



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN
DE ALEACIÓN DE ALUMINIO A PARTIR DE CHATARRA PARA LA
EMPRESA ECUAMATRIZ CÍA. LTDA.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR:

MIGUEL ÁNGEL JARAMILLO UVIDIA

Riobamba-Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN
DE ALEACIÓN DE ALUMINIO A PARTIR DE CHATARRA PARA LA
EMPRESA ECUAMATRIZ CÍA. LTDA.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR: MIGUEL ÁNGEL JARAMILLO UVIDIA

DIRECTORA: Ing. EUGENIA MERCEDES NARANJO VARGAS

Riobamba-Ecuador

2024

©2024, Miguel Ángel Jaramillo Uvidia

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

Yo, Miguel Ángel Jaramillo Uvidia declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 27 de junio de 2024.

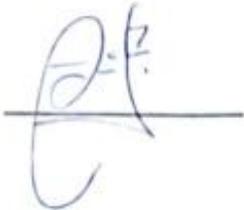


Miguel Ángel Jaramillo Uvidia

C.I: 060454794-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular, Tipo: Proyecto Técnico, **ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALEACIÓN DE ALUMINIO A PARTIR DE CHATARRA PARA LA EMPRESA ECUAMATRIZ CÍA. LTDA.** realizado por el señor: **MIGUEL ÁNGEL JARAMILLO UVIDIA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud del Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Jaime Iván Acosta Velarde, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-06-27
Ing. Eugenia Mercedes Naranjo Vargas, MSc. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-06-27
Ing. Marco Homero Almendariz Puente. Mg. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-06-27

DEDICATORIA

A mis queridos padres Juan Pablo Jaramillo y Dalinda Uvidia su apoyo constante y su fe inquebrantable en mí. Ustedes han sido mi mayor motivación y mi fuerza para seguir adelante. Gracias por creer en mis sueños, por alentarme a perseguirlos y por estar siempre a mi lado, incluso en los momentos más difíciles. Su sacrificio, su ejemplo y su sabiduría han sido fundamentales para llegar hasta aquí. Les estaré eternamente agradecido.

Miguel

AGRADECIMIENTO

A los ingenieros, Eugenia Naranjo y Marco Almendariz, por su invaluable asesoramiento y guía durante todo el proceso de desarrollo de este trabajo de titulación. Sus conocimientos técnicos, experiencia han sido fundamentales para poder llevar a cabo este proyecto de manera exitosa.

De igual manera al ingeniero Julio Carrasco, por la guía en el desarrollo técnico del proyecto, su compromiso, paciencia y su capacidad para resolver problemas, que fueron cruciales para superar los desafíos que se presentaron.

Estoy profundamente agradecido por la oportunidad de haber trabajado junto con estos destacados profesionales.

Miguel

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Producción de aluminio secundario	6
2.1.1. <i>Propiedades del aluminio secundario</i>	6
2.1.2. <i>Ventajas frente al aluminio primario</i>	7
2.1.2.1. <i>Materiales elaborados con aluminio</i>	7
2.1.2.2. <i>Perfiles de aluminio</i>	8
2.2. Reciclaje de Aluminio	9
2.2.1. Fuentes de reciclaje	9
2.2.1.1. <i>Recicladoras</i>	9
2.2.1.2. <i>Talleres Automotrices</i>	11
2.2.1.3. <i>Empresas de cerrajería metálica</i>	11
2.2.2. Proceso de reciclaje	12
2.2.2.1. <i>Selección y clasificación</i>	12

2.2.2.2.	<i>Fundición</i>	12
2.2.2.3.	<i>Moldeo en lingotes</i>	12
2.3.	Equilibrio estequiométrico	13
2.4	Estudios químicos	13
2.4.1	<i>Análisis espectrofotométrico</i>	13
2.4.2	<i>Pruebas Metalográficas</i>	14
2.4.3	<i>Análisis de carbono</i>	15
2.4.4	<i>Diseño completamente aleatorizado</i>	15
2.4.4.1	<i>Hipótesis del DCA</i>	15
2.4.4.2	<i>ANOVA</i>	16
2.4.4.3	<i>Coficiente de variabilidad</i>	17
2.4.4.4	<i>Grafica de comparación entre dos tratamientos utilizando Fisher</i>	18

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	19
3.1.	Introducción al marco metodológico	19
3.2.	Fundamentos de la Metodología	19
3.2.1.	<i>Tipos de Investigación</i>	19
3.2.2.	<i>Enfoque de la Investigación</i>	19
3.2.3.	<i>Alcance de la Investigación</i>	20
3.3.	Diseño de la Investigación	20
3.3.1.	<i>Diseño Experimental</i>	20
3.3.1.1.	<i>Variable Independiente</i>	20
3.3.1.2.	<i>Variable Dependiente</i>	21
3.3.1.3.	<i>Hipótesis</i>	21
3.3.2.	<i>Diseño de investigación</i>	21
3.4.	Métodos, Técnicas e Instrumentos de Investigación	21
3.4.1.	<i>Métodos de Investigación</i>	21
3.4.2.	<i>Técnicas de Investigación</i>	22
3.4.3.	<i>Instrumentos de Investigación</i>	22
3.4.3.1.	<i>Bruker Q2 ION</i>	22
3.4.3.2.	<i>Microscopio Óptico</i>	23
3.4.3.3.	<i>Microscopio eléctrico de barrido SEM</i>	24

3.5.	Descripción de los procesos y materiales	24
3.5.1.	<i>Materiales</i>	24
3.5.1.1.	<i>Horno de Fundición por Crisol</i>	24
3.5.1.2.	<i>Fundentes</i>	25
3.5.1.3.	<i>Reactivo de Kellers</i>	26
3.5.1.4.	<i>Torno</i>	26
3.5.1.5.	<i>Cortadora de metales</i>	27
3.5.2.	<i>Procesos</i>	27
3.5.2.1.	<i>Análisis del mercado de la chatarra</i>	27
3.5.2.2.	<i>Espectrofotometría a la chatarra</i>	33
3.5.2.3.	<i>Pruebas de Fundición</i>	37
3.5.2.4.	<i>Pruebas de Fundición General</i>	49

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	56
4.1.	Resultados de la Fundición	56
4.2.	Pruebas Espectrofotométricas	58
4.3.	Diseño completamente aleatorizado	59
4.3.1.	<i>Análisis Silicio</i>	59
4.3.2.	<i>Análisis Cobre</i>	62
4.3.3.	<i>Análisis Hierro</i>	64
4.4.	Comparación con la normativa	66
4.4.1.	<i>Normativa Aleación A413</i>	66
4.4.2.	<i>Normativa Aleación A360</i>	67
4.4.3.	<i>Normativa Aleación ASTM 383</i>	68
4.5.	Pruebas de laboratorio	69
4.5.1.	<i>Análisis Metalográfico</i>	69
4.5.2.	<i>Pruebas de carbono</i>	70
4.6.	Aleaciones de la empresa	71
4.6.1.	<i>Aleación A413</i>	71
4.6.2.	<i>Aleación 383</i>	72
4.6.3.	<i>Aleación importada desde Chile</i>	73
4.7.	Comparación con aleaciones de la empresa	73

4.8.	Análisis de costos.....	75
-------------	--------------------------------	-----------

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
5.1.	Conclusiones.....	78
5.2.	Recomendaciones.....	79

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1:	Análisis de precios de perfiles en recicladoras.....	28
Tabla 3-2:	Análisis de precios de cabezotes y pistones en talleres automotrices.....	29
Tabla 3-3:	Análisis de precios de perfiles en empresas de cerrajería metálica.....	30
Tabla 3-4:	Análisis de precios de cabezotes y pistones por ciudad.....	30
Tabla 3-5:	Análisis de precios de perfiles por fuente.....	31
Tabla 3-6:	Análisis de precios de perfilería por ciudad.....	32
Tabla 3-7:	Resumen de costos de chatarra de aluminio.....	32
Tabla 3-8:	Comparativa de elementos presentes en cada tipo de chatarra.....	36
Tabla 3-9:	Porcentaje de aluminio por chatarra.....	36
Tabla 3-10:	Resultados fundición de perfiles.....	38
Tabla 3-11:	Resultados fundición de cabezotes.....	38
Tabla 3-12:	Resumen primera refundición de cabezotes.....	39
Tabla 3-13:	Resumen segunda refundición de cabezotes.....	39
Tabla 3-14:	Resumen fundición de pistones.....	40
Tabla 3-15:	Resumen refundición de pistones.....	40
Tabla 3-16:	Comparación de aluminio recuperado frente a escoria.....	41
Tabla 3-17:	Comparación de elementos por pruebas de fundición.....	43
Tabla 3-18:	Cantidades de chatarra ingresada en la fundición mezcla 1.....	49
Tabla 3-19:	Cantidades de chatarra ingresada en la fundición mezcla 2.....	50
Tabla 3-20:	Cantidades de chatarra ingresada en la fundición mezcla 3.....	50
Tabla 4-1:	Resultados de la fundición general mezcla 1.....	56
Tabla 4-2:	Resultados de la fundición general mezcla 2.....	57
Tabla 4-3:	Resultados de la fundición general mezcla 3.....	58
Tabla 4-4:	Resultados de la espectrofotometría mezcla 3.....	59
Tabla 4-5:	Resultados de la espectrofotometría mezcla 3.....	59
Tabla 4-6:	Resultados de la espectrofotometría mezcla 3.....	59
Tabla 4-7:	Evaluación de valores para el ANOVA.....	60
Tabla 4-8:	Cuadrados de los valores individuales.....	60
Tabla 4-9:	Tabla ANOVA Silicio.....	60
Tabla 4-10:	Evaluación de valores para el ANOVA.....	62
Tabla 4-11:	Cuadrados de los valores individuales.....	62

Tabla 4-12:	Tabla ANOVA Cobre.	62
Tabla 4-13:	Evaluación de valores para el ANOVA.	64
Tabla 4-14:	Cuadrados de los valores individuales.	64
Tabla 4-15:	Tabla ANOVA Hierro.	65
Tabla 4-16:	Comparación normativa A413 con la mezcla 1.	66
Tabla 4-17:	Comparación normativa A413 con la mezcla 2.	67
Tabla 4-18:	Comparación normativa A413 con la mezcla 3.	67
Tabla 4-19:	Comparación normativa A360 con la mezcla 1.	67
Tabla 4-20:	Comparación normativa A360 con la mezcla 2.	68
Tabla 4-21:	Comparación normativa A360 con la mezcla 3.	68
Tabla 4-22:	Comparación normativa ASTM 383 con la mezcla 1.	68
Tabla 4-23:	Comparación normativa ASTM 383 con la mezcla 2.	68
Tabla 4-24:	Comparación normativa ASTM 383 con la mezcla 3.	69
Tabla 4-25:	Porcentaje por elemento presente en la muestra.	71
Tabla 4-26:	Comparación de la normativa con el aluminio de la empresa.	72
Tabla 4-27:	Espectrofotometría realizada aleación distribuida por la empresa.	72
Tabla 4-28:	Espectrofotometría realizada aleación importada desde Chile.	73
Tabla 4-29:	Comparación del aluminio A413 con el fundido.	73
Tabla 4-30:	Comparación del aluminio 383 con el fundido.	74
Tabla 4-31:	Comparación del aluminio importado desde Chile con el fundido.	74
Tabla 4-32:	Comparación del aluminio fundido con aleaciones normadas.	75
Tabla 4-33:	Costos de la investigación.	75
Tabla 4-34:	Costos de producción de aluminio secundario.	76
Tabla 4-35:	Costos de producción por tonelada de aluminio secundario.	76
Tabla 4-36:	Comparativa de precios, aluminio secundario vs aleación A413.	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	CAGR hasta el 2028 en la industria de aluminio	6
Ilustración 2-2:	Pistón de Aluminio	7
Ilustración 2-3:	Cabezote de motor	8
Ilustración 2-4:	Perfiles de aluminio	9
Ilustración 2-5:	RENAREC Logo	10
Ilustración 2-6:	Entrega de kits a miembros de la asociación manos que limpian	10
Ilustración 2-7:	Ubicación de Recicladora Riobamba	10
Ilustración 2-8:	Taller eléctrico automotriz	11
Ilustración 2-9:	Empresa de cerrajería metálica.	11
Ilustración 2-10:	Espectrofotometría de metales	14
Ilustración 3-1:	Bruker Q2 ION	23
Ilustración 3-2:	Microscopio Óptico	23
Ilustración 3-3:	Microscopio Eléctrico de Barrido	24
Ilustración 3-4:	Horno para pruebas	25
Ilustración 3-5:	Coveral, fundente para aluminio	25
Ilustración 3-6:	Pastilla desgasificante para aluminio	26
Ilustración 3-7:	Reactivo de Kellers	26
Ilustración 3-8:	Torno para mecanizado	27
Ilustración 3-9:	Cortadora de metales FAT 280	27
Ilustración 3-10:	Comparativa de precios de perfiles en recicladoras.	28
Ilustración 3-11:	Comparativa de precios de talleres automotrices por cabezote o pistón.	29
Ilustración 3-12:	Comparativa de precios en empresas de cerrajería metálica por perfiles.	30
Ilustración 3-13:	Diferencia de precios entre ciudades.	31
Ilustración 3-14:	Diferencia de precios entre recicladoras y empresas de cerrajería metálica	31
Ilustración 3-15:	Comparativa de precios entre ciudades por perfilería	32
Ilustración 3-16:	Probeta de chatarra	33
Ilustración 3-17:	Instrumentos adicionales para espectrofotometría	33
Ilustración 3-18:	Prueba espectrofotométrica	34
Ilustración 3-19:	Resultado Espectrofotometría de Cabezotes	34
Ilustración 3-20:	Resultado de espectrofotometría de pistones	35
Ilustración 3-21:	Resultado de espectrofotometría de perfiles	35

Ilustración 3-22:	Porcentaje de aluminio por chatarra	36
Ilustración 3-23:	Porcentaje de aluminio recuperado y desperdicio	41
Ilustración 3-24:	Probetas para espectrofotometría	41
Ilustración 3-25:	Resultado de espectrofotometría de la fundición de perfiles	42
Ilustración 3-26:	Resultado de espectrofotometría de la fundición de cabezotes	42
Ilustración 3-27:	Resultado de espectrofotometría de la fundición de pistones	43
Ilustración 3-28:	Comparación de porcentajes de elementos en distintas pruebas de fundición	44
Ilustración 3-29:	Desbaste a una probeta para análisis	44
Ilustración 3-30:	Amoladora metalográfica de pulido	45
Ilustración 3-31:	Probetas después del pulido	45
Ilustración 3-32:	Reactivo de Kellers	45
Ilustración 3-33:	Microscopio Óptico	46
Ilustración 3-34:	Graficas de probeta 1, X5, X10, X20, X50.	46
Ilustración 3-35:	Comparación metalográfica de la fundición de perfiles.	47
Ilustración 3-36:	Graficas probeta 2, X5, X10, X20, X50.	47
Ilustración 3-37:	Comparación metalográfica de la fundición de pistones	48
Ilustración 3-38:	Gráficas probeta 3, X5, X10, X20, X50.	48
Ilustración 3-39:	Comparación metalográfica de la fundición de cabezotes.	49
Ilustración 3-40:	Ingreso de cabezotes al horno	51
Ilustración 3-41:	Ingreso de cabezote al horno.	51
Ilustración 3-42:	Calentamiento de moldes.	52
Ilustración 3-43:	Ingreso de perfiles al horno.	52
Ilustración 3-44:	Mezcla de fundentes en la colada.	53
Ilustración 3-45:	Lingotes de aluminio en molde.	53
Ilustración 3-46:	Lingote de aluminio secundario	54
Ilustración 3-47:	Corte de lingote en cortadora FAT.	54
Ilustración 3-48:	Muestra de lingote.	54
Ilustración 3-49:	Lijado de muestra	55
Ilustración 3-50:	Torneado de muestra	55
Ilustración 4-1:	Resultados de la fundición mezcla 1.	56
Ilustración 4-2:	Resultados de la fundición mezcla 2.	57
Ilustración 4-3:	Resultados de la fundición mezcla 3.	58
Ilustración 4-4:	Gráfica intervalos silicio entre las mezclas.	61
Ilustración 4-5:	Gráfica de intervalos Fisher de silicio entre las mezclas.	61

Ilustración 4-6: Gráfica intervalos cobre entre las mezclas.....	63
Ilustración 4-7: Gráfica de intervalos Fisher de cobre entre las mezclas.	63
Ilustración 4-8: Gráfica intervalos hierro entre las mezclas.	65
Ilustración 4-9: Gráfica de intervalos Fisher de hierro entre las mezclas.....	66
Ilustración 4-10: Gráficas probeta de la fundición general	69
Ilustración 4-11: Comparación metalográfica de la fundición general.....	70
Ilustración 4-12: Elementos presentes en la muestra de aleación fundida.	70
Ilustración 4-13: Espectrofotometría a la aleación de la empresa.	71

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** OFICIO PARA SOLICITAR LA FUNDICIÓN DENTRO DE LA EMPRESA.
- ANEXO B:** CHATARRA UTILIZADA EN LAS PRUEBAS DE FUNDICIÓN.
- ANEXO C:** REFUNDICIÓN DE PISTONES
- ANEXO D:** REFUNDICIÓN DE CABEZOTES
- ANEXO E:** PESAJE DE ESCORIA POR FUNDICIÓN
- ANEXO F:** PROCESO DE FUNDICIÓN
- ANEXO G:** LUGARES DE ALMACENAMIENTO DE CHATARRA.
- ANEXO H:** ESPECTROMETRÍA A PROBETAS DE CHATARRA
- ANEXO I:** PROBETA ANTES Y DESPUÉS DEL ANÁLISIS ESPECTROFOTOMÉTRICO.
- ANEXO J:** LINGOTES PROVENIENTES DE LAS PRUEBAS DE FUNDICIÓN.
- ANEXO K:** POROSIDAD PRESENTE EN LINGOTES DE PISTONES Y CABEZOTES
- ANEXO L:** ANÁLISIS GRÁFICO DATOS SILICIO MEZCLA 1.
- ANEXO M:** ANÁLISIS GRÁFICO DATOS SILICIO MEZCLA 2.
- ANEXO N:** ANÁLISIS GRÁFICO DATOS SILICIO MEZCLA 3.
- ANEXO O** GRÁFICO DATOS COBRE MEZCLA 1.
- ANEXO P:** ANÁLISIS GRÁFICO DATOS COBRE MEZCLA 2.
- ANEXO Q:** ANÁLISIS GRÁFICO DATOS COBRE MEZCLA 3.
- ANEXO R:** ANÁLISIS GRÁFICO DATOS HIERRO MEZCLA 1.
- ANEXO S:** ANÁLISIS GRÁFICO DATOS HIERRO MEZCLA 2.

RESUMEN

Por datos nacionales, se sabe que el Ecuador importa el 70% de aluminio primario, y solo fabrica el 30% de aluminio secundario. Esto refleja un claro problema, la falta de tratamiento de chatarra, para la producción de nuevo aluminio. Es por ello que el presente trabajo tuvo como objetivo analizar e implementar el proceso de fundición de aleación de aluminio a partir de chatarra para la empresa Ecuamatrix Cía. Ltda. Utilizando la metodología con un enfoque de carácter cuantitativo debido a los porcentajes de cada elemento que componen la aleación que se funde a partir de chatarra, para la determinación de una mezcla óptima, misma que cumple en la obtención de aluminio secundario similar al utilizado en la empresa ECUAMATRIZ CIA LTDA. La investigación se centró en realizar pruebas experimentales para determinar una mezcla de chatarra de aluminio que cumpliera con los requisitos requeridos por la empresa. Obteniendo como resultado que el uso de perfiles se vuelve esencial, no solo debido a su alto aporte en aluminio (alrededor del 98%), si no que permiten la limpieza de la fundición, esto en ayuda con los fundentes, permitieron obtener una aleación limpia, sin porosidades que indiquen contaminación y que cumplen con la normativa 383 para aleaciones de aluminio. Siendo la mezcla optima, un 30% de perfiles, 25% de pistones y un 45% en cabezotes. Concluyendo que los cabezotes de motor son la fuente primaria para la recuperación de aluminio, esto debido al porcentaje de silicio y aluminio dentro de su composición. Recomendando reemplazar el uso de pistones, por el de silicio puro, esto para evitar la contaminación que estos generan dentro de la fundición, además de la reducción en la cantidad de cobre (principal fuente en la aleación obtenida), en busca de poder cumplir con la normativa A 413.

