de fundente, este producto puede ser introducido por este medio.
2. Agitar enérgicamente el baño para llevar las inclusiones a la superficie y poner el ALU FUNDEX E en íntimo contacto con la escoria y metal.
3. Retirar la escoria con la rastra y observar la consistencia de la escoria. Si presenta todavía mucho aluminio metálico atrapado, deberá ajustarse la cantidad hasta encontrar el punto ideal de aplicación. La adición de ALU FUNDEX E se puede situar entre 0,3 a 0,5% en peso.  
En hornos de gran tamaño la adición es menor situándose en 0.1-0.3%.

CARRERA 53F No.5C-16 - PBX: 4203188 FAX: 2907337 APARTADO AEREO (P.O.BOX) 1716  
BOGOTÁ D.C. - COLOMBIA

**Anexo V: Ficha técnica Apartagas.**

**INDUSTRIAL JUVAL/LTDA.**

<b>FICHA TÉCNICA</b>	<b>CÓDIGO</b> FT 1260	<b>FECHA VIGENCIA</b> 31/01/2012
	<b>VERSIÓN</b> 2	Página 1 de 1

Nombre : **APARTAGAS H7-50**  
 Código : 1260  
 Descripción general : Desgasificante para Aluminio y Magnesio, en hornos de crisol pequeños.

**PROPIEDADES**

Presentación :  
 Peso específico :  
 Color :  
 Olor :  
 Empaque :  
 Almacenamiento :  
 Precauciones de uso :

**ESPECIFICACIÓN**

Pastilla.  
 50gr.  
 Azul.  
 Penetrante.  
 Caja de cartón x 36Kg  
 Lugar seco bajo techo. Máximo tres cajas en vertical.  
 Máximo dos pallets en vertical  
 Usar guantes PVC, gafas protectoras y máscara para polvos.

N/A: No Aplica  
 N/C: No Conocido

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
(Firma)	(Firma)	(Firma)
NOMBRE: Alvaro Romero Osario CARGO : Ing. División Fundición. FECHA : 27/01/2012	NOMBRE: María T. Gómez R. CARGO : Jefe de Producción FECHA : 27/01/2012	NOMBRE : Hernando Bueno Azuero CARGO : Gerente FECHA : 27 /01/2012



## **INDUSTRIAL JUVAL/LTDA.**

e-mail: juvCNol@juval.com

http://www.juval.com

### **APARTAGAS**

APARTAGAS es un rápido y efectivo desgasificante para aluminio y sus aleaciones, evitando así la porosidad en la pieza fundida.

#### **CAUSA Y EFECTO DE LA POROSIDAD GASEOSA**

La porosidad que se presenta en las piezas coladas y conocida con el nombre de "picado de aguja", es siempre debida a hidrógeno disuelto en el metal fundido, cuyo gas es expulsado en pequeñas burbujas a través de la pieza mientras esta se solidifica. La presencia de hidrógeno se debe en primer lugar a condiciones defectuosas del horno, herramientas húmedas, chatarra oxidada y prolongado mantenimiento del metal a excesiva temperatura. Piezas de aluminio porosas, significan piezas rechazables, con baja resistencia mecánica, ausencia de compacidad y mal acabado superficial.

#### **DESGASIFICACIÓN:**

Con el objeto de eliminar la porosidad, se ha desarrollado el APARTAGAS que proporciona una rápida y cómoda desgasificación, del baño, a la vez que es más efectiva que cualquier otro tipo de desgasificación, por las siguientes razones:

- Se sumerge en el baño.
- No requiere destreza en su manejo.
- No necesita equipo complicado ni costoso.
- No es tóxico.
- Es extraordinariamente eficaz, dada la descomposición de sus moléculas, ya que se producen elementos en estado activo que reaccionan químicamente con el hidrógeno.
- Refina el grano.
- No ofrece peligro ni para el operario ni para el metal.

#### **TIPOS DE APARTAGAS**

##### **• APARTAGASH7:**

Enérgico desgasificante con reacción rápida, para hornos de crisol y de reverbero pequeños.

Empaque:

Caja x 760 unid. (Pastilla x 50 grs).

Caja x 36 kls (Pastilla x 1 kl).

##### **• APARTAGASH4:**

Desgasificante de acción controlada especialmente diseñado para hornos de reverbero grandes. Su acción toma aproximadamente 10 minutos.