Palabras clave: <PROCESO DE FUNDICIÓN> <ALEACIÓN DE ALUMINIO>
<CHATARRA> <PISTONES> <PRODUCCIÓN DE ALUMINIO>.

0957-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

According to national data, Ecuador imports 70% of its primary aluminum and only produces 30% of its secondary aluminum. This reflects a clear issue: the lack of scrap treatment for the production of new aluminum. This study aimed to analyze and implement an aluminum alloy casting process from scrap metal for Ecuamatrix Cía. Ltda. It uses a methodology with a quantitative approach due to the percentages of each element that compose the alloy melted from scrap, to determine an optimal mix that achieves secondary aluminum similar to that used by ECUAMATRIZ CIA LTDA. The research focused on conducting experimental tests to determine an aluminum scrap mix that met the company's requirements. The results showed that the use of profiles is essential, not only due to their high aluminum content (around 98%) but also because they allow for cleaner casting. With the help of fluxes, this resulted in a clean alloy without porosities that indicate contamination and that complies with standard 383 for aluminum alloys. The optimal mix was found to be 30% profiles, 25% pistons, and 45%-cylinder heads. It was concluded that engine cylinder heads are the primary source for aluminum recovery due to their silicon and aluminum content. Replacing pistons with pure silicon is recommended to prevent contamination and reduce copper content (the main impurity in the obtained alloy) to comply with standard A 413.

Keywords: <CASTING PROCESS> <ALUMINUM ALLOY> <SCRAP> <PISTONS>
<ALUMINUM PRODUCTION>



Lic. Angela Cecibel Moreno Novillo

0602603938

INTRODUCCIÓN

El aluminio es un elemento que se encuentra naturalmente en la superficie de la Tierra. Es el metal más abundante y constituye el 8% de la corteza terrestre, lo que lo convierte en el segundo metal más utilizado después del acero. En la industria se utilizan dos tipos de aluminio: el aluminio primario, también llamado aluminio primario, producido a partir de bauxita, y el aluminio secundario, producido a partir de materiales reciclados. Ecuador importó alrededor de 21,9 millones de dólares en aluminio bruto en 2021, según The Observatory of Economic Complexity. (OEC,2023)

El reciclaje de aluminio es una actividad rentable que proporciona importantes beneficios ambientales, económicos y sociales. El aluminio es un material reciclable y el proceso de reciclaje genera un ahorro aproximado de un 90% de energía de producción comparado con la producción de aluminio primario (STAEINERT, 2022). Además, el aluminio se puede reciclar de forma continua, lo que permite una reutilización para producir productos que requieran aluminio o aleaciones de aluminio.

Las aleaciones de aluminio sirven para aplicaciones aeroespaciales, estructurales, en la fabricación de maquinaria industrial, herramientas, electrodomésticos, mobiliario, sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, entre otros. En Ecuador se utilizan varias aleaciones, para la fabricación de los elementos antes mencionados, se ocupan aleaciones de aluminio silicio, esto debido a la resistencia que brinda el silicio, estas aleaciones son de la familia A400, y 300.

Ecuamatrix es una empresa que fabrica y comercializa productos metálicos y polímeros, servicios de matricería, de inyección de aluminio e inyección de plástico. Como tal el aluminio y sus aleaciones son de las principales materias primas para la empresa. Los productos en base a aluminio representan un gran porcentaje de su producción.

El presente trabajo de Integración Curricular se centró en la recuperación de aluminio en base a chatarra, proveniente de pistones, cabezotes de motor y perfilaría en aluminio, mismos que fueron obtenidos en depósitos de la localidad.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Por datos nacionales, se sabe que el Ecuador importa el 70% de aluminio primario, y solo fabrica el 30% de aluminio secundario. Esto refleja un claro problema, la falta de tratamiento de chatarra, para la producción de nuevo aluminio. (Quimbita, 2016, pág. 15)

No se cuenta con información oficial de la cantidad de chatarra de aluminio recuperada en el país, pero una de las grandes empresas recicladoras de chatarra, Recynter, procesa alrededor de 120 000 toneladas de chatarra cada año. Cabe destacar que, el reciclaje y la fabricación de aluminio secundario aporta muchos beneficios, entre ellos el ahorro de combustibles fósiles, materias primas y hasta el 95% de la energía eléctrica utilizada. Además, hay un ahorro significativo en las emisiones de GEI (Gases de efecto invernadero). (Coello, 2016, pág. 42)

Baque, Casagualpa & Gallardo en 2021, compararon las emisiones de GEI del aluminio en Ecuador a partir de dos materias primas, en el primer caso se estudió la producción de 1 kg de perfil de aluminio con materia prima virgen, aluminio extraído de mineral bauxita, y el segundo caso, la producción de 1 kg de perfil de aluminio con materia prima reciclada, en este caso la chatarra de aluminio. Los resultados mostraron que existe un potencial de reducción de las emisiones de GEI alrededor de 70% mediante el reciclaje del aluminio. El resultado es favorable, debido a los cálculos realizados, en el periodo diciembre 2018 - mayo 2021, se redujeron en 505,79 kg de CO₂-eq gracias al reciclaje de residuos de aluminio por parte de los recicladores de la empresa ReciVeci, que fueron parte del estudio. (Baque, Casagualpa & Gallardo, 2021, págs. 11-13)

La empresa ECUAMATRIZ CIA. Ltda. Importa aleaciones de aluminio, tanto primario como secundario, mismas que sirven como materia prima para diversos productos. Esto debido a que dentro del país no existen empresas que se dediquen a la venta de este material. Cedal S.A. recicla sus desperdicios para producir nueva materia prima, misma que se utiliza solo en procesos dentro de la empresa.

1.2. Justificación

La fundición de chatarra de aluminio es un proceso clave en la producción de nuevos materiales de aluminio, su importancia radica en el reciclaje y reutilización de materiales existentes, lo que reduce la necesidad de exportar aluminio ya que Ecuador no produce aluminio primario. En este sentido, este proyecto se centra en el proceso de fundición de chatarra de aluminio a partir de pistones, cabezotes de motor y perfiles de aluminio para la obtención de nuevo aluminio para su producción.

Este proyecto proporciona información valiosa sobre métodos específicos de refundición de chatarra de aluminio para producir nuevas materias primas, que pueden contribuir al desarrollo de procesos sostenibles en la industria del aluminio. Además, el proyecto aborda la necesidad de generar nuevas fuentes para la obtención de materia prima sin recurrir al mercado extranjero.

La implementación de este proyecto tiene en cuenta varias cuestiones, incluida la necesidad de disminuir las exportaciones de materias primas con la producción de aluminio dentro del país. Además, el proyecto podría encaminar a la empresa a la producción de aluminio secundario para su distribución dentro del mercado ecuatoriano.

Este proyecto se realizó en la empresa ECUAMATRIZ CIA. Ltda. con el objetivo de promover el desarrollo sostenible y la innovación en la industria del aluminio para la empresa. La pertinencia del proyecto radica en su potencial para generar beneficios económicos, al mismo tiempo que contribuirá en un futuro al crecimiento de la empresa.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar e implementar el proceso de fundición de aleación de aluminio a partir de chatarra para la empresa Ecuamatrix Cía. Ltda.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estudiar el proceso de fundición, las fuentes de desperdicio y la aplicación de la tecnología existente en la empresa para obtener la aleación de aluminio requerida.

- Realizar las pruebas de fundición para la obtención de una mezcla óptima.
- Analizar las probetas para comprobar la composición química de la aleación.
- Establecer una mezcla óptima que permita obtener aleación de aluminio usada en los procesos dentro de la empresa Ecuamatrix.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

El aluminio es el tercer elemento de mayor cantidad en la corteza terrestre y el metal más común con un 8,3% del peso de la corteza. Históricamente en el año 1900 la producción de aluminio en el mundo era de 5 700 toneladas de aluminio y se producía 10 veces más de cobre (500 000 toneladas), el cual solo se tiene el 0,0068% del peso de la corteza terrestre. Hoy en día las cosas han tomado un giro, debido a que la producción de aluminio supera los 70 millones de toneladas, y de cobre metálico se produce aproximadamente la mitad. (Gasque, 2018, pág. 1)

El uso del aluminio está ahora tan extendido que cuesta creer que alguna vez se considerara un metal precioso, incluso más valioso que el oro. Cuando en 1860 P. Heroult en Francia y Charles Hall en Estados Unidos descubrieron lo fácil que era producir aluminio, su precio bajó de forma significativa y se convirtió en un material al alcance de todos. La esencia de este método es reducir la aleación (Al_2O_3) por electrólisis y recuperarla posteriormente en forma de aluminio líquido. Cabe señalar que debido a que la alúmina se deriva de un mineral llamado bauxita y es un óxido muy estable, la producción de aluminio requiere grandes cantidades de electricidad.

La producción de aluminio a nivel mundial se concentra en varios países, siendo China el principal productor con 41 millones de toneladas métricas en 2023. Los cinco principales países productores de aluminio en el mundo son: China, Rusia, India, Canadá, Emiratos Árabes. Estos países producen la mayor parte del suministro mundial de aluminio, que hoy en día genera alrededor de 20 mil millones de dólares al año. (Fernández, 2024)

Las empresas se dedican a la producción de aluminio en diferentes partes del mundo, siendo China el país con más empresas en el ranking de las principales empresas productoras de aluminio en 2022. Además, la empresa china CHINALCO es una de las principales compañías en el mercado del aluminio. También hay empresas productoras líderes en otros países, como Rusal en Rusia y Hindalco Industries en India. La producción de aluminio se proyecta registre una CAGR (tasa de crecimiento anual compuesta) de más del 3,5% hasta el año 2028. (Mordor Intelligence, 2023)

Aluminum Market Market Size



Source : Mordor Intelligence

Período de Estudio	2018-2028
Año Base Para Estimación	2022
CAGR	> 3.50 %
Mercado de Crecimiento	Asia-Pacífico
Más Rápido	
Mercado Más Grande	Asia-Pacífico
Concentración del Mercado	Medio

Principales actores



*Nota aclaratoria: los principales jugadores no se ordenaron de un modo en especial

Ilustración 2-1: CAGR hasta el 2028 en la industria de aluminio

Fuente: (Mordor Intelligence, 2023)

2.1. Producción de aluminio secundario

La producción de aluminio reciclado es el proceso de reciclar el aluminio al final de su vida útil, permitiendo reutilizar el metal y reducir los costos de producción. En 2020, la producción mundial de aluminio secundario fue de 15,7 millones de toneladas, y China volvió a convertirse en el principal productor de aluminio secundario, alcanzando 6,9 millones de toneladas. (Statista Research Department, 2023)

En 2021, la producción mundial de aluminio primario y secundario fue de 67,36 millones de toneladas, un 3% más que el producido el año pasado. La producción de aluminio reciclado es un proceso importante para la economía global porque limita los residuos y permite un ahorro energía en comparación con la producción de aluminio primario.

2.1.1. Propiedades del aluminio secundario

El aluminio secundario es un material muy útil en la industria debido a sus propiedades físicas y químicas.

- Baja densidad: El aluminio reciclado tiene una densidad un tercio de la del hierro o el cobre, por lo que es mucho más ligero, ahorrando energía durante la producción y el transporte.

- Resistencia a la corrosión: El aluminio reciclado tiene una alta resistencia a la corrosión, un 4% más que el aluminio puro.
- Reciclable: El proceso de reciclaje previo lo hace más reciclable que el aluminio puro.
- Flexible: El aluminio reciclado es un material muy maleable. El proceso de reciclaje facilita el conformado, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren un material flexible y fácil de manipular.

2.1.2. Ventajas frente al aluminio primario

El aluminio secundario tiene varias ventajas con respecto al aluminio primario:

- Menor costo: el aluminio reciclado es más barato que el aluminio primario porque requiere menos energía y recursos para producirse.
- Propiedades similares: el aluminio reciclado conserva las mismas propiedades que el aluminio primario, lo que significa que puede usarse para fines industriales similares.
- Limitar los residuos: Reciclar aluminio disminuye los residuos y ahorra energía en comparación con la producción de aluminio primario.

2.1.2.1. Materiales elaborados con aluminio

Pistones

El pistón es uno de los elementos básicos del motor de combustión interna. El pistón recibe la fuerza generada por la combustión interna del motor, y la transmite mediante la biela hasta el cigüeñal. Un pistón está diseñado con aleaciones de aluminio cobre y aluminio silicio. (Hernández, et al. ,2015)



Ilustración 2-2: Pistón de Aluminio

Fuente: (Shutterstock,2023)

Cabezotes de motor

Los cabezotes de motor, también conocidos como culatas, son una de las partes centrales del motor de combustión interna. El cabezote se encuentra en la parte superior del bloque del motor y contiene las válvulas, los resortes de las válvulas, los árboles de levas y otros componentes importantes del motor.



Ilustración 2-3: Cabezote de motor

Fuente:(Ciavscorp,2023)

El cabezote sella la cámara de combustión y permite que el aire y el combustible entren en el motor y que los gases de escape salgan del motor.

Los cabezotes de motor se fabrican a partir de aleaciones de aluminio o hierro fundido, debido a su resistencia, durabilidad y la buena conductividad térmica que logra en la disipación el calor generado por el motor. (Freire, 2021, págs. 6-9)

2.1.2.2. Perfiles de aluminio

Los perfiles de aluminio son un tipo de material elaborado con aluminio moldeado mediante de un proceso de extrusión. Los perfiles de aluminio se utilizan en aplicaciones de construcción e industriales debido a su resistencia, durabilidad y peso ligero. Son resistentes a la corrosión y el óxido, por lo que se utilizan en exteriores.



Ilustración 2-4: Perfiles de aluminio

Fuente:(Gestión de Compras IS, 2023)

2.2. Reciclaje de Aluminio

El reciclaje de aluminio se ha convertido en actividad importante, esto debido a sus beneficios económicos y ambientales. La producción de aluminio reciclado ahorra energía, reduce las emisiones de CO₂, disminuye la cantidad de residuos y limita la extracción de bauxita (el mineral utilizado para fabricar aluminio primario).

En la actualidad, uno de los principales problemas ambientales relacionados con el aluminio es la precipitación ácida y el aumento de la concentración de aluminio en el suelo y el agua dulce. El aluminio en altas concentraciones ha sido reconocido como un agente tóxico, especialmente para los organismos acuáticos y los cultivos, lo que puede afectar la cadena alimentaria. (Rodríguez, 2024)

2.2.1. Fuentes de reciclaje

2.2.1.1. Recicladoras

Las recicladoras son empresas o asociaciones las cuales se dedican a recolectar, clasificar, procesar y vender materiales reciclables, contribuyendo a la reducción de residuos y al cuidado del medio ambiente. Específicamente en Riobamba, se encuentran varias empresas y asociaciones recicladoras.

Algunas de ellas son:

- Red Nacional de Recicladores del Ecuador (RENAREC): Es una organización jurídica que agrupa a más de 50 asociaciones de recicladores de base a escala nacional.



Ilustración 2-5: RENAREC Logo

Fuente: (RENAREC,2023)

- Asociación de Recicladores “Manos que Limpian”: Esta asociación cuenta con 83 integrantes oriundos de diversas localidades de Chimborazo, la mayoría de ellos son adultos mayores.



Ilustración 2-6: Entrega de kits a miembros de la asociación manos que limpian

Fuente: (GAD Riobamba, 2021)

- Recicladora Riobamba: Esta empresa es una de las más grandes recicladoras de la ciudad de Riobamba, la cual cuenta con dos sucursales tanto al norte como al sur de la ciudad.



Ilustración 2-7: Ubicación de Recicladora Riobamba

Fuente: (MCG,2022)

2.2.1.2. Talleres Automotrices

Un taller automotriz es un lugar donde se realiza la reparación de vehículos, en la ciudad de Riobamba, se pueden encontrar varios de estos, repartidos por toda la ciudad.

Los talleres automotrices son fuente de varios desperdicios provenientes de los automotores, como es el caso de los componentes del motor, que generalmente son elaborados en aluminio.



Ilustración 2-8: Taller eléctrico automotriz

Fuente: (Masters Automotriz, 2022)

2.2.1.3. Empresas de cerrajería metálica

Las empresas de cerrajería metálica transforman y tratan el metal para hacer ventanas, mesas, cerramientos, vallados, puertas, rejas y otros elementos de mobiliario. Las principales cerrajerías metálicas de la ciudad de Riobamba son empresas artesanales, mismas que son fuente de desperdicio metálico, como la perfilaría de aluminio que se usa para puertas y ventanas.



Ilustración 2-9: Empresa de cerrajería metálica.

Fuente: (Pantherstock,2023)

2.2.2. Proceso de reciclaje

Para realizar el proceso de reciclaje del aluminio, se debe de seguir una serie de pasos, para poder lograr que nuestro desperdicio (chatarra) se convierta en aluminio secundario, y este permita trabajar para elaborar nuevos productos.

2.2.2.1. Selección y clasificación

El primer paso, consiste en seleccionar los desperdicios con los que se van a trabajar, en nuestro caso siendo pistones, cabezotes de motor y perfiles de aluminio. Lo ideal, sería que estos elementos no se encontraran contaminados por ciertas sustancias ajenas, pero debido al tiempo que requiere su limpieza, esto se controlara más adelante durante la fundición.

2.2.2.2. Fundición

El proceso de fundición se lo realiza en hornos de fundición, el proceso de recuperación de aluminio se lo realiza con la adición de sales (NaCl, KCl, CaF₂), que permiten una mejor separación de metal y evitan la oxidación. Con la adición de sales se extrae un residuo denominado NMP (non-metallic product), el cual es de difícil manejar dado a su reacción con agua, hidrogeno, metano y amonio. Para solucionar esto, se realiza la calcinación a una temperatura de 982 °C, obteniendo materia prima con alta refractariedad, de igual forma para eliminar impurezas como AlN, FeSO₃, AlCl₃ se realiza un tratamiento de escorias a 1150 °C y 1280 °C. (Mora, 2020, pág. 20)

2.2.2.3. Moldeo en lingotes

Una vez fundido el aluminio se procede a colar en lingotes, este proceso debe de garantizar un enfriamiento adecuado:

- **Enfriamiento rápido:** Después del endurecimiento, los lingotes de aluminio se enfrían rápidamente mediante pulverización de agua.
- **Rociar agua en el molde:** Tras el desmoldeo, se recomienda rociar agua en la parte inferior del molde para reducir la temperatura.
- **Desmoldeo eficiente:** Se puede tomar los lingotes de aluminio directamente de la línea de lingotes sin necesidad de esperar a que se enfríen.

En general, el proceso de obtención de una muestra o probeta se lo realizaría en el torno, esto implicaría el uso de herramientas de corte adecuadas, como brocas o insertos de corte, para retirar una pequeña cantidad de material (en nuestro caso 25 mm de diámetro), de la pieza de aluminio. este proceso debe realizarse con cuidado para garantizar la precisión y la integridad de la muestra obtenida.

2.3. Equilibrio estequiométrico

En química y termodinámica, el término "equilibrio estequiométrico" se refiere a la relación cuantitativa entre los reactivos y los productos de una reacción química. El principio de conservación de la masa, que significa que la masa total de los reactivos debe ser igual a la masa total de los productos, es la base del equilibrio estequiométrico. Además, el equilibrio estequiométrico tiene muchas aplicaciones en la creación de compuestos químicos, la combustión de combustibles, la creación de heterociclos biológicamente activos, la creación de compuestos quirales y la enseñanza de estequiometría y estructura de compuestos químicos. (Faster Capital,2024)

2.4 Estudios químicos

2.4.1 Análisis espectrofotométrico

La espectrofotometría atómica es una técnica que utiliza un conjunto de métodos para determinar el porcentaje de metales presentes en una muestra. Esta técnica se basa en la absorción o emisión de haces de luz por parte de los átomos o moléculas presentes en la muestra a longitudes de onda específicas.

Esta medición también puede usarse para calcular la cantidad de un producto químico conocido que está presente en una sustancia. La espectrofotometría utiliza la radiación electromagnética del espectro visible y ultravioleta. La absorción de rayos infrarrojos, visibles y ultravioleta depende de la estructura de las moléculas y de cada sustancia química. (Espectrometría, 2024, págs. 1-2)

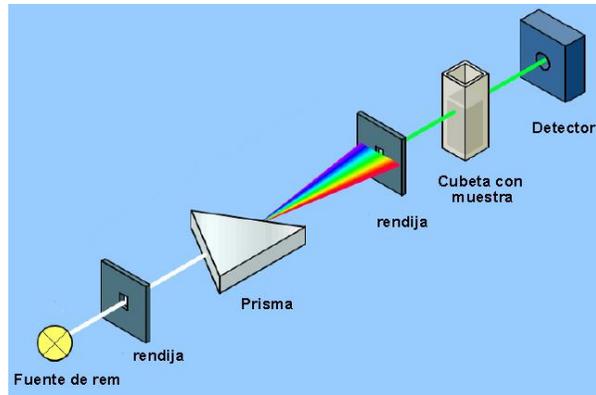


Ilustración 2-10: Espectrofotometría de metales

Fuente: (German Fernandez, 2024)

2.4.2 Pruebas Metalográficas

Las pruebas metalográficas son un tipo de análisis no destructivos que buscan información sobre la microestructura de materiales metálicos mediante la observación de este bajo un microscopio. Este proceso involucra diversas etapas de preparación y visualización de la microestructura, entre ellas:

- Corte: Utilización de equipos especiales para lograr una superficie plana y homogénea de la muestra.
- Montaje: Encapsulamiento de la muestra para facilitar su manipulación durante el resto del proceso.
- Desbaste y pulido: Procesos que eliminan impurezas y rugosidades de la superficie hasta conseguir una preparación final, como "acabado espejo" para materiales metálicos.
- Ataque químico: Tratamientos químicos selectivos que revelan la microestructura del material, permitiendo su identificación y análisis.
- Observación: Examen de la microestructura bajo un microscopio metalográfico o un estereomicroscopio.

Los reactivos utilizados en el ataque químico pueden variar dependiendo del material y propósito de la investigación. Por ejemplo, el reactivo de Keller se utiliza para revelar límites de grano y orientaciones en aleaciones de aluminio.

2.4.3 *Análisis de carbono*

Se realizan pasos específicos para realizar el análisis de carbono en un microscopio electrónico de barrido (SEM). Para darle propiedades conductoras, la muestra generalmente se recubre con una capa delgada de carbono o un metal como el oro.

Este recubrimiento es esencial para mejorar la conductividad de la muestra y permitir un análisis químico más preciso a través de métodos como EDS (Espectroscopía de Dispersión de Energía).

Una vez que la muestra ha sido preparada, se utiliza el haz de electrones emitido por el SEM para escanearla. Estos electrones producen una variedad de señales que son detectadas y convertidas en una imagen de alta definición con una resolución que oscila entre 0,4 y 20 nanómetros cuando inciden en la muestra.

2.4.4 *Diseño completamente aleatorizado*

El diseño completamente aleatorizado es un diseño de experimentos que permite asignar de forma aleatorizada los valores experimentales a los distintos tratamientos. Se utiliza para determinar si los valores experimentales son homogéneos o difieren estadísticamente.

El modelo matemático del DCA es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \tag{1}$$

Y_{ij} Siendo la variable respuesta.

μ Promedio global.

τ_i Efecto del tratamiento.

ε_{ij} Efecto del error aleatorio.

2.4.4.1 *Hipótesis del DCA*

Se estudian dos principales hipótesis:

Los tratamientos son iguales estadísticamente en cuanto a sus medias

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 \tag{2}$$

Al menos dos de los tratamientos son diferentes

$$H_a = \mu_i \neq \mu_j \quad (3)$$

El método capaz de probar la hipótesis de nula con un solo estadístico de prueba se denomina Análisis de varianza.

Las fórmulas aplicadas con la notación de puntos:

$$Y_{i.} = \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij} \quad (4)$$

$$\bar{Y}_{i.} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}}{n_i} \quad (5)$$

$$Y_{..} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij} \quad (6)$$

$$\bar{Y}_{..} = \frac{Y_{..}}{N}, i = 1, 2, \dots, k \quad (7)$$

2.4.4.2 ANOVA

El análisis de varianza es una técnica estadística que ayuda a comparar las medias de tres o más grupos y determinar si existen diferencias significativas entre ellas. Esto analizando el valor estadístico F, entre el valor F calculado y el valor F estadístico.

Para realizar la tabla ANOVA se requiere las siguientes fórmulas.

- Tratamientos:

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i.}^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N} \quad (8)$$

$$k - 1$$

(9)

$$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$$

(10)

$$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$$

(11)

$$P(F > F_0)$$

(12)

- Error:

$$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$$

(13)

$$N - k$$

(14)

$$CM_E = \frac{SC_E}{N - k}$$

(15)

- Total:

$$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

(16)

$$N - 1$$

(17)

2.4.4.3 Coeficiente de variabilidad

Es una medida estadística que nos permite determinar la variabilidad o la dispersión de los datos.

$$CV = \frac{\sqrt{CM_{ERROR}}}{\sum Y_i / N} * 100\%$$

(18)

Criterio de decisión

- Si $CV \leq 10\%$ existe poca variabilidad.
- Si $10\% \leq CV \leq 33\%$ existe una variabilidad aceptable.
- Si $33\% \leq CV \leq 50\%$ existe una variabilidad excesiva pero tolerable.

- Si $CV \leq 50\%$ existe una variabilidad excesiva y no aceptable.

2.4.4.4 Grafica de comparación entre dos tratamientos utilizando Fisher

Permite determinar gráficamente la diferencia entre dos tratamientos, se utiliza una vez realizado un análisis de varianza ANOVA, y si esta ha resultado significativa.

$$IC_{|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j|} = |\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| \pm t_{(\alpha/2, GLE)} * \sqrt{CM_{ERROR} * \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j}\right)} \quad (19)$$

Criterios de decisión

- Si el intervalo de diferencia de los promedios atraviesa el cero, no existe diferencia entre el tratamiento i-ésimo y el j-ésimo.
- Si el intervalo de diferencia de los promedios no cruza el cero, existe diferencia entre el tratamiento i-ésimo y el j-ésimo.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Introducción al marco metodológico

La investigación aplicada se enfoca en las pruebas de fundición de chatarra de aluminio con un enfoque explicativo y un diseño experimental. El objetivo es crear una mezcla adecuada para su uso posterior. Se utilizó un horno de crisol con varios componentes necesarios para la fundición, lo que permitió un proceso de fundición controlado. La investigación se centró en realizar pruebas experimentales para determinar una mezcla de chatarra de aluminio que cumpliera con los requisitos requeridos por la empresa. La definición de variables y la realización de pruebas son parte del marco metodológico.

3.2. Fundamentos de la Metodología

3.2.1. Tipos de Investigación

La presente investigación se cataloga como aplicada, debido a su orientación en resolver un problema práctico; la recuperación de aleación de aluminio a partir de chatarra para la empresa ECUAMATRIZ CIA LTDA. Este enfoque aplicado, se lo realiza debido a la necesidad de obtener una mezcla adecuada para la obtención de aluminio secundario, mismo que debe cumplir con la composición química establecida por normativas para aleaciones.

Este tipo de investigación se centra en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación, con el objetivo de satisfacer necesidades concretas y proporcionar soluciones a problemas del sector social o productivo. (CNAC, 2023)

3.2.2. Enfoque de la Investigación

El enfoque de esta investigación es de carácter cuantitativo debido al enfoque en los porcentajes de cada elemento que componen la aleación que se funde a partir de chatarra, para la determinación de una mezcla óptima, misma que cumple en la obtención de aluminio secundario similar al utilizado en la empresa ECUAMATRIZ CIA LTDA.

La investigación con enfoque cuantitativo se centra en la recolección y análisis de datos numéricos para identificar tendencias, promedios, relaciones y obtener resultados generales, para el análisis de datos y se presenta en forma de tablas o gráficos.

Para cumplir con este enfoque, se debe seguir un proceso de recolección de datos, mediante pruebas de fundición, obteniendo probetas que serán analizadas en laboratorio.

3.2.3. Alcance de la Investigación

El alcance de la investigación es de tipo explicativo, debido a que se busca establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian. Este alcance de investigación va más allá de la simple descripción de un concepto o fenómeno o de establecer una clasificación entre variables. La investigación explicativa es el tipo de investigación más común y se encarga de establecer relaciones de causa y efecto que permiten hacer generalizaciones a realidades similares. (Ramos, 2020, pág. 3)

Enfocado esto a la investigación, se establece relacionar el efecto de cada tipo de chatarra, en la obtención de una mezcla con composición y propiedades similares a la utilizada en la empresa.

3.3. Diseño de la Investigación

3.3.1. Diseño Experimental

El diseño experimental es un enfoque metodológico que se utiliza en la investigación científica para establecer relaciones causales entre variables. El diseño experimental utilizado es el diseño completamente aleatorizado, que permite determinar la homogeneidad de las medias, y determinar si existen diferencia significativa en al menos uno de los tratamientos.

3.3.1.1. Variable Independiente

La variable independiente para el estudio es la mezcla por utilizar, en nuestro caso constamos de tres, que varían en el porcentaje utilizado de pistones, cabezotes y perfiles. Estos como fuente de aluminio para la fundición

3.3.1.2. Variable Dependiente

La variable dependiente es el porcentaje de los elementos químicos obtenidos, medidos a través del análisis espectrofotométrico. Específicamente tres de ellos (silicio, cobre y hierro).

3.3.1.3. Hipótesis

Hipótesis Nula

$$H_0 = \mu_A = \mu_B = \mu_C$$

Las mezclas son iguales estadísticamente en cuanto a sus medias.

Hipótesis Alternativa

$$H_a = \mu_i \neq \mu_j$$

Al menos una de las mezclas es diferente en cuanto a sus medias.

3.3.2. Diseño de investigación

La investigación se enfoca en los resultados del análisis espectrofotométrico, que se realizó a cada mezcla, esto fue analizado estadísticamente mediante un DCA (diseño completamente al azar) con el objetivo de aleatorizar todas las pruebas, analizando todos los posibles efectos ambientales y temporales se repartan equitativamente entre los tratamientos “mezclas”.

3.4. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Investigación

En dicha investigación para la obtención de mezcla óptima de chatarra, se aplicó métodos y técnicas experimentales que resultaron efectivos en el análisis y obtención de datos, desde el estudio de fuentes de chatarra, el obtener la chatarra y terminar con la mezcla.

3.4.1. Métodos de Investigación

El enfoque metodológico para datos cuantitativos en la recolección y análisis de datos para la investigación se basa en técnicas matemáticas, estadísticas y computarizadas para analizar datos cuantitativos, como estadísticas y porcentajes.

Recolectando datos, mediante investigación de campo para obtener la chatarra, las pruebas de fundición, y análisis de las probetas a espectrofotometría, para posterior realizar un DCA para determinar estadísticamente la mezcla adecuada. Además del uso del programa estadístico MINITAB, que permitió realizar comparaciones gráficas para determinar diferencia entre las mezclas.

3.4.2. Técnicas de Investigación

Las propiedades y características de las fundiciones con diferentes tipos de chatarra se estudiaron utilizando una variedad de métodos de investigación. Se realizaron pruebas de fundición teniendo en cuenta el tipo de chatarra utilizada. Después de cada fundición, las muestras también fueron analizadas en laboratorio mediante pruebas espectrofotométricas. Estas técnicas proporcionaron datos importantes sobre cómo el tipo de chatarra afecta las propiedades químicas de las fundiciones.

3.4.3. Instrumentos de Investigación

Para la obtención de datos, se utilizó instrumentos específicos, como el uso de balanza, para determinar el peso de cada elemento de fundición, el Bruker, máquina que realiza estudios espectrofotométricos, microscopio óptico para el análisis metalográfico y el microscopio SEM para el análisis de carbono.

Dichos instrumentos permitieron la toma de decisiones concretas para la obtención de la mezcla buscada.

3.4.3.1. Bruker Q2 ION

Desde la página oficial de la maquinaria, definen al Bruker Q2 ION como “un analizador de minerales compacto y portátil para espectroscopia de emisión óptica (OES)”. Este es uno de los espectrómetros de emisión de chispas compacto para el análisis de metales. El instrumento está diseñado para su uso en la industria metalúrgica, con un flujo de trabajo dedicado para la inspección del material entrante y el control de calidad, además de contar con modos de análisis estándar.

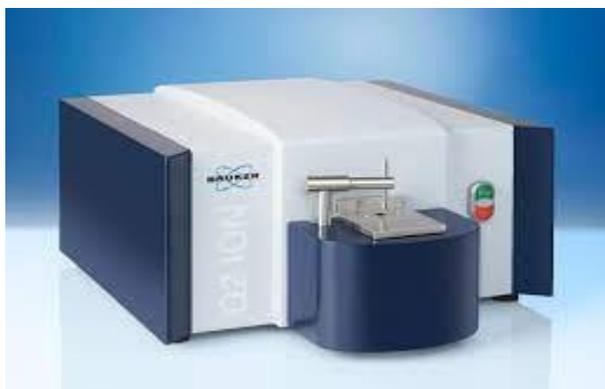


Ilustración 3-1: Bruker Q2 ION

Fuente: (Bruker, 2023)

Esta máquina puede estudiar espectrofotómetros de varios materiales utilizando argón y generando un haz de plasma. Después de usar este haz de plasma, realiza el proceso de absorción atómica, lo que determina la composición de la probeta.

3.4.3.2. Microscopio Óptico

Un microscopio óptico es un aparato que utiliza lentes ópticas para crear imágenes de objetos pequeños como microorganismos, células y tejidos. Funciona porque la luz se refleja cuando atraviesa una lente, lo que permite que la imagen se enfoque en un punto y genere una imagen más grande del objeto. El sistema mecánico y el sistema óptico, que incluye lentes como los oculares y los objetivos, son los componentes principales de un microscopio óptico.



Ilustración 3-2: Microscopio Óptico

Fuente: (Kalstein,2023)

El aumento máximo que se puede lograr con un microscopio óptico es de unos 0,2 micrómetros, pero no se pueden ver objetos más pequeños que esta medida, como átomos o moléculas. Para visualizar estos objetos, se utilizan otros tipos de microscopios, como los electrónicos o los de fuerza atómica.

3.4.3.3. Microscopio eléctrico de barrido SEM

El microscopio electrónico de barrido (SEM), que utiliza electrones en lugar de luz para producir imágenes de alta resolución y profundidad de campo, es una herramienta. Ernst Ruska lo inventó en 1931 y permite observar y caracterizar materiales superficiales inorgánicos y orgánicos. Los diversos funcionamientos incluyen:

- Utiliza un haz de electrones a baja energía en lugar de luz para escanear las superficies de microorganismos;
- Utiliza electrones secundarios, retro dispersados y retro dispersados difractados para ver fotones y elementos cristalizados.
- Facilita la correlación de imágenes macro y microscópicas al proporcionar imágenes en tres dimensiones con una gran profundidad de campo.



Ilustración 3-3: Microscopio Eléctrico de Barrido

Fuente: (UBA Exactas,2022)

3.5. Descripción de los procesos y materiales

3.5.1. Materiales

3.5.1.1. Horno de Fundición por Crisol

Un horno de fundición por crisol es un tipo de horno utilizado para fundir metales en diferentes aplicaciones. Estos hornos pueden ser utilizados para fundir metales no ferrosos, aluminio, bronce y otros materiales.



Ilustración 3-4: Horno para pruebas

Fuente: (Ecuamatrix, 2024)

El horno de crisol para fundición de aluminio utiliza gases de petróleo (GLP) como combustible y ha sido diseñado para fundir aluminio con una capacidad de 50 kg/ha una temperatura de 800 °C. El horno sigue procesos de diseño y construcción específicos para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro.

3.5.1.2. Fundentes

Coveral

El Coveral es un químico que se utiliza para cubrir y limpiar aluminio fundido. Es un polvo exotérmico que ayuda en la separación de óxidos e inclusiones y los lleva a la superficie en forma de escoria. Además, actúa como una capa que protege el aluminio fundido de la oxidación.



Ilustración 3-5: Coveral, fundente para aluminio

Fuente: (Foseco,2021)

Pastilla desgasificante para aluminio

Las pastillas desgasificantes de aluminio se utilizan para eliminar gases indeseables y mejorar la calidad de la fundición de aluminio. Estas pastillas reaccionan al sumergirse en el aluminio, generando una burbuja de gas químico que, por arrastre mecánico, desgasifica y limpia el aluminio.



Ilustración 3-6: Pastilla desgasificante para aluminio

Fuente: (Imp. FerroAleaciones,2022)

3.5.1.3. Reactivo de Kellers

El reactivo de Keller es una solución utilizada en análisis metalúrgicos para grabar aleaciones de aluminio y revelar sus límites y orientaciones de grano. Sus ingredientes incluyen agua destilada, ácido nítrico, ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico.



Ilustración 3-7: Reactivo de Kellers

Fuente: (ES Laboratorio, 2022)

3.5.1.4. Torno

Un torno para mecanizado de piezas es una máquina herramienta que arranque viruta para dar forma a piezas de metal, madera y otros materiales. Para crear la pieza final, se elimina material durante el

proceso de mecanizado de piezas con torno. Cada tipo de torno, como el torno mecánico, el torno CNC y el torno copiador, tiene sus propias características y usos.



Ilustración 3-8: Torno para mecanizado

Fuente: (Glen McKechine, 2006)

3.5.1.5. Cortadora de metales

La máquina cortadora de metales FAT 280 M60 es un modelo de cortadora manual, diseñado para cortar materiales en ángulo de hasta 60°. Utiliza agua para ayudar en el corte de metales.



Ilustración 3-9: Cortadora de metales FAT 280

Fuente: (DG Metal, 2022)

3.5.2. Procesos

3.5.2.1. Análisis del mercado de la chatarra

Se realizó un estudio de campo en las ciudades de Riobamba y de Ambato, donde se pudo recopilar información en cuestión de costos. Tomando como base el precio venta al público de la chatarra de aluminio que se utilizó en las pruebas de fundición.

Recicladoras

Tanto en Riobamba como en Ambato, existen diferentes grupos encargados en el reciclaje, estos son:

- Empresas dedicadas a la compra y venta de chatarra.
- Asociaciones y cooperativas de reciclaje.
- Municipios e instituciones educativas.

De todos estos, los proveedores principales son las empresas recicladoras. Mismas que se encargan de la recolección de chatarra además de ya separarla y venderla al peso. Cabe aclarar que en las recicladoras obtendremos principalmente perfiles de aluminio.

Los precios de venta, en las principales recicladoras de ambas ciudades son:

Tabla 3-1: Análisis de precios de perfiles en recicladoras

Fuente	Precio (\$/lb)	Precio (\$/kg)
Riobamba		
Recicladora Riobamba	0,88	1,936
Recarpel	1	2,2
Recicladora Cotopaxi	1,2	2,64
Ambato		
Recicladora Paso Lateral	1,3	2,86
Recicladora Fannycuta Gestor Ambiental	1	2,2

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

El precio venta ronda desde los \$ 1,94 a \$ 2,9 por kilo de perfil. La mejor opción de compra es la Recicladora Riobamba.

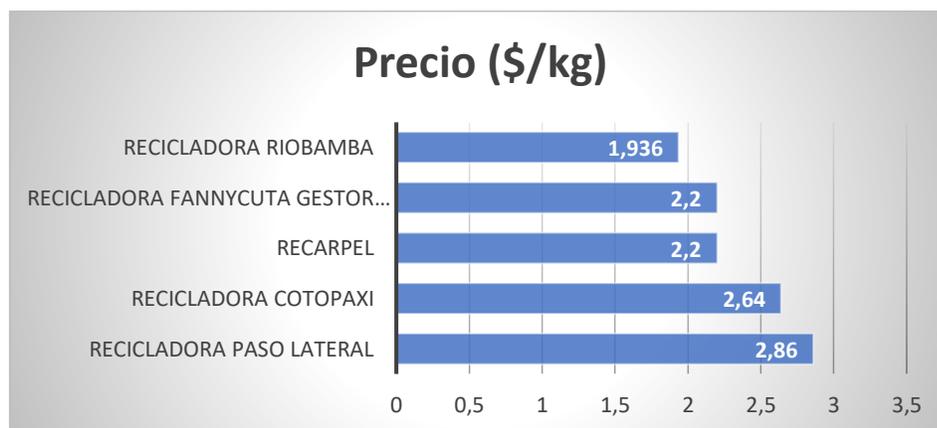


Ilustración 3-10: Comparativa de precios de perfiles en recicladoras.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Talleres Automotrices

Los talleres automotrices, dedicados a la reparación de vehículos, en estos se encuentran principalmente cabezotes y pistones de aluminio, provenientes de motores de vehículos.