Empaque:

Caja de cartón x 36 kls

## **PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO:**

APARTAGAS se presenta en dos formas -Pastillas y Polvo-, ambos tienen la misma finalidad y efecto. Las pastillas vienen en un tamaño de 50, 200, 500 y 1000 gramos.

## **CANTIDADES RECOMENDADAS:**

Para coladas a base de lingotes se recomienda el 0.15 % de APARTAGAS con respecto al metal. Si las coladas son hechas a base de desperdicios o chatarras, se deberá utilizar un 0.25%.

## **MODO DE EMPLEO**

### **APLICACIÓN EN HORNO DE CRISOL:**

Cuando la temperatura alcance 700°C, apagar el quemador o sacar el crisol del horno. El calor residual eleva la temperatura de la carga hasta unos 750°C. Debe evitarse la excesiva temperatura, de lo contrario aumenta la absorción de gas y las pérdidas por oxidación.

Cuando la temperatura comienza a descender, se sumergen por medio de una campana perforada, las tabletas o el polvo necesario para desgasificar el metal fundido. Manténgase la campana en el fondo del crisol hasta que cese el desprendimiento de burbujas. La eficacia del APARTAGAS radica en su suave y prolongado desprendimiento de pequeñas burbujas sin verter el metal fuera del crisol.

Se hace énfasis en que la desgasificación debe hacerse con una temperatura descendente. Si la temperatura aún está subiendo, la desgasificación no va a ser igual de efectiva.

### **APLICACIÓN EN HORNO REVERBERO:**

De acuerdo al tamaño del horno, calcular la cantidad a adicionar y hacer dos aplicaciones, cada una con la mitad del total de APARTAGAS a emplear. Las pastillas se deben sumergir al fondo mediante una bandeja invertida perforada, para que permita la salida de gases en la medida en que se van generando. Una vez sumergida la bandeja, ésta debe ser movida por todas las zonas del horno.

### **APLICACIÓN EN HORNO DE INDUCCIÓN:**

La aplicación es igual a la del horno de crisol.

NOTA: Pinte todas las herramientas con la pintura de protección INJEMAQ AL 397

**Anexo VI: Resultados del ensayo de composición química realizados a las probetas obtenidas.**

**Bruker Analysis Report**



Sample: 21040-A1

Analysis Time: 16.08.2021 11:54:40

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	4,524	1,857	0,544	0,072	0,130
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,013	0,303	0,040	0,015	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,015	<0,0030	<0,0020	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0063	92,48			

## Bruker Analysis Report



Sample: 21040-B1

Analysis Time: 16.08.2021 11:15:30

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	5,302	1,355	0,397	0,082	0,135
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,014	0,336	0,062	0,012	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,013	<0,0030	<0,0020	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0074	92,29			

## Bruker Analysis Report



Sample: 21040-C1

Analysis Time: 16.08.2021 11:19:41

Method: Al120

---

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	4,752	0,530	0,660	0,122	0,279
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,014	0,266	0,032	0,021	0,0045
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,015	<0,0030	0,0028	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0030	93,29			

## Bruker Analysis Report



Sample: 21040-D1

Analysis Time: 16.08.2021 11:22:48

Method: Al120

---

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	4,579	0,665	0,436	0,121	0,289
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,017	0,299	0,044	0,024	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,014	<0,0030	0,0027	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0022	93,51			

## Bruker Analysis Report



Sample: 21040-E1

Analysis Time: 16.08.2021 11:28:01

Method: Al120

---

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	5,051	0,716	0,683	0,084	0,169
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,011	0,275	0,036	0,022	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,015	<0,0030	0,0026	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0018	92,92			

## Bruker Analysis Report



Sample: 21040-F1

Analysis Time: 16.08.2021 11:29:50

Method: Al120

---

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	5,251	0,545	0,773	0,121	0,297
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,014	0,293	0,027	0,020	0,0041
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,015	<0,0030	0,0028	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0012	92,63			



## Bruker Analysis Report



Sample: 21040-G1

Analysis Time: 16.08.2021 11:42:49

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	5,306	0,629	0,817	0,082	0,262
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,025	0,343	0,035	0,019	<0,0040
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,014	<0,0030	0,0030	0,0038
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0020	92,45			

## Bruker Analysis Report



Sample: 21040-H1

Analysis Time: 16.08.2021 11:46:53

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	4,611	0,718	0,410	0,122	0,305
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,019	0,272	0,045	0,022	0,0042
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,014	<0,0030	0,0026	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0021	93,45			

## Bruker Analysis Report



Sample: 21040-I1

Analysis Time: 16.08.2021 11:51:57

Method: Al120

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	<b>5,048</b>	<b>0,894</b>	<b>0,654</b>	<b>0,111</b>	<b>0,258</b>
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	<b>0,020</b>	<b>0,357</b>	<b>0,042</b>	<b>0,019</b>	<b>&lt;0,0040</b>
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<b>&lt;0,0100</b>	<b>0,014</b>	<b>&lt;0,0030</b>	<b>0,0026</b>	<b>&lt;0,0030</b>
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	<b>0,0012</b>	<b>92,57</b>			

## Bruker Analysis Report



Sample: 21040-J1

Analysis Time: 16.08.2021 11:53:20

Method: Al120

---

	<b>Si [%]</b>	<b>Fe [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>Mg [%]</b>
∅	5,238	0,567	0,839	0,122	0,307
	<b>Cr [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Zn [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>Pb [%]</b>
∅	0,015	0,319	0,027	0,020	0,0056
	<b>Sn [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>Sr [%]</b>	<b>Zr [%]</b>	<b>Co [%]</b>
∅	<0,0100	0,014	<0,0030	0,0030	<0,0030
	<b>Ca [%]</b>	<b>Al [%]</b>			
∅	0,0020	92,51			

**Anexo VII: Resultados del ensayo de tracción y dureza realizado a las probetas obtenidas.**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA**  
**MECÁNICA**



**LABORATORIO DE ANÁLISIS**  
**DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES**

F01-PE-LAEV-01 Rev.01

## **INFORME TÉCNICO**

LAEV – M21.066

Quito, 24 de agosto de 2021

**Solicitado por:** M. Sc. Fausto Oviedo  
**Persona de contacto:** Jéssica Chipantásig, Edison Collaguazo  
**Teléfono:** 0998116605  
**Correo:** edison.collaguazo01@epn.edu.ec  
**Fecha de recepción:** 16/08/2021  
**Fecha de ejecución:** 17/08/2021; 18/08/2021; 21/08/2021

**ORDEN DE TRABAJO N°:** DM-OTI0114-2021

**1. MUESTRAS:** Treinta (30) probetas circulares de fundición de aluminio para ensayo de tracción, y diez (10) muestras de fundición de aluminio para barrido de dureza Brinell.

### **2. GENERALIDADES E IDENTIFICACIÓN:**

La siguiente descripción fue proporcionada por el cliente:

**Título de la tesis:** EFECTO DE LA VARIACIÓN DE FUNDENTES Y DESGASIFICANTES EN LA ALEACIÓN DE ALUMINIO AK5M OBTENIDA MEDIANTE COLADO DINÁMICO

En la tabla 1 se muestra la identificación de las muestras a ser ensayadas:

Tabla 1. Identificación de las muestras

Id. cliente	Ensayo	Id. LAEV
21040 A1 – 21040 A3	Tracción	M21.066.01 - M21.066.03
21040 B1 – 21040 B3		M21.066.04 - M21.066.06
21040 C1 – 21040 C3		M21.066.07 - M21.066.09
21040 D1 – 21040 D3		M21.066.10 - M21.066.12
21040 E1 – 21040 E3		M21.066.13 - M21.066.15
21040 F1 – 21040 F3		M21.066.16 - M21.066.18
21040 G1 – 21040 G3		M21.066.19 - M21.066.21
21040 H1 – 21040 H3		M21.066.22 - M21.066.24
21040 I1 – 21040 I3		M21.066.25 - M21.066.27
21040 J1 – 21040 J3		M21.066.28 - M21.066.30
21040 (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J) (10 muestras)		Barrido dureza

### 3. CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura:  $24,4 \pm 1,4$  °C

Humedad relativa:  $35,2 \pm 5,9$  %

### 4. ENSAYO DE TRACCIÓN

En las tablas de la 2 a la 11, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de tracción.

Tabla 2. Ensayo de tracción (Grupo 21040-A).

Id.	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M21.066.01	12,66	2 035	9 051	10,5	72,4	1,8
M21.066.02	12,71	2 229	9 913	11,5	79,4	0,8
M21.066.03	12,54	3 023	12 154	15,6	107,4	3,0

Tabla 3. Ensayo de tracción (Grupo 21040-B).