Los precios de venta, en los principales talleres automotrices de ambas ciudades son:

Tabla 3-2: Análisis de precios de cabezotes y pistones en talleres automotrices

Fuente	Precio (\$/lb)	Precio (\$/kg)
Riobamba		
Autobamba	-	2
Tecnicentro Automotriz Cáceres	-	2,2
Mecánica a Diesel "El Monito"	-	2,3
Ambato		
Centro Automotriz Ambato	1,4	3,08
Autos Mecánica Automotriz	1,1	2,42
INGEAUTO	1	2,2

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

El precio venta ronda desde los \$ 2 a \$ 3 por kilo de cabezote o pistón. La mejor opción de compra, Autobamba.

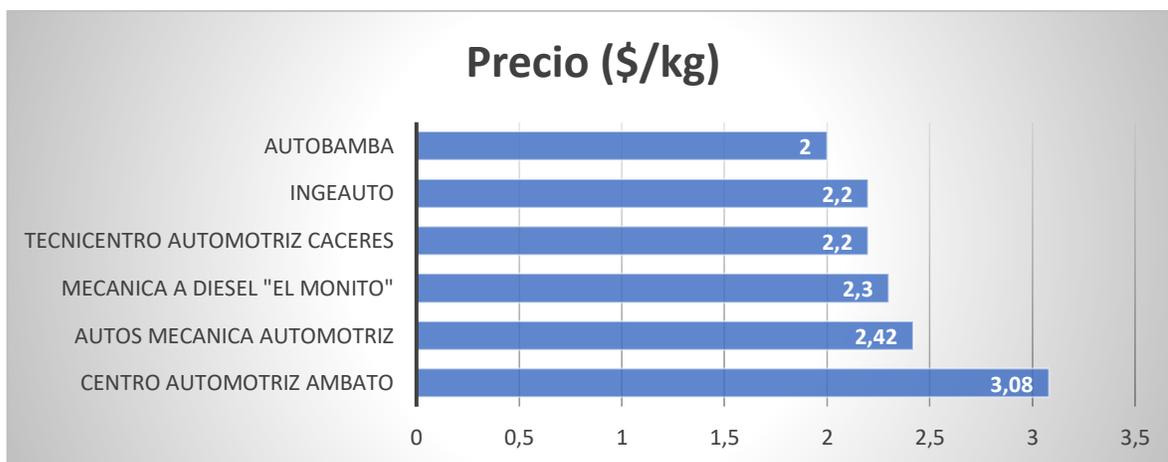


Ilustración 3-11: Comparativa de precios de talleres automotrices por cabezote o pistón.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Empresas de cerrajería metálica

Las empresas de cerrajería metálica se dedican a elaborar productos como puertas, ventanas y demás mobiliario, mismas que son elaboradas con perfilaría de aluminio. Estas venden el desperdicio al peso.

Los precios de venta, en las principales empresas de cerrajería metálica de ambas ciudades son:

Tabla 3-3: Análisis de precios de perfiles en empresas de cerrajería metálica

Fuente	Precio (\$/lb)	Precio (\$/kg)
Riobamba		
Industrias Metálicas Vilema	1	2,2
Comercial Vera	1,2	2,64
Industrias Metálicas Calderón	1,4	3,08
Ambato		
Ch & Ch Industria Metálicas	1,2	2,64
Industrias Metálicas Sanabria	1,4	3,08

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

El precio venta ronda desde los 2,2 \$ a 3 \$ por kilo de cabezote o pistón. La mejor opción de compra, Industrias Metálicas Vilema.



Ilustración 3-12: Comparativa de precios en empresas de cerrajería metálica por perfiles.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Comparación de precios

En cuestión de cabezotes y pistones la fuente principal de adquisición, son los talleres automotrices. Por previo análisis, los talleres de la ciudad de Riobamba representan un precio menor de venta.

Tabla 3-4: Análisis de precios de cabezotes y pistones por ciudad.

Ciudad	Precio (\$/kg)	% Diferencia
Riobamba	2,17	0
Ambato	2,57	18

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

En comparativa, en Ambato se venden a un 18% más del valor de venta en Riobamba.

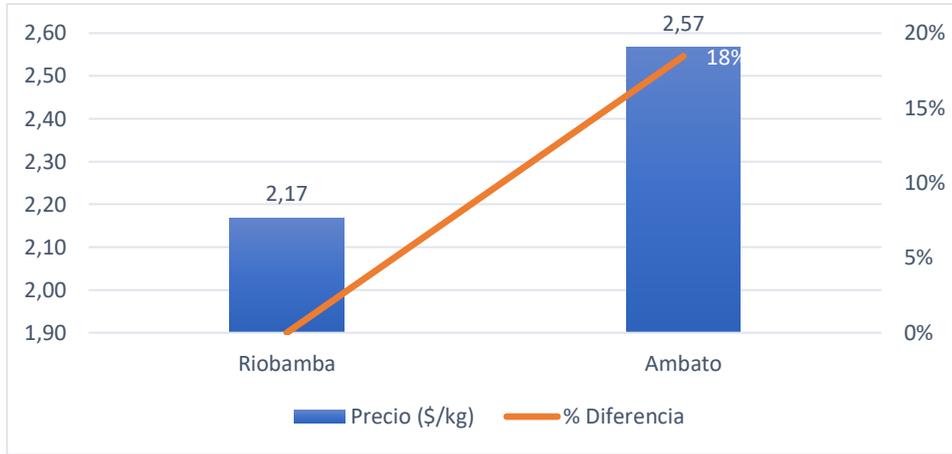


Ilustración 3-13: Diferencia de precios entre ciudades.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

En cuanto a perfilería de aluminio, existen dos fuentes, las recicladoras y las empresas de cerrajería metálica.

Tabla 3-5: Análisis de precios de perfiles por fuente

Ciudad	Precio (\$/kg)	% Diferencia
Recicladoras	2,37	0
Empresas de cerrajería metálica	2,73	15

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

En comparativa, en las empresas de cerrajería metálica se venden a un 15% más del valor de venta en Riobamba.

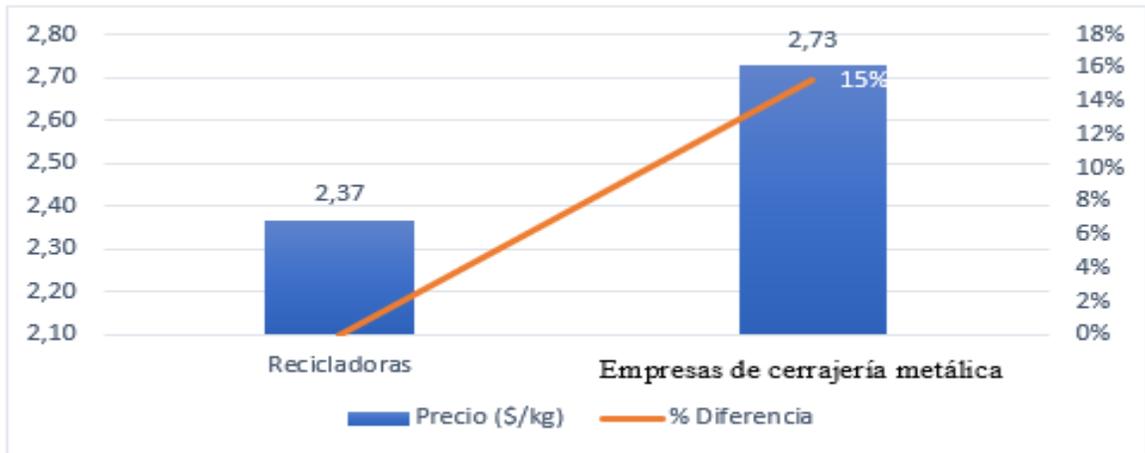


Ilustración 3-14: Diferencia de precios entre recicladoras y empresas de cerrajería metálica

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

En cuanto a ciudades, se puede analizar los precios de la perflería:

Tabla 3-6: Análisis de precios de perflería por ciudad.

Ciudad	Precio (\$/kg)	% Diferencia
Riobamba	2,26	0
Ambato	2,53	12

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

En comparativa, en Ambato se venden a un 12% más del valor de venta en Riobamba.

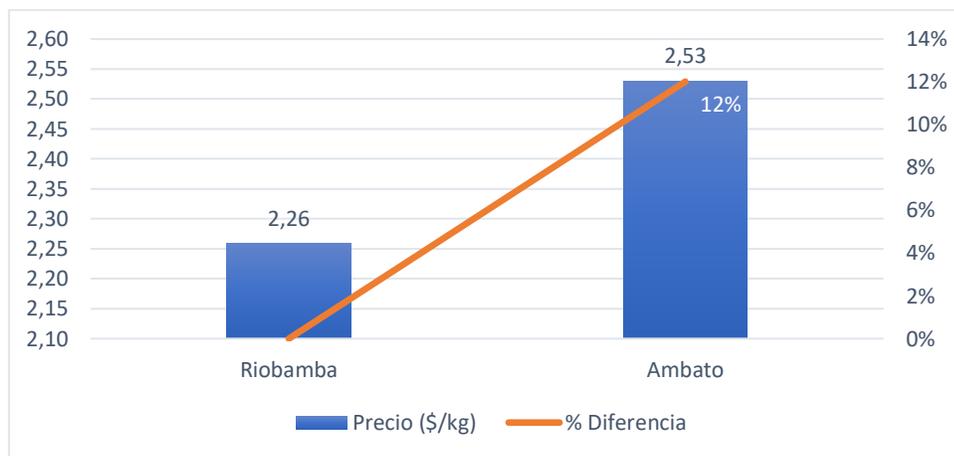


Ilustración 3-15: Comparativa de precios entre ciudades por perflería

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Se realizó la compra de 150 kg de chatarra para realizar las pruebas de fundición; obtenidas de los lugares antes mencionados.

Tabla 3-7: Resumen de costos de chatarra de aluminio.

Tipo de chatarra	Origen	Precio (\$/kg)	Cantidad (kg)	Total
Perflería	Recicladora Riobamba	\$1,94	67	\$129,98
Cabezotes	Tecnicentro Automotriz Cáceres	\$2,20	49,5	\$108,90
Pistones	AUTOBAMBA	\$2,00	38,5	\$77,00
			Total	\$315,88

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

3.5.2.2. Espectrofotometría a la chatarra

Se procedió a realizar las pruebas de espectrofotometría a la chatarra utilizada para la fundición. Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de materiales de la Facultad de Mecánica, en las instalaciones de la ESPOCH.

Elementos utilizados

- BRUKER Q2 ION
- Algodón
- Probetas
- Disco de lija

Probetas

Se analizó 16 probetas de 3 diferentes fuentes. Diez probetas de perfiles, tres de pistones y tres de cabezotes. Dichas probetas debían cumplir con las dimensiones requeridas, 25 mm de diámetro.



Ilustración 3-16: Probeta de chatarra

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Preparación

Antes de analizar las probetas en la máquina, se procedió a limpiar el área de análisis, con algodón.



Ilustración 3-17: Instrumentos adicionales para espectrofotometría

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Procedimiento

Se colocó la probeta en el área de análisis de la máquina, se tomaron 3 datos de cada probeta para obtener datos concluyentes.



Ilustración 3-18: Prueba espectrofotométrica

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Después de cada análisis, se procedía a limpiar el área y ligar la probeta, debido a que la prueba dejaba escoria en la superficie de la probeta.

Resultados

Se obtuvo un reporte general por cada tipo de fuente, la maquina BRUKER, genera un promedio general de las pruebas realizadas.

Cabezotes

Bruker Analysis Report



Sample:					
Analysis Time:	07.12.2023 16:24:47		Method:	Al100	
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	15,45	0,653	0,179	0,232	0,762
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,068	0,166	0,299	0,175	0,887
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	0,417	0,042	~0,176	0,066	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	0,173	0,015	0,010	0,194	>0,096
	Al [%]				
∅	79,91				

Ilustración 3-19: Resultado Espectrofotometría de Cabezotes

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Pistones

Bruker Analysis Report



Sample:

Analysis Time: 07.12.2023 16:32:50

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	20,89	0,472	1,177	0,148	1,952
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,055	0,400	0,048	0,107	0,516
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	0,332	0,035	0,043	0,055	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	0,146	0,017	0,0087	0,145	>0,096
	Al [%]				
∅	73,34				

Ilustración 3-20: Resultado de espectrofotometría de pistones

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Perfiles

Bruker Analysis Report



Sample:

Analysis Time: 07.12.2023 16:46:09

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,217	1,570	0,078	0,078	1,402
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,096	0,155	0,022	0,039	1,197
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	0,460	0,028	0,050	0,046	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	0,159	>0,072	0,0091	0,132	0,027
	Al [%]				
∅	93,15				

Ilustración 3-21: Resultado de espectrofotometría de perfiles

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Comparación

Tabla 3-8: Comparativa de elementos presentes en cada tipo de chatarra.

Elemento	Cabezote (%)	Pistones (%)	Perfiles (%)	Mayor % del elemento
Si	15,45	20,89	1,13	Pistones
Fe	0,65	0,47	1,57	Perfiles
Cu	0,18	1,18	0,08	Pistones
Mn	0,23	0,15	0,08	Cabezote
Mg	0,76	1,95	1,40	Pistones
Cr	0,07	0,06	0,10	Perfiles
Ni	0,17	0,40	0,16	Pistones
Zn	0,30	0,05	0,02	Cabezote
Al	79,91	73,34	93,15	Perfiles

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Tabla 3-9: Porcentaje de aluminio por chatarra.

Elemento	Cabezote	Pistones	Perfiles
Al	79,91 %	73,34 %	93,15 %

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

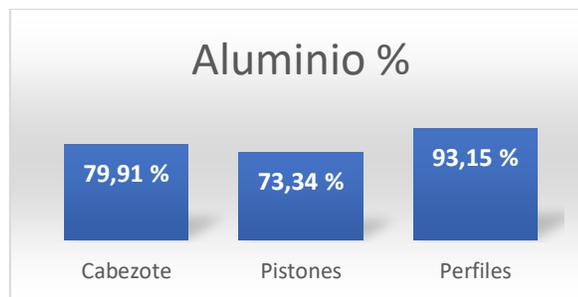


Ilustración 3-22: Porcentaje de aluminio por chatarra.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

El porcentaje de aluminio presente en las probetas analizadas varía según la fuente. El porcentaje de aluminio en los cabezotes es del 79,91%, en los pistones es del 73,34% y en los perfiles es del 93,15%. Estas variaciones en el porcentaje de aluminio indican que los materiales de las diferentes fuentes son de diferentes aleaciones, lo que puede tener efectos significativos en la fundición y el desarrollo de la aleación deseada.

3.5.2.3. Pruebas de Fundición

Procedimiento de fundición

Para realizar las distintas fundiciones se siguió con un procedimiento general el cual se basa en la norma europea UNE-EN 1559-4:2015.

- Encendido del horno: Para lograr la combustión, se requiere de tres elementos, chispa, aire y combustible. Para encender el horno, se debe de utilizar gas licuado de petróleo (combustible), un ventilador eléctrico (aire) y chispa (encendedor).
- Ingreso de chatarra: Se coloca la chatarra directamente en el crisol.
- Calentado del horno: En promedio el horno se calienta a los 30 minutos de haberse encendido, esto para poder llegar a los 690 °C.
- Plastificado de la chatarra: A los 45 minutos la chatarra empieza a plastificarse, esto en perfiles tiende a ser 10 minutos más rápido.
- Primera fundición de la chatarra: generalmente a los 60 minutos la chatarra comienza a fundirse, una vez existe presencia de líquido, la fundición de chatarra es inmediata.
- Ingreso de desgasificantes: Se ingresa primero las pastillas desgasificantes, por instrucción se coloca una pastilla por cada 25 kg de material. Estas ingresan de forma triturada y se deja actuar Posterior se ingresa el Coveral, el cual, por recomendación de fabricante, se coloca el 1% del peso del material total. Este se reparte en la parte superior de la fundición, dejándole actuar por unos minutos.
- Retirado de escoria: Una vez que los desgasificantes actúen en la fundición, se procede a retirar la escoria con el fin de eliminar cualquier elemento ajeno a la fundición.
- Moldeo en lingotes: Cuando la fundición se encuentra libre de escoria, se procede a colocar la fundición en lingotes.

Equipo de protección

Antes de comenzar con las pruebas de fundición, es necesario el uso de equipo de protección adecuado para la actividad, de igual forma la norma UNE-EN 1559-4:2015 nos dictamina el uso de:

- Equipo con tejido ignifugo (textil diseñado para resistir la ignición y la propagación de las llamas), esto conlleva braceras y un delantal de protección.
- Guantes de cuero largos, estos permiten la protección completa de los brazos, en conjunto con las braceras.
- Botas punta de acero, que protejan al pie en caso de la manipulación de la chatarra, al igual de salpicaduras de la fundición.

- Orejeras que permitan insonorizar ruidos altos que se presenten durante la fundición.
- Mascarilla industrial con filtro, que permitan un sello al completo y no permitan el ingreso de gases.
- Equipo de protección facial, como casco y viseras con ajuste.

Primeras fundiciones

Se fundió individualmente cada tipo de chatarra para ver su incidencia dentro de la fundición al analizar los resultados, tanto de composición como la escoria obtenida.

Primera Fundición

La primera fundición se utilizó perfiles.

Tabla 3-10: Resultados fundición de perfiles.

Primera Prueba de Fundición	
Material	Peso (kg)
Perfiles	25
Coveral	0,1
Pastilla desgasificante (unidad)	0,5
Lingote #1	5,765
Lingote #2	7,88
Lingote #3	7,6
Fundición total	21,245
Escoria	3,755

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Se logró recuperar el 83% de peso en lingotes, y se perdió el 17% en escoria.

Segunda Fundición

La segunda prueba de fundición se utilizó cabezotes.

Tabla 3-11: Resultados fundición de cabezotes.

Segunda Prueba de Fundición	
Material	Peso (kg)
Cabezotes	18,5
Coveral	0,05
Pastilla desgasificante (unidad)	0,5
Lingote #1	8,365
Lingote #2	6,8
Fundición total	15,165
Escoria	3,335

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Se obtuvo un 82% en peso total de aluminio secundario. Y una pérdida del 18% en escoria. Se procedió a refundir los lingotes obtenidos, debido a la excesiva porosidad del aluminio.

Tabla 3-12: Resumen primera refundición de cabezotes.

Primera Refundición	
Material	Peso (kg)
Lingote de cabezotes	15
Coveral	0,15
Pastilla desgasificante (unidad)	1
Lingote #1	6,575
Lingote #2	7,25
Fundición total	13,825
Escoria	1,157

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Se recuperó el 92% del peso fundido, perdiendo el 7%.

Tabla 3-13: Resumen segunda refundición de cabezotes

Segunda Refundición	
Material	Peso (kg)
Lingote de cabezotes	13,825
Coveral	0,2
Pastilla desgasificante (unidad)	1,5
Lingote #1	5,085
Lingote #2	6,804
Fundición total	11,889

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Se obtuvo el 86% del peso total y un 14% en escoria. En total de todas las fundiciones de cabezote, se recuperó un 65% en peso y un 35% en escoria.

Tercera Fundición

Para la última fundición se utilizó pistones de motor.

Tabla 3-14: Resumen fundición de pistones

Tercera Prueba de Fundición	
Material	Peso (kg)
Pistones	6
Coveral	0,03
Pastilla desgasificante (unidad)	0,5
Lingote	3,915
Fundición total	3,915
Escoria	2,085

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Se recuperó un 65% del peso en aluminio secundario y un 35% en escoria. De igual forma se refundió los lingotes debido a la porosidad excesiva.

Tabla 3-15: Resumen refundición de pistones

Primera Refundición	
Material	Peso (kg)
Lingote de pistones	3,9
Coveral	0,05
Pastilla desgasificante (unidad)	0,5
Lingote	3,485
Fundición total	3,485
Escoria	0,415

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Una vez realizado la refundición, se pudo eliminar la porosidad por completo, obteniendo un 89% de peso en lingotes y un 11% perdido.

En general para los pistones se logró recuperar el 58% del peso general, siendo este el peor de todos en relación con el peso obtenido.