Id.	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M21.066.04	12,46	2 965	13 188	15,3	105,5	1,3
M21.066.05	12,62	3 255	14 481	16,8	115,6	3,6
M21.066.06	12,64	3 236	14 395	16,7	115,4	1,9

Tabla 4. Ensayo de tracción (Grupo 21040-C).

Id.	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M21.066.07	12,48	2 616	11 637	13,5	93,4	2,1
M21.066.08	12,49	2 771	12 326	14,3	98,5	3,4
M21.066.09	12,49	2 926	13 016	15,1	103,9	3,6

Tabla 5. Ensayo de tracción (Grupo 21040-D).

Id.	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M21.066.10	12,63	3 856	17 153	19,9	137,2	3,2
M21.066.11	12,73	3 546	15 774	18,3	125,9	1,9
M21.066.12	12,60	3 236	14 395	16,7	114,9	1,5

Tabla 6. Ensayo de tracción (Grupo 21040-E).

Id.	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M21.066.13	12,62	3 333	14 826	17,2	118,5	2,3
M21.066.14	12,54	3 565	15 860	18,4	127,2	3,1
M21.066.15	12,52	3 527	15 688	18,2	125,5	2,9

Tabla 7. Ensayo de tracción (Grupo 21040-F).

Id.	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M21.066.16	12,53	3 391	15 085	17,5	120,4	4,5
M21.066.17	12,55	2 500	11 120	12,9	88,8	2,5
M21.066.18	12,59	2 139	13 964	16,2	111,5	2,6

Tabla 8. Ensayo de tracción (Grupo 21040-G).

Id.	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M21.066.19	12,58	4 050	18 015	20,9	143,8	2,6
M21.066.20	12,62	3 352	14 912	17,3	129,5	2,5
M21.066.21	12,59	3 585	15 947	18,5	127,4	2,3

Tabla 9. Ensayo de tracción (Grupo 21040-H).

Id.	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M21.066.22	12,65	4 670	20 774	24,1	166,3	1,9
M21.066.23	12,30	3 774	16 786	19,6	134,8	1,9
M21.066.24	12,56	3 914	17 412	20,2	139,4	2,6

Tabla 10. Ensayo de tracción (Grupo 21040-I).

Id.	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M21.066.25	12,52	4 360	19 394	22,5	154,9	2,3
M21.066.26	12,62	4 127	18 360	21,3	146,8	3,3
M21.066.27	12,57	4 047	18 004	21,3	146,7	1,8

Tabla 11. Ensayo de tracción (Grupo 21040-J).

Id.	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M21.066.28	12,55	4 127	18 360	21,3	146,7	2,6
M21.066.29	12,62	3 798	16 895	19,6	134,9	3,2
M21.066.30	12,63	3 934	17 498	20,3	139,8	3,1


## 5. ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA

En la tabla 12 se presentan los resultados de la medición de dureza Brinell

Tabla 12. Medición de dureza en escala Brinell.

Mediciones en escala Brinell				Promedio
Ptos. de Medición	1	2	3	
M21.066.31 (21040-A)	33	40	38	37
M21.066.32 (21040-B)	37	45	43	42
M21.066.33 (21040-C)	41	39	39	40
M21.066.34 (21040-D)	45	45	41	44
M21.066.35 (21040-E)	46	44	48	46
M21.066.36 (21040-F)	39	37	44	40
M21.066.37 (21040-G)	48	48	46	47
M21.066.38 (21040-H)	54	57	47	53
M21.066.39 (21040-I)	52	49	55	52
M21.066.40 (21040-J)	50	48	48	49

**Nota.-** Los resultados contenidos en el presente informe corresponden únicamente a las muestras ensayadas por el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV). Además, los valores de fuerza que se emiten en el presente documento (y con los que se ha evaluado la conformidad) corresponden a valores corregidos en función del último certificado de calibración del equipo de fuerza y no se ha utilizado el valor de la incertidumbre.

	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:	 Firmado electrónicamente por: JONATHAN FERNANDO CASTRO REVELO	WILSON IVAN GUACHAMIN ACERO Firmado digitalmente por WILSON IVAN GUACHAMIN ACERO Fecha: 2021.08.25 12:18:08 -05'00'
Nombre:	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ph.D. Wilson Guachamin
Cargo:	ESPECIALISTA DE LABORATORIO	JEFE
<b>LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES</b>		