Comparación

Tabla 3-16: Comparación de aluminio recuperado frente a escoria

Fuente	Porcentaje Recuperado	Escoria
Perfiles	83%	17%
Cabezotes	65%	35%
Pistones	58%	42%

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

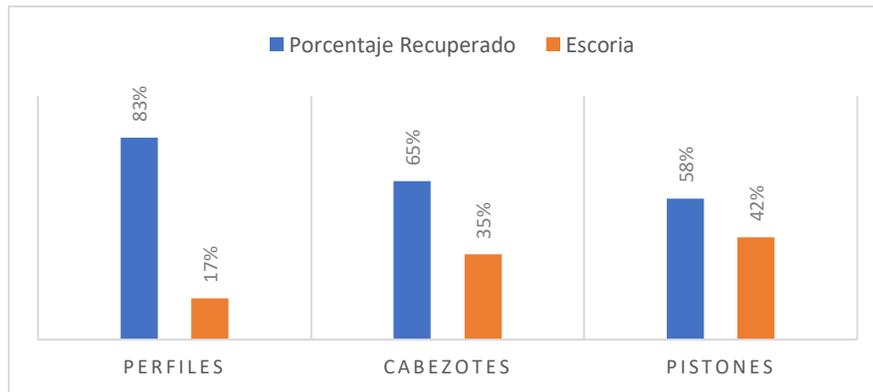


Ilustración 3-23: Porcentaje de aluminio recuperado y desperdicio

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Los pistones son los elementos que mayor escoria producen, generando un 42% de pérdidas en el peso recuperado durante la fundición.

Pruebas de laboratorio

Para realizar el análisis espectrofotométrico en el espectrómetro de emisión óptica es necesario obtener probetas de 25 mm de diámetro, estas fueron mecanizadas previamente en el torno para su debido análisis.



Ilustración 3-24: Probetas para espectrofotometría

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

La probeta 1 fue extraída de la segunda fundición, en donde solo se utilizó perfiles.

Bruker Analysis Report



Sample:					
Analysis Time: 01.02.2024 11:17:48			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	0,499	0,494	0,072	0,023	0,413
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,0035	0,013	0,0052	0,016	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0048	<0,0020	<0,0020	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0067
	Al [%]				
∅	98,43				

Ilustración 3-25: Resultado de espectrofotometría de la fundición de perfiles

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

La probeta 2 fue extraída de la cuarta fundición, en donde se utilizó cabezotes.

Bruker Analysis Report



Sample:					
Analysis Time: 01.02.2024 11:28:33			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	10,87	0,927	2,122	0,435	0,122
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,029	0,027	0,137	0,112	0,082
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	0,032	0,0092	<0,0020	0,0042	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0045
	Al [%]				
∅	85,08				

Ilustración 3-26: Resultado de espectrofotometría de la fundición de cabezotes

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

La probeta 3 fue extraída de la quinta fundición, en donde se utilizó pistones.

Bruker Analysis Report



Sample:		Analysis Time: 01.02.2024 11:37:12		Method: Al100	
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	22,72	0,996	7,438	0,122	0,978
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,148	0,384	0,850	0,118	0,814
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	0,596	0,047	0,057	0,072	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	0,179	0,050	0,011	0,206	0,059
	Al [%]				
∅	64,16				

Ilustración 3-27: Resultado de espectrofotometría de la fundición de pistones

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Comparación Espectrofotométrica

Tabla 3-17: Comparación de elementos por pruebas de fundición

Fuente	Aluminio	Silicio	Hierro	Cobre	Manganeso	Magnesio	Cromo
Perfiles	98,43%	0,50%	0,49%	0,07%	0,02%	0,41%	0,00%
Cabezotes	85,08%	10,87%	0,93%	2,12%	0,44%	0,12%	0,03%
Pistones	64,16%	22,72%	1,00%	7,44%	0,12%	97,80%	0,15%

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

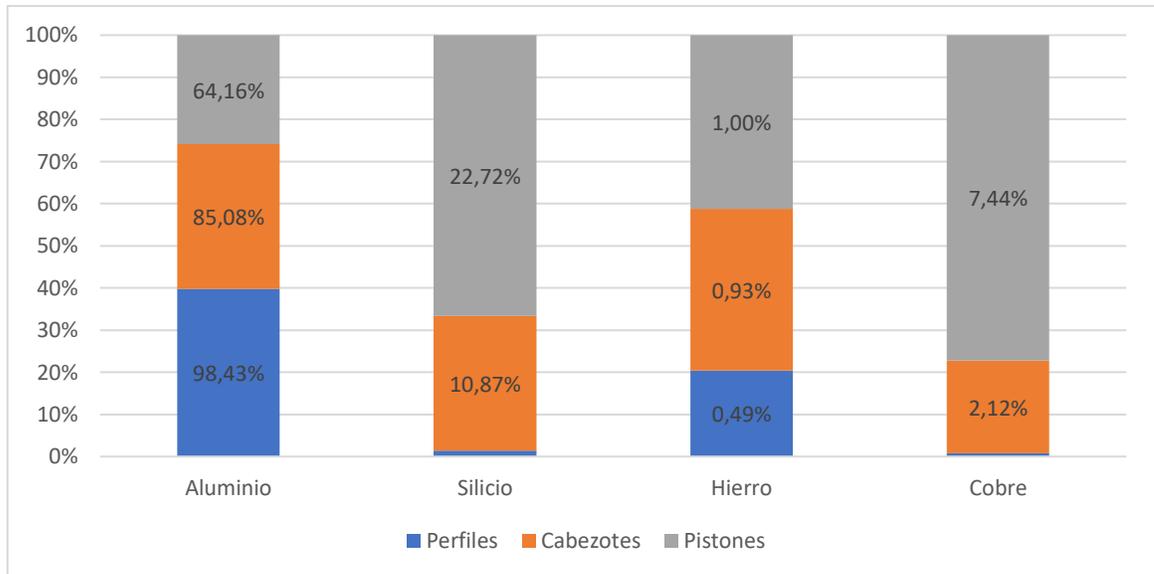


Ilustración 3-28: Comparación de porcentajes de elementos en las distintas pruebas de fundición

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Los perfiles son los que más aportan aluminio a la fundición, mientras que los pistones agregan silicio, pero de igual manera agregan cobre y hierro. Los cabezotes son un equilibrio entre ambos, ya que aportan aluminio y silicio en valores cercanos a los buscados.

Análisis Metalográfico

Para realizar el análisis metalográfico de las probetas, se realizó una preparación a las mismas, la cual consistía en la limpieza de la superficie. Se utilizó lijas de agua desde la número 400 hasta la 2000. Dicho proceso se lo realizó en la mesa de desbaste.



Ilustración 3-29: Desbaste a una probeta para análisis

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Posterior a esto se realizó pulió la superficie en la amoladora metalográfica de pulido, obteniendo una superficie completamente lisa.



Ilustración 3-30: Amoladora metalográfica de pulido

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.



Ilustración 3-31: Probetas después del pulido

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

A continuación, se realizó el ataque químico, utilizando removedor de óxidos y reactivo de Kellers.



Ilustración 3-32: Reactivo de Kellers

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Al final se observó en el microscopio óptico.



Ilustración 3-33: Microscopio Óptico

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Análisis de Grano

Para la probeta 1 de perfiles se obtuvo lo siguiente:

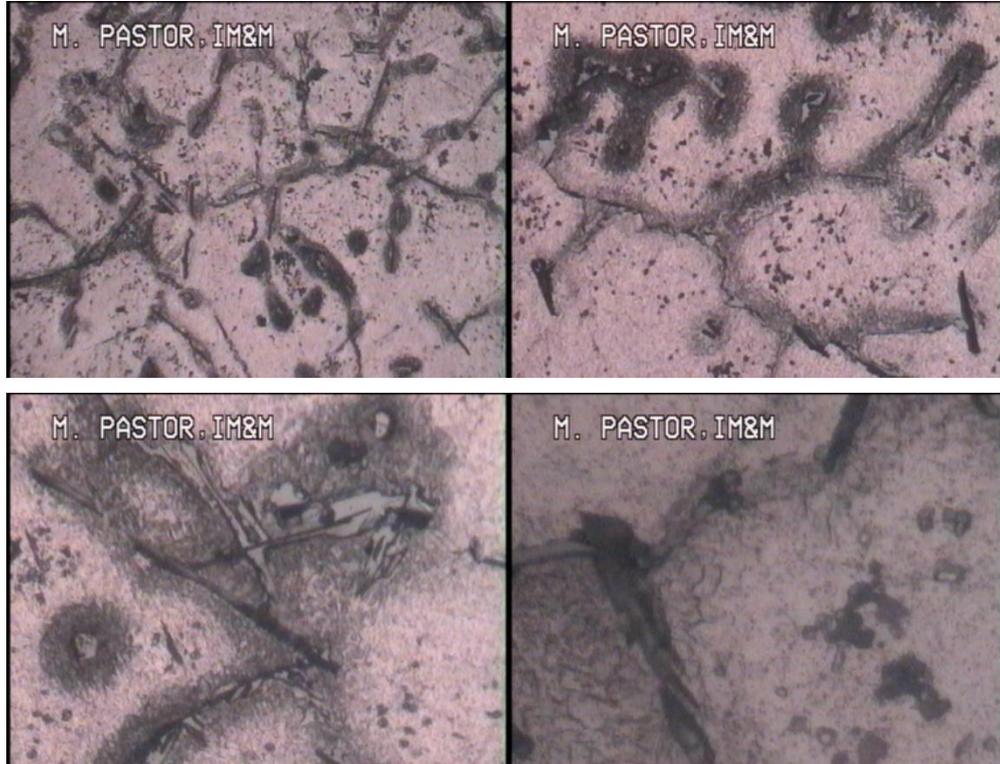


Ilustración 3-34: Graficas de probeta 1, X5, X10, X20, X50.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Analizando el tipo de grano, existen matrices de aluminio de gran tamaño, por lo que coincide con los altos porcentajes de aluminio de la espectrofotometría. Se observa varias concentraciones de Al_2O_3 (óxido de aluminio) que se formó al momento del torneado que no altera a la probeta. Podemos determinar que se trata de una aleación de aluminio 6063 ($Al-0.4Si-0.7Mg$)

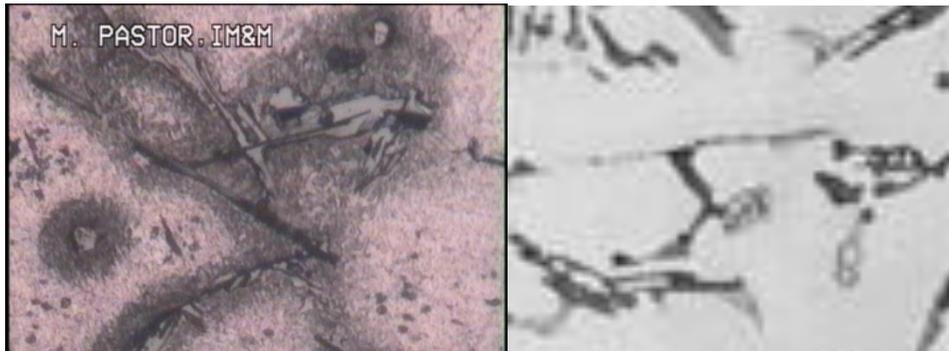


Ilustración 3-35: Comparación metalográfica de la fundición de perfiles.

Fuente: (ASM,1992)

Probeta 2

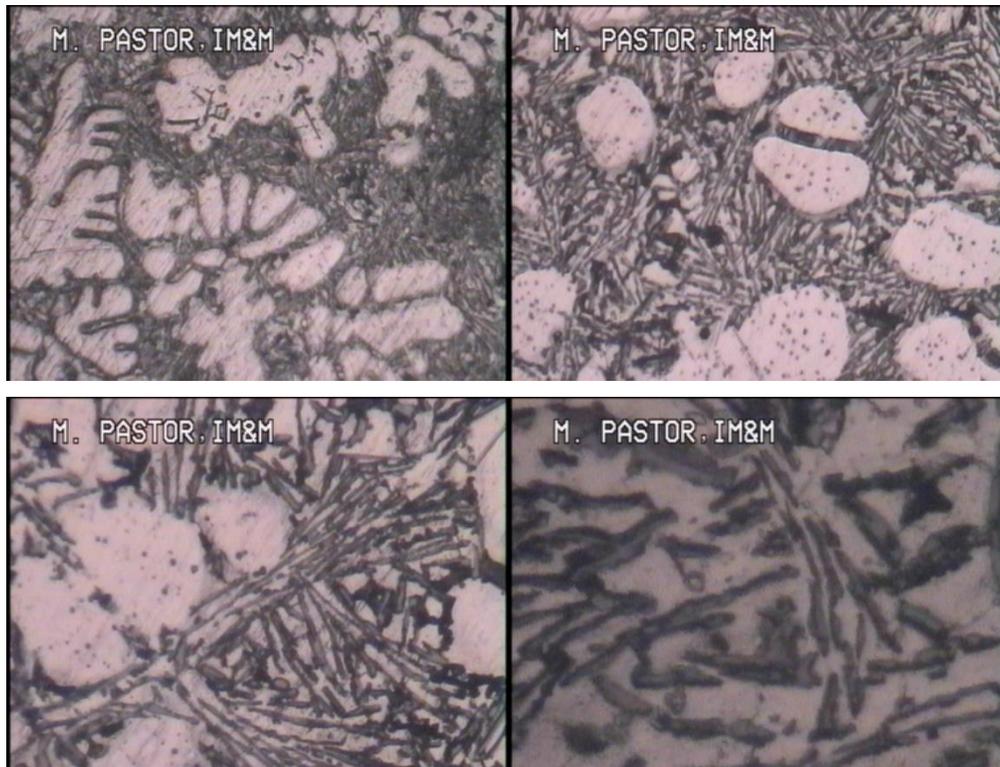


Ilustración 3-36: Graficas probeta 2, X5, X10, X20, X50.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Analizando la imagen X5, se encontró matrices de aluminio, estas cubiertas por silicio eutéctico, esto se denota en el resto de las imágenes, en donde las “líneas oscuras”, se remarcan cada vez más. Esto indica que la aleación presenta alto porcentaje de silicio.

Se encontró igual partículas de “lodo”, que es una mezcla de hierro magnesio como, esto se da por la concentración de silicio, pero debido al alto cobre presente disminuyen en concentración.

Comparando imágenes, esta aleación pertenece a la familia de los 354 (Al-9.0Si-1.8Cu-0.5Mg), que coincide con la prueba espectrofotométrica.

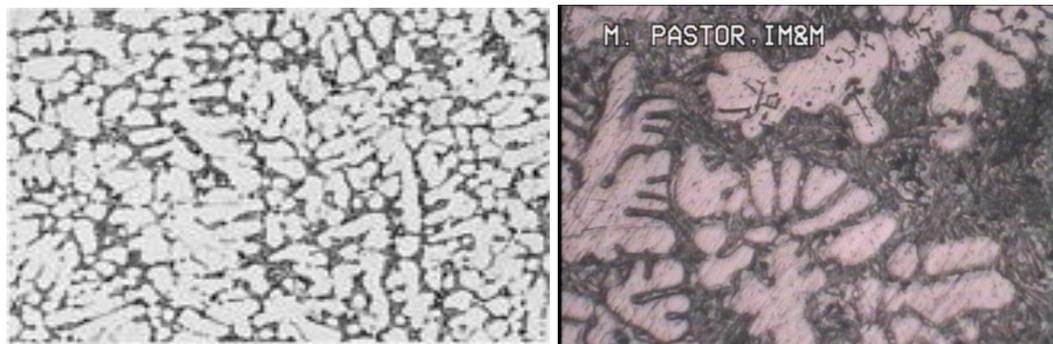


Ilustración 3-37: Comparación metalográfica de la fundición de pistones

Fuente: (ASM,1992)

Probeta 3

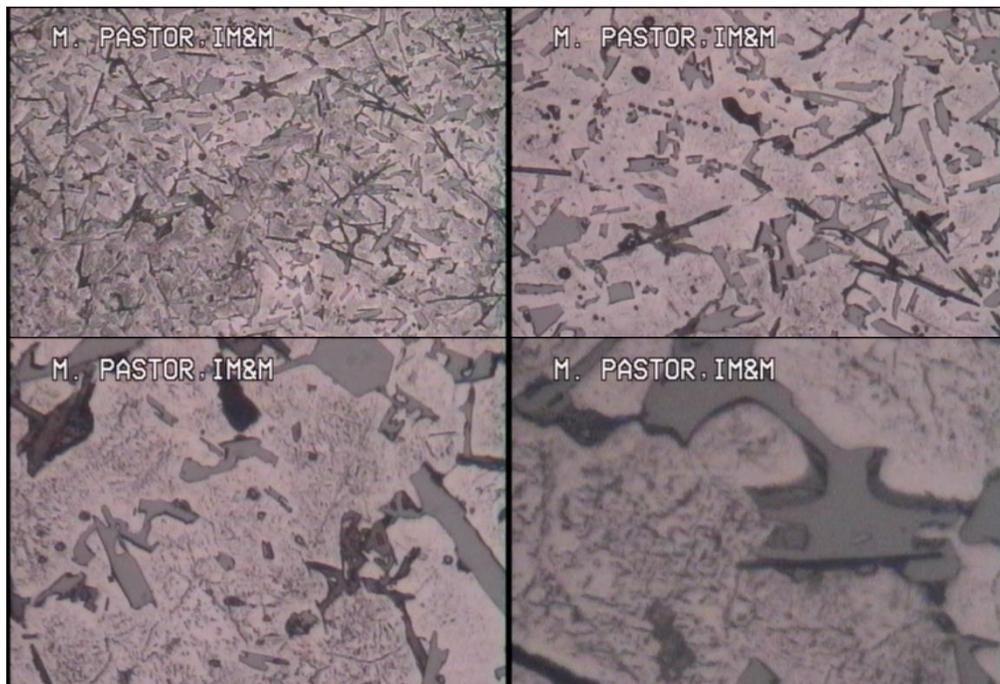


Ilustración 3-38: Gráficas probeta 3, X5, X10, X20, X50.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Analizando la imagen X5, se encontró matrices de aluminio, estas cubiertas por silicio eutéctico y partículas de “lodo”, estas son mayores a las presentadas en la fundición de pistones. Esto va aumentando a detalle conforme incrementa el lente.

Comparando imágenes, esta aleación pertenece a la familia de los 380 (Al-9.0Si-3.5Cu), que coincide con la prueba espectrofotométrica.

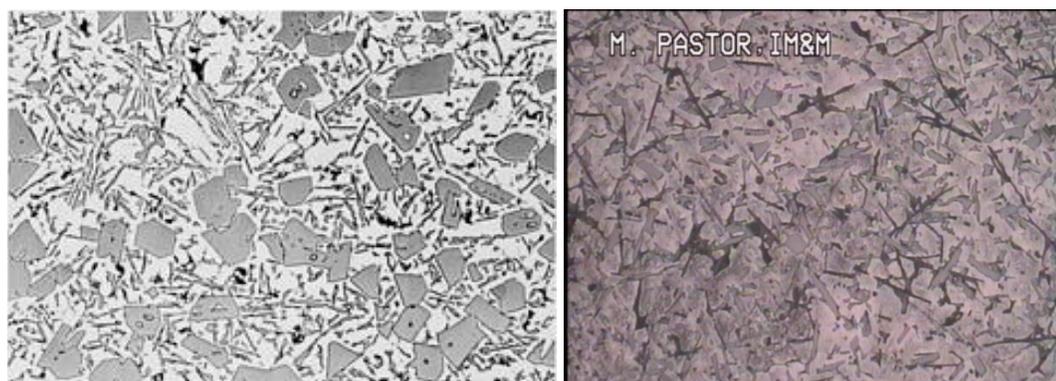


Ilustración 3-39: Comparación metalográfica de la fundición de cabezotes.

Fuente: (ASM,1992)

3.5.2.4. Pruebas de Fundición General

En base a los resultados obtenidos en pruebas anteriores, se procedió a realizar fundiciones utilizando diferentes mezclas. Esto en busca de obtener al menos una de las tres aleaciones que utiliza la empresa. Estas cumplen con las normativas. A413, A360 y ASTM 383.

Tabla 3-18: Cantidades de chatarra ingresada en la fundición mezcla 1.

Fuente	Peso (kg)	Porcentaje
Perfiles	8,5	30%
Cabezotes	12,5	45%
Pistones	7	25%
Total	28	100%

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Se utilizó un 45% en peso de cabezotes, debido a que estos serán la base de la fundición por la cantidad de elementos químicos que aportan, los perfiles en 30% por su aporte en aluminio además de que ayudaran a disminuir de forma considerable la producción de escoria, y un 25% en pistones para

agregar silicio a la fundición, debido a que el uso de perfiles aumentara el porcentaje de aluminio puro reduciendo el silicio.

Tabla 3-19: Cantidades de chatarra ingresada en la fundición mezcla 2

Fuente	Peso (kg)	Porcentaje
Perfiles	14	50%
Cabezotes	9,8	35%
Pistones	4,2	15%
Total	28	100%

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Se utilizó un 50% en peso de perfiles, debido a que estos nos pueden ayudar a tener una mezcla más limpia, además de aportar aluminio casi puro a la mezcla, los cabezotes en un 35% y los pistones en un 15% para mantener el equilibrio en silicio.

Tabla 3-20: Cantidades de chatarra ingresada en la fundición mezcla 3.

Fuente	Peso (kg)	Porcentaje
Perfiles	4,2	15%
Cabezotes	8,4	30%
Pistones	15,4	55%
Total	28	100%

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Se utilizó un 55% en pistones, debido a su porcentaje de silicio, esto permitirá obtener una aleación más resistente, un 30 % en cabezotes y un 15 % en perfiles para reducir la cantidad de escoria que producen los pistones.

Procedimiento

Primero se procedió a encender el horno y esperar a que este se caliente durante 6 minutos. Después de esto, se procedió a colocar los pistones en el crisol.



Ilustración 3-40: Ingreso de cabezotes al horno

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Después de 40 minutos, los pistones se plastificaron al completo, estando el horno a 690 °C. Siete minutos después los pistones empezaron a derretirse, formando la primera colada. Luego se procedió a colocar los cabezotes de motor directamente en el horno.



Ilustración 3-41: Ingreso de cabezote al horno.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

En 10 minutos el cabezo presento plastificado total, y en instantes este se comenzó a fundir. Se procedió con el calentamiento de los moldes a calor indirecto, para posteriormente ser moldeados en lingotes el resultado de la fundición.



Ilustración 3-42: Calentamiento de moldes.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Se procedió a colocar los perfiles directamente en la colada, 4 minutos después, estos se fundieron al completo.



Ilustración 3-43: Ingreso de perfiles al horno.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Posterior, se procedió con la colocación de los fundentes (Coveral y pastilla desgasificante). Todo esto se mezcló de manera uniforme en la colada.



Ilustración 3-44: Mezcla de fundentes en la colada.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Una vez realizado esto, se procedió a retirar la escoria presente en la colada. Con toda la escoria retirada de la colada, se procedió a moldear en lingotes la mezcla.



Ilustración 3-45: Lingotes de aluminio en molde.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Se procedió a enfriar uno de los moldes, directamente con agua durante 3 minutos. Una vez enfriado el molde, se procedió a sacar el lingote de aluminio.



Ilustración 3-46: Lingote de aluminio secundario.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Se obtuvo una muestra, en la cortadora de metal.



Ilustración 3-47: Corte de lingote en cortadora FAT.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.



Ilustración 3-48: Muestra de lingote.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Esta muestra fue ligada uniformemente con la maquinaria de la empresa.



Ilustración 3-49: Lijado de muestra

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Con la ayuda del torno se obtuvo una probeta de 2,5 mm de diámetro para el análisis espectrofotométrico.



Ilustración 3-50: Torneado de muestra

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados de la Fundición

Tabla 4-1: Resultados de la fundición general mezcla 1.

Fundición General	
Material	Peso (kg)
Perfiles	8,5
Cabezote	12,5
Pistones	7
Coveral	0,33
Pastilla desgasificante	2 unidades
Lingote #1	7,04
Lingote #2	7,317
Lingote #3	8,3
Fundición total	22,657
Escoria	5,343
Materia Prima total	28

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

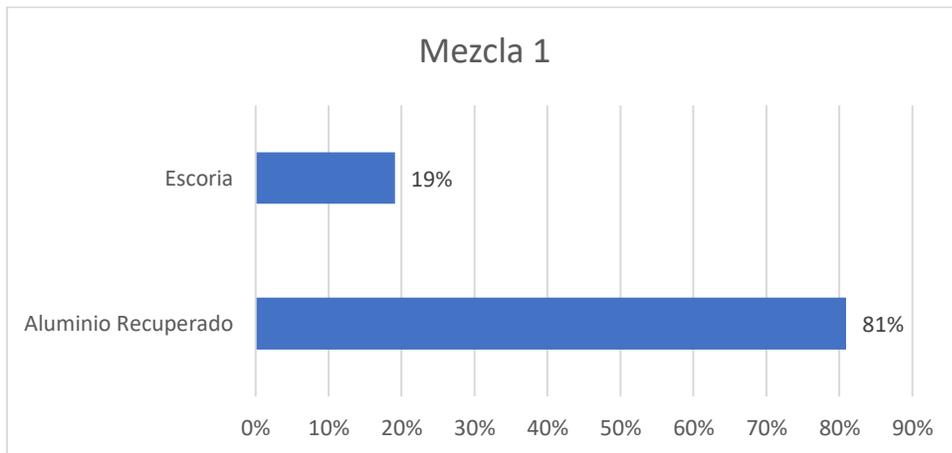


Ilustración 4-1: Resultados de la fundición mezcla 1.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Considerando el uso de chatarra y los contaminantes que tienen la misma, el resultado de la fundición general es óptima ya que se obtuvo por encima del 80% de aluminio secundario en lingotes.

Tabla 4-2: Resultados de la fundición general mezcla 2.

Fundición General	
Material	Peso (kg)
Perfiles	14
Cabezote	9,8
Pistones	4,2
Coveral	0,33
Pastilla desgasificante	2 unidades
Lingote #1	8,24
Lingote #2	8,68
Lingote #3	8,32
Fundición total	25,24
Escoria	2,76
Materia Prima total	28

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

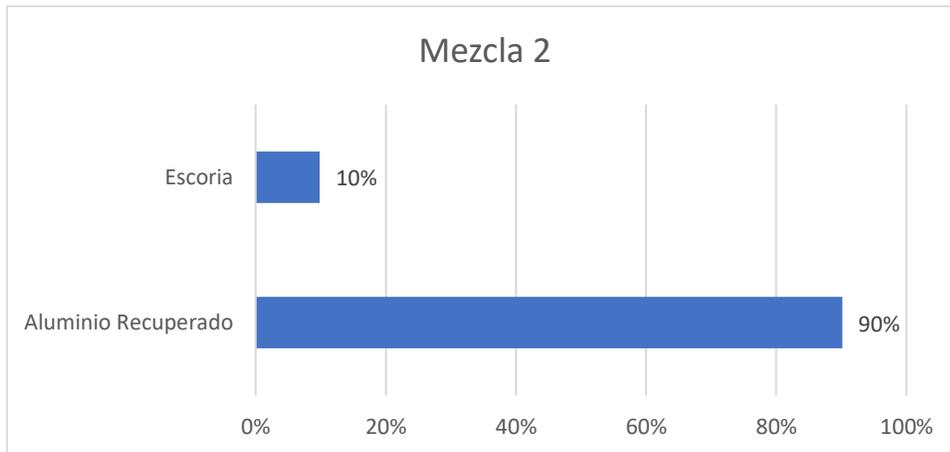


Ilustración 4-2: Resultados de la fundición mezcla 2.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Considerando el uso de chatarra y los contaminantes que tienen la misma, el resultado de la fundición general es óptima ya que se obtuvo el 90% de aluminio secundario en lingotes.

Tabla 4-3: Resultados de la fundición general mezcla 3

Fundición General	
Material	Peso (kg)
Perfiles	8,5
Cabezote	12,5
Pistones	7
Coveral	0,33
Pastilla desgasificante	2 unidades
Lingote #1	4,96
Lingote #2	5,98
Lingote #3	5,21
Fundición total	16,15
Escoria	11,85
Materia Prima total	28

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

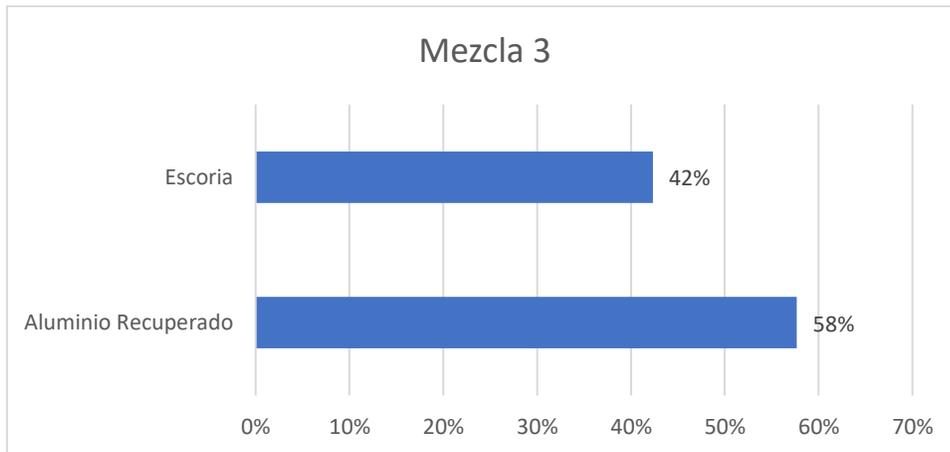


Ilustración 4-3: Resultados de la fundición mezcla 3.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

El recuperar el 58% del peso total fundido, indica que el uso de pistones como base de la fundición genero alta escoria, por lo que podría ser que dicha mezcla no sea buena a nivel general.

4.2. Pruebas Espectrofotométricas

Se analizó individualmente cada mezcla, esto con la toma de tres datos extraídos de cada lingote que se obtuvo durante la fundición. En las tablas 4-4 a la 4-6 se resume el porcentaje de los 4 elementos principales de cada aleación.

Tabla 4-4: Resultados de la espectrofotometría mezcla 3.

Elemento	1	2	3
Al	86,4	84,65	84,4
Si	10,9	10,42	10,6
Cu	2,15	1,98	2,6
Fe	1,35	1,41	1,2

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Tabla 4-5: Resultados de la espectrofotometría mezcla 3.

Elemento	1	2	3
Al	90,456	93,45	90,021
Si	5,504	6,004	5,325
Cu	0,984	1,004	0,895
Fe	0,804	0,984	0,956

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.)

Tabla 4-6: Resultados de la espectrofotometría mezcla 3.

Elemento	1	2	3
Al	75,06	76,45	74,345
Si	16,567	17,035	16,589
Cu	5,206	4,697	5,023
Fe	0,983	0,845	1,102

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

4.3. Diseño completamente aleatorizado

Se evaluó individualmente a tres elementos (silicio, cobre y hierro) por su implicación en los resultados de la aleación. Se dejó aparte al silicio, esto debido a que, según normativa, el porcentaje de silicio debe de generar un equilibrio, es decir, no existe un rango que debe de cumplir.

4.3.1. Análisis Silicio

Hipótesis Nula

$$H_0 = \mu_A = \mu_B = \mu_C$$

Los valores de silicio son estadísticamente igual entre las tres mezclas.

Hipótesis Alternativa

$$H_a = \mu_i \neq \mu_j$$

Al menos dos de las mezclas son diferentes en cuanto a sus medias de silicio.

Tabla 4-7: Evaluación de valores para el ANOVA.

Mezcla	Observaciones			Yi.	Yi. ²
	1	2	3		
A	10,9	10,42	10,6	31,92	1018,89
B	5,50	6,00	5,33	16,83	283,35
C	16,57	17,04	16,59	50,19	2519,14
				Σ 98,94	3821,37
				Σ^2 9789,92	

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Tabla 4-8: Cuadrados de los valores individuales.

Mezcla	Observaciones		
	1	2	3
A	118,81	108,58	112,36
B	30,29	36,05	28,36
C	274,47	290,19	275,19

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Tabla 4-9: Tabla ANOVA Silicio.

ANOVA

FV	SC	GL	CM	Fo	F α	CD
Porcentaje Silicio	186,0225749	2	93,01128744	1105,591059	5,14325285	MS
Error	0,504768667	6	0,084128111			
Total	186,5273436	8	23,31591794			
		Var. Muestral	23,31591794			

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

$$F_o > F_{\alpha}$$

Utilizando un nivel de confianza del 95%, el valor estadístico calculado Fo es mayor al valor estadístico de tablas F α , por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa. Por lo que al menos dos de las mezclas son diferentes en cuanto a silicio.

$$CV = \frac{\sqrt{CM_{ERROR}}}{\sum Y_i / N} * 100\%$$

$$CV = 3\%$$

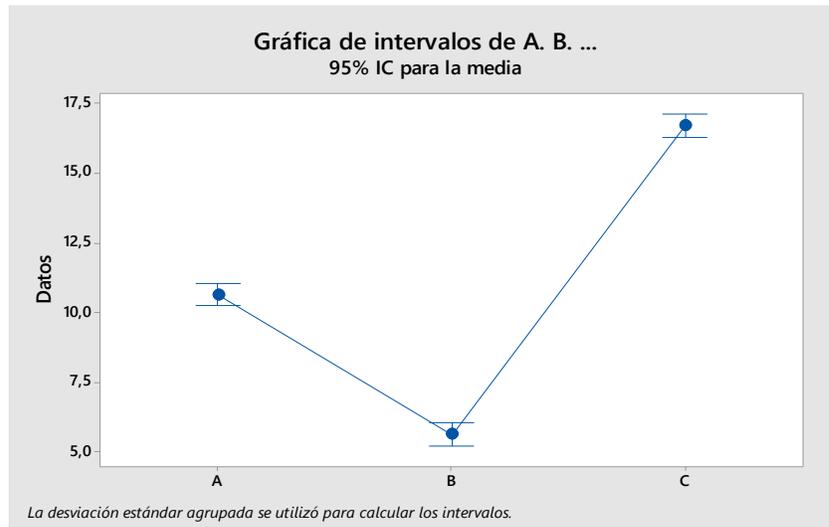


Ilustración 4-4: Gráfica intervalos silicio entre las mezclas.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

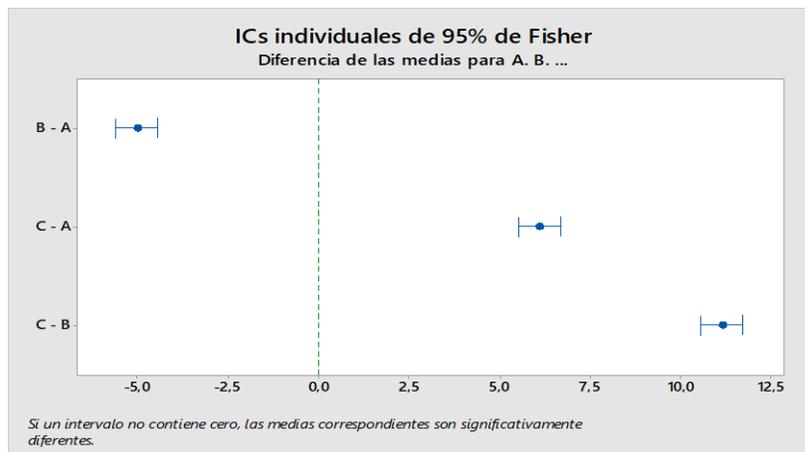


Ilustración 4-5: Gráfica de intervalos Fisher de silicio entre las mezclas.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Con un intervalo de confianza al 95%, ninguna de los intervalos cruza el cero, por lo que determinamos que existe diferencia entre todas las mezclas, al comparar el silicio.

4.3.2. Análisis Cobre

Hipótesis Nula

$$H_0 = \mu_A = \mu_B = \mu_C$$

Los valores de cobre son estadísticamente igual entre las tres mezclas.

Hipótesis Alternativa

$$H_a = \mu_i \neq \mu_j$$

Al menos dos de las mezclas son diferentes en cuanto a sus medias de cobre.

Tabla 4-10: Evaluación de valores para el ANOVA.

Mezcla	Observaciones			Yi.	Yi. ²
	1	2	3		
A	2,15	1,98	2,6	6,73	45,29
B	0,98	1,00	0,90	2,88	8,31
C	5,21	4,70	5,02	14,93	222,79
				Σ 24,54	276,39
				Σ^2 602,16	

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Tabla 4-11: Cuadrados de los valores individuales.

Mezcla	Observaciones		
	1	2	3
A	4,62	3,92	6,76
B	0,97	1,01	0,80
C	27,10	22,06	25,23

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Tabla 4-12: Tabla ANOVA Cobre.

ANOVA						
FV	SC	GL	CM	Fo	F α	CD
Porcentaje Cobre	25,22307489	2	12,61153744	219,3633017	5,14325285	MS
Error	0,344949333	6	0,057491556			
Total	25,56802422	8	3,196003028			
		Var. Muestral	3,196003028			

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

$$F_O > F_{\alpha}$$

Utilizando un nivel de confianza del 95%, el valor estadístico calculado F_o es mayor al valor estadístico de tablas F_{α} , por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa. Por lo que al menos dos de las mezclas son diferentes en cuanto a cobre.

$$CV = \frac{\sqrt{CM_{ERROR}}}{\sum Y_i / N} * 100\%$$

$$CV = 9\%$$

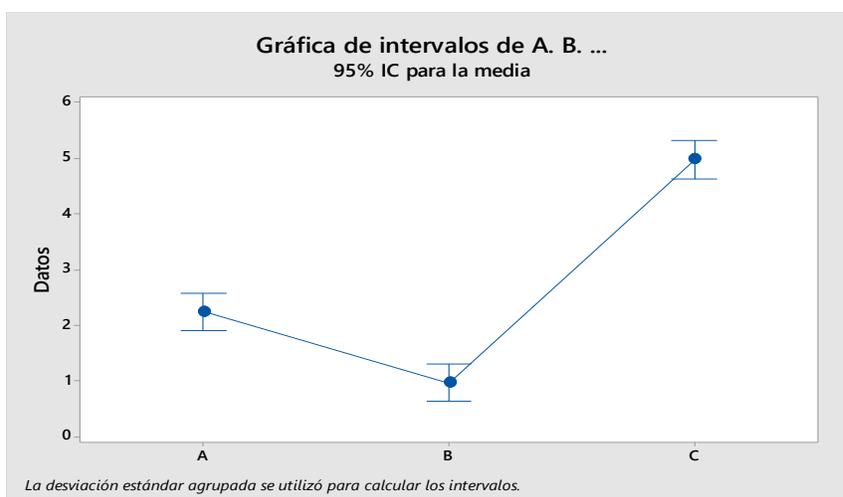


Ilustración 4-6: Gráfica intervalos cobre entre las mezclas.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

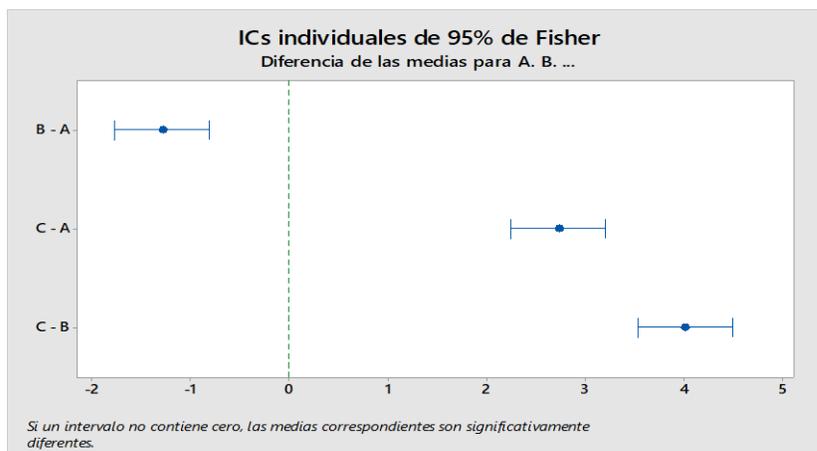


Ilustración 4-7: Gráfica de intervalos Fisher de cobre entre las mezclas.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Con un intervalo de confianza al 95%, ninguna de los intervalos cruza el cero, por lo que determinamos que existe diferencia entre todas las mezclas, al comparar el cobre.

4.3.3. Análisis Hierro

Hipótesis Nula

$$H_0 = \mu_A = \mu_B = \mu_C$$

Los valores de hierro son estadísticamente igual entre las tres mezclas.

Hipótesis Alternativa

$$H_a = \mu_i \neq \mu_j$$

Al menos dos de las mezclas son diferentes en cuanto a sus medias de hierro.

Tabla 4-13: Evaluación de valores para el ANOVA.

Mezcla	Observaciones			Yi.	Yi. ²
	1	2	3		
A	1,35	1,41	1,2	3,96	15,68
B	0,80	0,98	0,96	2,74	7,53
C	0,98	0,85	1,10	2,93	8,58
				Σ	9,63
				Σ^2	31,80
					92,81

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Tabla 4-14: Cuadrados de los valores individuales.

Mezcla	Observaciones		
	1	2	3
A	1,82	1,99	1,44
B	0,65	0,97	0,91
C	0,97	0,71	1,21

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Tabla 4-15: Tabla ANOVA Hierro.

ANOVA

FV	SC	GL	CM	Fo	F alpha	CD
Porcentaje Hierro	0,286016889	2	0,143008444	11,40307076	5,14325285	S
Error	0,075247333	6	0,012541222			
Total	0,361264222	8	0,045158028			
		Var. Muestral	0,045158028			

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

$$F_o > F_{\alpha}$$

Utilizando un nivel de confianza del 95%, el valor estadístico calculado F_o es mayor al valor estadístico de tablas F_{α} , por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa. Por lo que al menos dos de las mezclas son diferentes en cuanto a hierro.

$$CV = \frac{\sqrt{CM_{ERROR}}}{\sum Y_i / N} * 100\%$$

$$CV = 10\%$$

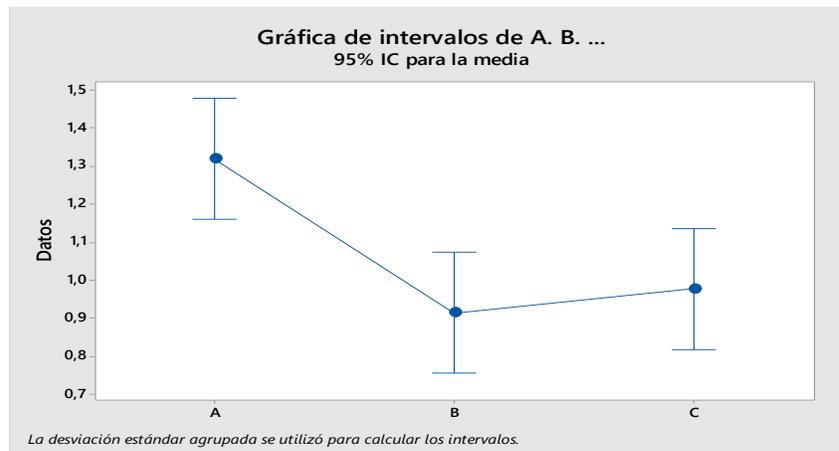


Ilustración 4-8: Gráfica intervalos hierro entre las mezclas.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

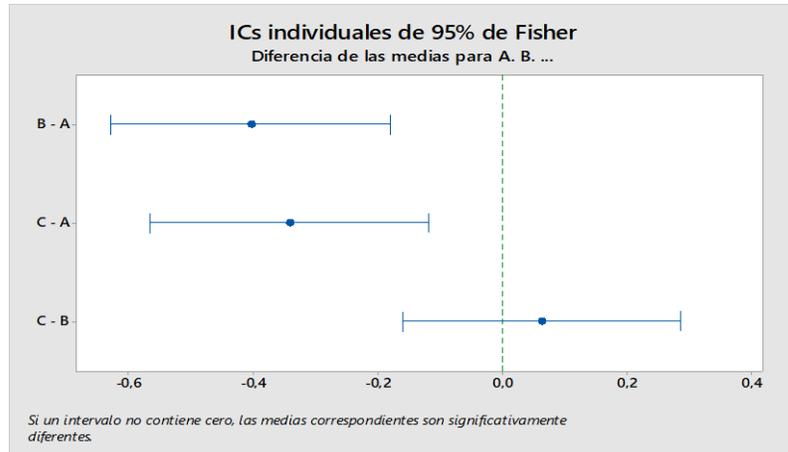


Ilustración 4-9: Gráfica de intervalos Fisher de hierro entre las mezclas.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Con un intervalo de confianza al 95%, el intervalo C-B cruza el cero, por lo que determinamos que no existe diferencia entre esas mezclas (Mezcla 2 y 3), al comparar el cobre. Esto implica que el hierro se encuentra en un rango similar en ambas mezclas, por lo que la comparación con las normativas será similar.

4.4. Comparación con la normativa

Una vez determinado estadísticamente la diferencia entre las tres mezclas, se procedió a realizar una comparativa de cada mezcla con las normas. Para esto se utilizó los límites de cada elemento, calculado a través del programa MINITAB (véase anexo 12 al 20).

4.4.1. Normativa Aleación A413

Tabla 4-16: Comparación normativa A413 con la mezcla 1.

Elemento	Porcentaje Mezcla 1 (%)	Rango Aleación A413	Normativa Aleación A413
Aluminio	85,15	Balance	Cumple
Silicio	10,04-11,24	11-13%	Cumple
Hierro	1,05-1,59	0,1-1%	No cumple
Cobre	1,45-3,04	0,1-1%	No cumple

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Tabla 4-17: Comparación normativa A413 con la mezcla 2.

Elemento	Porcentaje Mezcla 2 (%)	Rango Aleación A413	Normativa Aleación A413
Aluminio	91,31	Balance	Cumple
Silicio	4,74-6,49	11-13%	No cumple
Hierro	0,67-1,16	0,1-1%	Cumple
Cobre	0,82-1,11	0,1-1%	Cumple

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Tabla 4-18: Comparación normativa A413 con la mezcla 3.

Elemento	Porcentaje Mezcla 3 (%)	Rango Aleación A413	Normativa Aleación A413
Aluminio	75,29	Balance	Cumple
Silicio	16,57-17,04	11-13%	No cumple
Hierro	0,66-1,29	0,1-1%	Cumple
Cobre	4,33-5,62	0,1-1%	No cumple

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Ninguna de las mezclas ingresa dentro del rango de la normativa para la aleación A413.

4.4.2. Normativa Aleación A360

Tabla 4-19: Comparación normativa A360 con la mezcla 1.

Elemento	Porcentaje Mezcla 1 (%)	Rango Aleación A360	Normativa Aleación A360
Aluminio	85,15	Balance	Cumple
Silicio	10,04-11,24	9-10%	No cumple
Hierro	1,05-1,59	máx. 1,3%	Cumple
Cobre	1,45-3,04	máx. 0,6%	No cumple

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Tabla 4-20: Comparación normativa A360 con la mezcla 2.

Elemento	Porcentaje Mezcla 2 (%)	Rango Aleación A360	Normativa Aleación A360
Aluminio	91,31	Balance	Cumple
Silicio	4,74-6,49	9-10%	No cumple
Hierro	0,67-1,16	máx. 1,3%	Cumple
Cobre	0,82-1,11	máx. 0,6%	No cumple

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Tabla 4-21: Comparación normativa A360 con la mezcla 3.

Elemento	Porcentaje Mezcla 3 (%)	Rango Aleación A360	Normativa Aleación A360
Aluminio	75,29	Balance	Cumple
Silicio	16,57-17,04	9-10%	No cumple
Hierro	0,66-1,29	máx. 1,3%	Cumple
Cobre	4,33-5,62	máx. 0,6%	No cumple

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Ninguna de las tres mezclas ingresa dentro del rango para la normativa A360.

4.4.3. Normativa Aleación ASTM 383

Tabla 4-22: Comparación normativa ASTM 383 con la mezcla 1.

Elemento	Porcentaje Mezcla 1 (%)	Rango Aleación 383	Normativa Aleación 383
Aluminio	85,15	Balance	Cumple
Silicio	10,04-11,24	9,5-11,5%	Cumple
Hierro	1,05-1,59	máx. 1,6%	Cumple
Cobre	1,45-3,04	2-3%	Cumple

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Tabla 4-23: Comparación normativa ASTM 383 con la mezcla 2.

Elemento	Porcentaje Mezcla 2 (%)	Rango Aleación 383	Normativa Aleación 383
Aluminio	91,31	Balance	Cumple
Silicio	4,74-6,49	9,5-11,5%	No cumple
Hierro	0,67-1,16	máx. 1,6%	Cumple
Cobre	0,82-1,11	2-3%	No cumple

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Tabla 4-24: Comparación normativa ASTM 383 con la mezcla 3.

Elemento	Porcentaje Mezcla 3 (%)	Rango Aleación 383	Normativa Aleación 383
Aluminio	75,29	Balance	Cumple
Silicio	16,57-17,04	9,5-11,5%	No cumple
Hierro	0,66-1,29	máx. 1,6%	Cumple
Cobre	4,33-5,62	2-3%	No cumple

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

La mezcla 1, ingresa dentro del rango de la normativa para la aleación ASTM 380.

4.5. Pruebas de laboratorio

Una vez determinado la mezcla requerida que ingreso dentro de la normativa ASTM 383. Se procedió a analizar a profundidad dicha mezcla.

4.5.1. Análisis Metalográfico

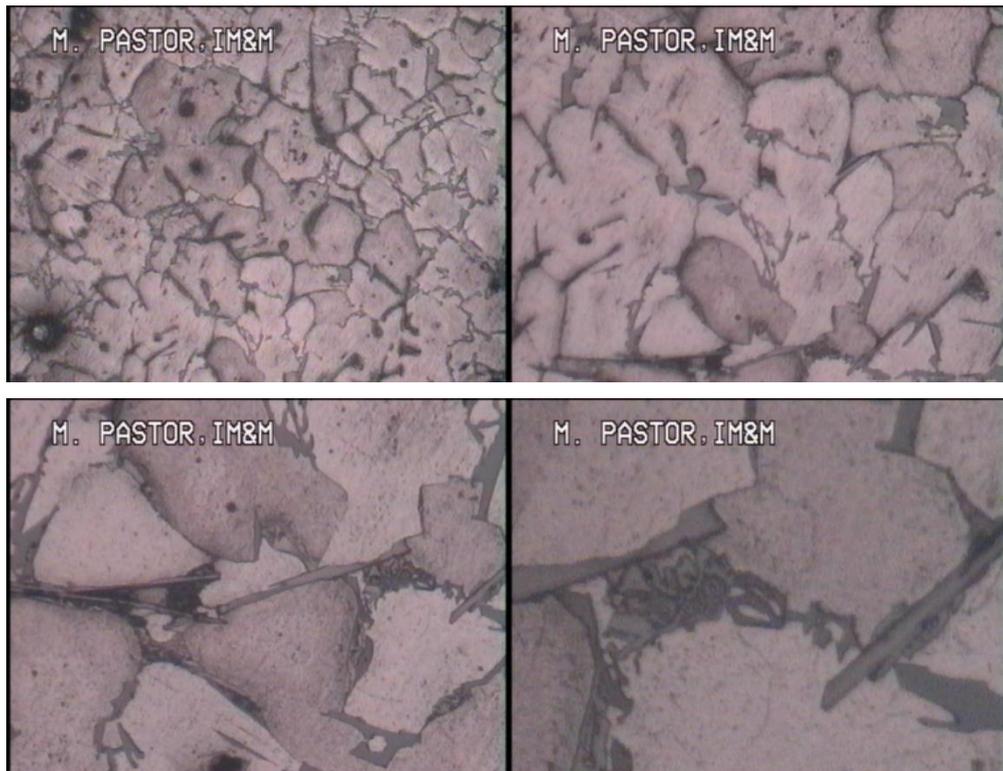


Ilustración 4-10: Gráficas probeta de la fundición general

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Se observa oxido de aluminio en ciertas partes de las imágenes, el tamaño de las matrices de aluminio es grande por lo que indica el porcentaje de aluminio, con detalles de silicio eutéctico entre los granos. Las partículas de “lodo” son pequeñas, esto se neutraliza por el porcentaje de cobre que se encuentra en la aleación. Por comparación metalográfica sabemos que se trata de una aleación de aluminio 383.

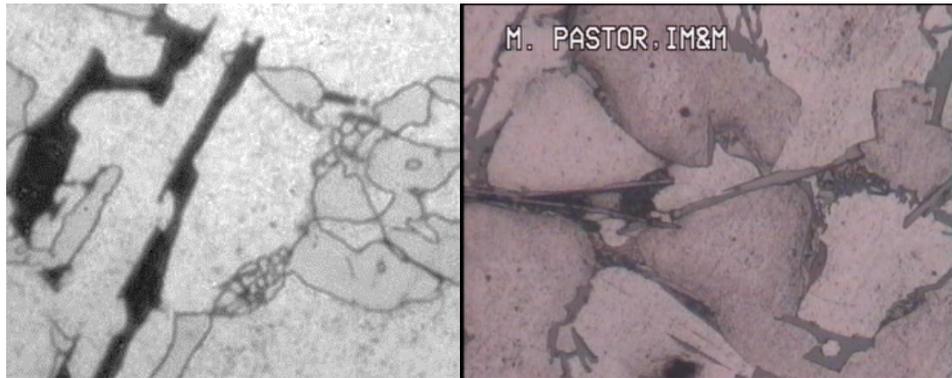


Ilustración 4-11: Comparación metalográfica de la fundición general

Fuente: (ASM,1992)

4.5.2. Pruebas de carbono

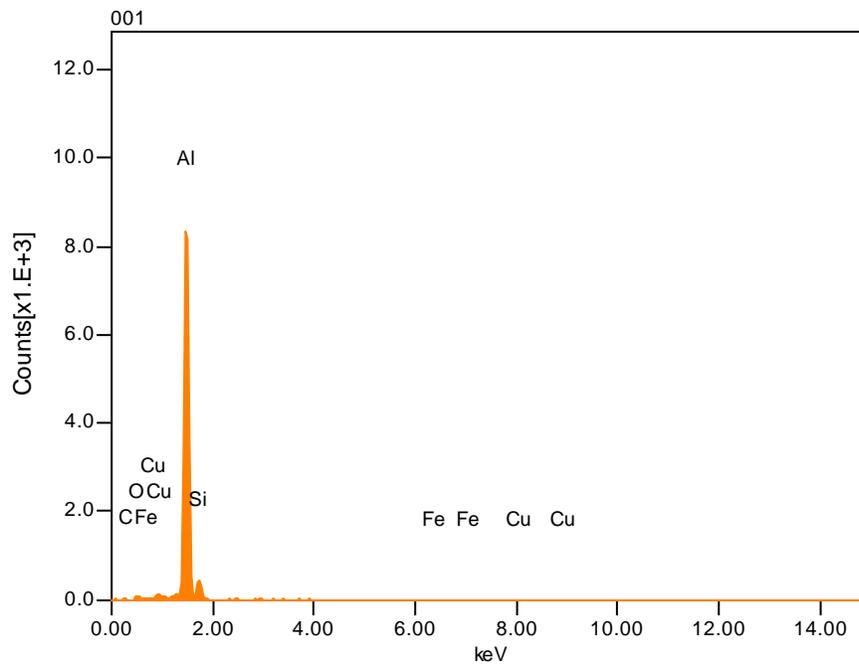


Ilustración 4-12: Elementos presentes en la muestra de aleación fundida.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Tabla 4-25: Porcentaje por elemento presente en la muestra.

Elemento	Porcentaje de masa	Porcentaje molecular
Carbono	1,04%	3,94%
Oxígeno	0,92%	2,01%
Aluminio	21,47%	78,48%
Silicio	4,56%	14,69%
Hierro	0,19%	0,27%
Cobre	0,46%	0,56%
Total	29%	100%

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

No se cuenta con una norma o un rango de tolerancia para el carbono dentro de una aleación de aluminio, pero mientras menor porcentaje de carbono exista en la mezcla, se reduce la contaminación. Al obtener un 1,04% de carbono y 0,92% de oxígeno en la fundición, se obtiene solo el 2% de contaminantes siendo un valor aceptable.

4.6. Aleaciones de la empresa

4.6.1. Aleación A413

La empresa utiliza lingotes de aleación de aluminio A413, esta proviene de aluminio primario, mismo que se funde con los demás elementos para obtener dicha aleación.

Bruker Analysis Report					
Sample:					
Analysis Time: 22.02.2024 08:37:05			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	13,77	1,023	0,421	0,215	0,066
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,017	0,025	0,206	0,024	0,055
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	0,005	0,010	<0,002	0,004	<0,005
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,003	0,001	<0,001	<0,006	0,017
	Al [%]				
∅	84,18				

Ilustración 4-13: Espectrofotometría a la aleación de la empresa.

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Se realizó una comparación con los límites de componentes en la aleación.

Tabla 4-26: Comparación de la normativa con el aluminio de la empresa.

Elemento	Porcentaje Aleación Empresa (%)	Rango Aleación A413	Normativa Aleación A413
Aluminio	84,18%	Balance	Cumple
Silicio	13,77%	11-13%	No cumple
Hierro	1,02%	0,1-1%	Cumple
Cobre	0,42%	0,1-1%	Cumple
Manganeso	0,22%	0,1-0,35%	Cumple
Magnesio	0,07%	resto 0,25%	Cumple
Cromo	0,02%	resto 0,25%	Cumple
Níquel	0,03%	máx. 0,5%	Cumple
Zinc	0,21%	máx. 0,5%	Cumple
Titanio	0,02%	resto 0,25%	Cumple
Resto	0,11%	máx. 0,15%	Cumple

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

La diferencia el porcentaje de silicio es menor al 1%, esto puede ser debido a una alteración en la fundición lo que aumentó el porcentaje de silicio en la aleación. De igual manera, el resto de los elementos se encuentran dentro de los parámetros.

4.6.2. Aleación 383

La aleación 383 es el aluminio que maneja la empresa en sus productos, estos han sido sometidos a diversas pruebas por lo que su uso esta normalizado.

Tabla 4-27: Espectrofotometría realizada aleación distribuida por la empresa

Elemento	Aleación 383	Rango Aleación 383	Normativa Aleación 383
Aluminio	84,20%	Balance	Cumple
Silicio	10,57%	9,5-11,5%	Cumple
Hierro	1,01%	máx. 1,6%	Cumple
Cobre	2,56%	2-3%	Cumple
Manganeso	0,44%	máx. 0,5%	Cumple
Magnesio	0,09%	máx. 0,1%	Cumple
Cromo	0,04%	resto 0,5%	Cumple
Níquel	0,21%	máx. 0,3%	Cumple
Zinc	0,99%	máx. 3%	Cumple
Resto	0,35%	resto 0,5%	Cumple

Fuente: (CEDAL, 2023)

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

El elemento que distribuye la empresa entra dentro del rango de la normativa de la aleación 383.

4.6.3. Aleación importada desde Chile

Esta aleación de aluminio se importa desde Chile, los lingotes son elaborados a partir de chatarra, por lo tanto, son una excelente fuente de comparación.

Tabla 4-28: Espectrofotometría realizada aleación importada desde Chile

Elemento	Porcentaje Aleación Chile (%)	Normativa Aleación A360	Normativa Aleación A360
Aluminio	88,00%	Balance	Cumple
Silicio	9,85%	9-10%	Cumple
Hierro	0,82%	máx. 1,3%	Cumple
Cobre	0,36%	máx. 0,6%	Cumple
Manganeso	0,27%	máx. 0,35%	Cumple
Magnesio	0,04%	0,4-0,6%	No cumple
Cromo	0,01%	resto 0,25%	Cumple
Níquel	0,20%	máx. 0,5%	Cumple
Zinc	0,50%	máx. 0,5%	Cumple
Resto	0,25%	resto 0,25%	Cumple

Fuente: (CEDAL, 2023)

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Esta aleación, ingresa dentro de la normativa ASTM 360, y es parecida a la aleación A413, con menor porcentaje de silicio. Lo que afecta en la resistencia mecánica del material.

4.7. Comparación con aleaciones de la empresa

Tabla 4-29: Comparación del aluminio A413 con el fundido.

Elemento	Porcentaje Aleación Empresa (%)	Porcentaje Aleación Fundida (%)	Diferencia
Aluminio	84,18%	85,12%	0,93%
Silicio	13,77%	10,64%	3,13%
Hierro	1,02%	1,32%	0,30%
Cobre	0,42%	2,25%	1,83%
Manganeso	0,22%	0,08%	0,13%
Magnesio	0,07%	0,28%	0,22%
Cromo	0,02%	0,04%	0,03%
Níquel	0,03%	0,23%	0,21%
Zinc	0,21%	0,11%	0,10%
Resto	0,10%	0,15%	0,04%

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Como se observa, existe una variación alta en los valores de cobre y silicio, ambos elementos afectan a la resistencia, por lo que la aleación obtenida por chatarra tendrá características de mayor resistencia mecánica y a la corrosión que la aleación A413.

Tabla 4-30: Comparación del aluminio 383 con el fundido.

Elemento	Porcentaje Aleación Fundida (%)	Aleación 383	Diferencia (%)
Aluminio	85,12%	84,20%	0,91%
Silicio	10,64%	10,57%	0,07%
Hierro	1,32%	1,01%	0,32%
Cobre	2,25%	2,56%	0,31%
Manganeso	0,08%	0,44%	0,35%
Magnesio	0,28%	0,09%	0,19%
Cromo	0,04%	0,04%	0,00%
Níquel	0,23%	0,21%	0,02%
Zinc	0,11%	0,99%	0,88%
Resto	0,15%	0,35%	0,21%

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

El porcentaje de diferencia de todos los elementos es menor al 1%, por lo que ambas están dentro de la misma normativa, la diferencia en el aluminio no es referente debido a que este genera el equilibrio dentro de la aleación.

Tabla 4-31: Comparación del aluminio importado desde Chile con el fundido.

Elemento	Porcentaje Aleación Chile (%)	Porcentaje Aleación Fundida (%)	Diferencia (%)
Aluminio	88,00%	85,12%	2,90%
Silicio	9,85%	10,64%	0,80%
Hierro	0,82%	1,32%	0,50%
Cobre	0,36%	2,25%	1,90%
Manganeso	0,27%	0,08%	0,20%
Magnesio	0,04%	0,28%	0,20%
Cromo	0,01%	0,04%	0,00%
Níquel	0,20%	0,23%	0,00%
Zinc	0,51%	0,11%	0,40%
Titanio	0,02%	0,04%	0,00%
Resto	0,47%	0,15%	0,33%

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Existe una variación de un 2% en cuestión a cobre, lo que altera la composición química de ambas, por lo que podrían no entrar dentro de la misma normativa.

Tabla 4-32: Comparación del aluminio fundido con aleaciones normadas

Elemento	Porcentaje Aleación Fundida (%)	Aleación A413	Aleación ASTM 383	Aleación A360
Aluminio	85,12%	Cumple	Cumple	Cumple
Silicio	10,64%	Cumple	Cumple	Cumple
Hierro	1,32%	Cumple	Cumple	Cumple
Cobre	2,25%	No cumple	Cumple	No cumple
Manganeso	0,08%	Cumple	Cumple	Cumple
Magnesio	0,28%	Cumple	Cumple	Cumple
Cromo	0,04%	Cumple	Cumple	Cumple
Níquel	0,23%	Cumple	Cumple	Cumple
Zinc	0,11%	Cumple	Cumple	Cumple
Titanio	0,04%	Cumple	Cumple	Cumple
Resto	0,15%	Cumple	Cumple	Cumple

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Debido al alto porcentaje de cobre, el aluminio fundido no cumple con la normativa de la aleación A413, pero esta fundición se encuentra dentro de los límites de la normativa de la aleación 383, por lo que concordaría con los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas.

4.8. Análisis de costos

Realizar esta investigación tuvo los siguientes costos:

Tabla 4-33: Costos de la investigación

Costos Directos			
Materia Prima	Cantidad	Costo	Total
Cabezotes (kg)	30,7	\$2,20	\$67,54
Pistones (kg)	26,6	\$2,00	\$53,20
Perfiles (kg)	26,7	\$1,80	\$48,06
Coveral (kg)	0,5	\$30,00	\$15,00
Pastillas desgasificantes	6	\$4,25	\$25,50
Mano de obra	1	\$460,00	\$460,00
Total, costos directos			\$669,30
Costos Indirectos			
Carburante (Gas)	1,5	\$1,60	\$2,40
Consumo eléctrico (KW/h)	150	\$0,08	\$12,00
Total, costos indirectos			\$14,40
TOTAL			\$683,70

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Estos costos involucran a las pruebas de fundición realizadas con cada tipo de chatarra.

Tabla 4-34: Costos de producción de aluminio secundario

Costos Directos			
Materia Prima	Cantidad	Costo	Total
Cabezotes (kg)	12,5	\$2,20	\$27,50
Pistones (kg)	7	\$2,00	\$14,00
Perfiles (kg)	8,5	\$1,80	\$15,30
Coveral(kg)	0,33	\$30,00	\$9,90
Pastillas desgasificantes	2	\$4,25	\$8,50
Mano de obra	1	\$230	\$230
Total, costos directos			\$305,20
Costos Indirectos			
Carburante (Gas)	0,5	\$1,60	\$0,80
Consumo eléctrico (KW/h)	75	\$0,08	\$6,00
Total, costos indirectos			\$6,80
TOTAL, COSTOS PRODUCCIÓN			\$312,00
Fundición Total (kg)		Costo	\$/kg
23		\$312,00	\$13,57

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Producir un kg de aluminio secundario 383, costara \$3,57.

Interpolando los datos para la producción de una tonelada de aluminio.

Tabla 4-35: Costos de producción por tonelada de aluminio secundario

Costos Directos			
Materia Prima	Cantidad	Costo	Total
Cabezotes (kg)	555,75	\$2,20	\$1.222,65
Pistones (kg)	308,75	\$2,00	\$617,50
Perfiles (kg)	370,5	\$1,80	\$666,90
Coveral(kg)	12,35	\$30,00	\$370,50
Pastillas desgasificantes	50	\$4,25	\$212,50
Mano de obra	4	460	\$1.840,00
Total, costos directos			\$4.930,05
Costos Indirectos			
Carburante (Gas)	22	\$1,60	\$35,20
Consumo eléctrico (kW/h)	3200	\$0,08	\$256,00
Total, costos indirectos			\$291,20
TOTAL, COSTOS PRODUCCIÓN			\$5.221,25
Fundición Total (kg)		Costo \$/Ton	
1000		\$5.221,25	

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

Tabla 4-36: Comparativa de precios, aluminio secundario vs aleación A413

Aluminio	Precio (\$/Ton)	Diferencia
Aluminio A413	\$7.500,00	44%
Aluminio 383	\$6.800,00	30%
Aluminio Chile	\$6.400,00	23%
Aluminio recuperado	\$5.221,25	0%

Realizado por: Jaramillo, Miguel. 2024.

El costo de producción de aluminio secundario es un 44% menor al coste de comprar aluminio A413.

Un 30% más barato del aluminio 383 y un 23% menor al aluminio secundario de Chile.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las ciudades de Riobamba y Ambato cuentan con diferentes fuentes para la obtención de chatarra de aluminio, siendo estas, las recicladoras; para la obtención de perfiles de aluminio; y los talleres automotrices; para la obtención de cabezotes y pistones. En cuestión de precios, Riobamba vende a un 18% menos, en comparación con Ambato, ahora es importante tomar en cuenta el transporte, debido a que la empresa ECUAMATRIZ CIA. Ltda, se encuentra ubicada en la ciudad de Ambato. Además, la empresa cuenta con la tecnología necesaria para la fundición de chatarra, ya que el horno de fundición de chatarra difiere a un horno de fundición normal. La empresa cuenta con los procesos estandarizados para la fundición, además del personal y EPPs requeridos.

Las pruebas de fundición se realizaron controlando la intervención de agentes externos, utilizando la misma cantidad de desgasificantes, el mismo peso ingresado, el tiempo durante la fundición.

Los cabezotes de motor son la fuente primaria para la recuperación de aluminio, esto debido al porcentaje de silicio y aluminio dentro de su composición. El uso de pistones dentro de la fundición se realiza por su alto porcentaje de silicio, pero estos presentan un alto porcentaje de contaminación (escoria), esto debido a que toda su vida útil se encuentra al contacto de aceites además de la formación de carbonilla (debido al impacto que realizan dentro del motor). Es por esto por lo que el uso de perfiles se vuelve esencial, no solo debido a su alto aporte en aluminio (alrededor del 98%), si no que permiten la limpieza de la fundición, esto en ayuda con los fundentes, permitieron obtener una aleación limpia, sin porosidades que indiquen contaminación y que cumplen con la normativa 383 para aleaciones de aluminio. Siendo la mezcla optima, un 30% de perfiles, 25% de pistones y un 45% en cabezotes.

La aleación obtenida en la fundición es una aleación ASTM 383, una aleación (Al12Si2Cu1,5Fe), debido a la composición química de la aleación, esta se vuelve fácil de procesar, aumenta su resistencia mecánica y permite una mejor conductibilidad. Además de presentar un 30% menor de costo que el aluminio comprado por la empresa.

5.2. Recomendaciones

Al tratarse de chatarra, especialmente cabezotes y pistones, es necesario limpiar adecuadamente la fundición, por lo que se recomendaría, usar el doble de la cantidad recomendada de pastillas desgasificante (una pastilla por 25 kg), esto debido a que la cantidad recomendada por el fabricante busca la eliminación de gases indeseados, y al tratarse de aceites con compuestos químicos derivados de petróleo, estos presentan una mayor contaminación.

Se podría reemplazar el uso de pistones, por el de silicio puro, esto para evitar la contaminación que estos generan dentro de la fundición, además de la reducción en la cantidad de cobre (principal fuente en la aleación obtenida), en busca de poder cumplir con la normativa A413.

La mayoría de las aleaciones normalizadas por la ASTM; con porcentaje de silicio superior al 8%; presentan una composición similar, variando solo en el porcentaje de tolerancia, el cual es mínimo (entre 0,1% y 3%) para ciertos componentes como el cobre, el magnesio, etc. Es posible obtener cualquiera de estas aleaciones, buscando el equilibrio estequiométrico, aumentando o reduciendo el porcentaje para cumplir con la norma y con las necesidades de cada aplicación.

GLOSARIO

Aleación: Una aleación es una mezcla homogénea de dos o más elementos, de los cuales al menos uno debe ser un metal.

Aluminio: El aluminio es un metal blanco-plateado, blando, maleable y de baja densidad, es el metal más abundante en la corteza terrestre.

Aluminio Secundario: Aluminio obtenido mediante un proceso de chatarrización.

Crisol: Es un recipiente refractario generalmente de porcelana que se utiliza para colocar en su interior compuestos químicos que se calientan a temperaturas muy altas.

Desgasificantes: Son compuestos que se utilizan para eliminar orificios producidos por gases, porosidad y óxidos metálicos, al tiempo que aportan el beneficio de una fluidez aumentada.

Escoria: En metalurgia, la escoria es el conjunto de compuestos que se retira durante los procesos de fundición ferrosos y no ferrosos, formando distintos tipos de escorias.

Espectrofotometría: Proceso que mide la cantidad de luz absorbida por una sustancia o elemento y determina su composición química.

Estequiometria: Es el cálculo de las relaciones cuantitativas entre los reactivos y productos en el transcurso de una reacción química.

Eutéctico: mezcla homogénea de sólidos íntimamente conectados, formando una combinación con propiedades especiales en relación con su punto de fusión.

Fundición: Es un proceso de fabricación de piezas que consiste en fundir un material e introducirlo en un molde, donde se solidifica.

Metalografía: Es la disciplina científica de observar y determinar la estructura química y atómica y la distribución espacial de los constituyentes, inclusiones o fases en aleaciones metálicas.

Lingote: Es un trozo o barra de metal en bruto, como hierro, plata, oro, platino o aluminio, con forma de paralelepípedo o pirámide truncada. Se fabrican con moldes específicos para facilitar su almacenamiento

Lodo: Es una mezcla de hierro magnesio generada por la alta concentración de silicio en una aleación.

Plastificación: Proceso en el cual, el material tiende a volverse débil y ligero, con características propias del plástico.

Porosidad: La porosidad es una medida de los espacios vacíos en un material, expresada como una fracción del volumen de huecos sobre el volumen total. Puede referirse a los poros en la estructura interna o en la superficie del material.

Probeta: Es una pieza de dimensiones normalizadas, constituida por un determinado material cuyas características se desean estudiar.

Reciclaje: Es un proceso cuyo objetivo es convertir residuos en nuevos productos o en materia prima para su posterior utilización.

BIBLIOGRAFÍA

1. **BAQUE, Sofía, CASAGUALPA, Anderson & GALLARDO Lorena.** “Mitigación al cambio climático y recicladores de base, caso de estudio: Huella de carbono del reciclaje de aluminio en Ecuador” [En línea], 2020 (Ecuador), pp. 11-13. [Consulta: 12 de noviembre de 2023] ISSN-e: 2602-8077. Disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/606/6062738009/html/>
2. **CNAC,** “Definición y propósito de la investigación Aplicada” [En línea], 2023, [Consulta: 06 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://bibliotecas.duoc.cl/investigacion-aplicada/definicion-proposito-investigacion-aplicada>
3. **COELLO SALCEDO, Boris Mauricio.** Procesos de chatarrización de materiales metálicos producto del mantenimiento automotriz en la ciudad de Cuenca [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador. 2015. pp. 42. [Consulta: 09 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5288/1/11668.pdf>
4. **ESPECTROMETRIA,** “Espectrometría”, pp. 1-2 [Consulta: 05 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/espectrometria-practico-20191.pdf>
5. **FASTER CAPITAL.** “Fórmula constante de equilibrio la base matemática del equilibrio” [blog], 07 de marzo de 2024. [Consulta: 08 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://fastercapital.com/es/contenido/Formula-constante-de-equilibrio--la-base-matematica-del-equilibrio.html>
6. **FERNÁNDEZ, R.** “Países líderes en la producción de aluminio a nivel mundial 2023” [En línea], 2024. Consulta: 02 de marzo de 2024.] Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/635357/paises-lideres-en-la-produccion-de-aluminio-a-nivel-mundial/>
7. **FREIRE BRAVO, Jhon Jesús.** Fabricación de un prototipo de cabezote de motor de dos tiempos mono cilíndrico 100 cc aplicando ingeniería inversa y el método CAD/CAM. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo [En línea], (Riobamba-Ecuador). 2021. Pp. 6-9. [Consulta: 08 de diciembre de 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15327>
8. **GARRETT, Caroline.** “Reciclaje del aluminio: ¿Cómo y por qué reciclarlo?” [blog], 14 de noviembre de 2022, [Consulta: 20 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://climate.selectra.com/es/reciclaje/aluminio>
9. **GASQUE, Laura.** “Educación Química”. 2018 [En línea], [Consulta: 12 de noviembre de 2023] Disponible en: <https://revistas.unam.mx/index.php/req/issue/view/5054>

10. **HERNÁNDEZ, Victor, et al.** “Consideraciones en el diseño de pistones para motores a cuatro tiempos”, *Ingenio y Conciencia* [En línea], 2015, pp. 11-13. [Consulta: 16 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/sahagun/article/view/1369>
11. **MORA REINOZO, Jessica Carmelina.** Recuperación de aluminio del subproducto escoria para optimizar el rendimiento del proceso, generado en la empresa CEDAL S.A. De la ciudad de Latacunga [En línea], (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Cotopaxi. (Latacunga-Ecuador). 2020. pp. 20. [Consulta: 05 de enero de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6730>
12. **MORDOR INTELLIGENCE RESEARCH & ADVISORY,** “*Tamaño del mercado del aluminio y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos*”, [blog]. 2023. [Consulta: 09 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/aluminum-market>
13. **QUIMBITA NARANJO, Rosa Guadalupe.** Estudio de factibilidad para la creación de una empresa industrial dedicada a la fabricación e instalación de aluminio y vidrio, ubicada en el Barrio Edén del Valle, del Distrito Metropolitano de Quito. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Administrativas. Carrera Gestión de Microempresas (Quito-Ecuador). 2016. pp. 15. [Consulta: 09 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/0a8488ac-2e9f-4346-9e0c-6adbf5926a77/content>
14. **RAMOS, Carlos.** “Alcances de una investigación”, *CienciAmérica*, [En línea], 2020, Vol. 9, pp. 3, [Consulta: 06 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7746475.pdf>
15. **RODRÍGUEZ, Héctor.** “*Propiedades del aluminio (Al)*” [blog], 15 de enero de 2024. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/propiedades-aluminio-al_18221
16. **STATISTA RESEARCH DEPARTMENT,** “*Producción de aluminio secundario en el mundo 2011-2020*”, [blog], 21 septiembre 2023. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/1140331/produccion-de-aluminio-secundario-a-nivel-mundial/>
17. **STEINERT Latinoamérica.** *Reciclaje de Aluminio* [blog]. [Citado el: 08 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://steinertglobal.com/es/reciclaje-de-metales/reciclaje-de-aluminio/>
18. **The Observatory of Economic Complexity.** “Aluminio crudo en Ecuador”. OEC.WORLD [En línea], 2023, Disponible en: <https://oec.world/es/profile/bilateral-product/raw-aluminium/reporter/ecu>

ANEXOS

ANEXO A: OFICIO PARA SOLICITAR LA FUNDICIÓN DENTRO DE LA EMPRESA.



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

Ambato 26 de diciembre de 2023

Ingeniero

Fernando Arias

GERENTE DE LA EMPRESA ECUAMATRIZ CIA LTDA.

Presente

De mi consideración

Yo Miguel Ángel Jaramillo Uvidia con CI. 0604547043, estudiante de noveno semestre, paralelo 2 de la Carrera de Ingeniería Industrial, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, me permito solicitar muy comedidamente, se me autorice la realización de pruebas de fundición dentro de la empresa para poder desarrollar la tesis denominada "ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO A PARTIR DE CHATARRA PARA LA EMPRESA ECUAMATRIZ CIA. LTDA.", dichas pruebas se realizarían bajo la supervisión en su empresa por parte del Ing. Julio A. Carrasco S. MgS.

Agradezco de antemano su atención

Atentamente



Miguel Ángel Jaramillo Uvidia
CI. 0604547943

ANEXO B: CHATARRA UTILIZADA EN LAS PRUEBAS DE FUNDICIÓN.



ANEXO C: REFUNDICIÓN DE PISTONES



ANEXO D: REFUNDICIÓN DE CABEZOTES



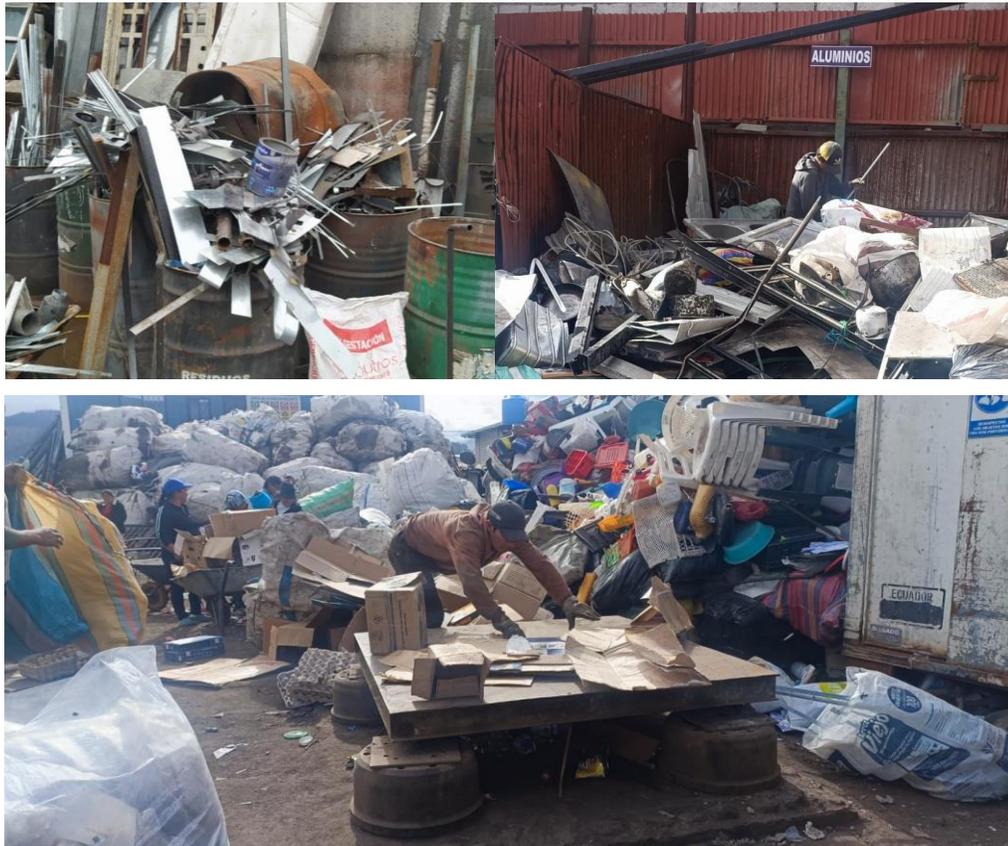
ANEXO E: PESAJE DE ESCORIA POR FUNDICIÓN



ANEXO F: PROCESO DE FUNDICIÓN



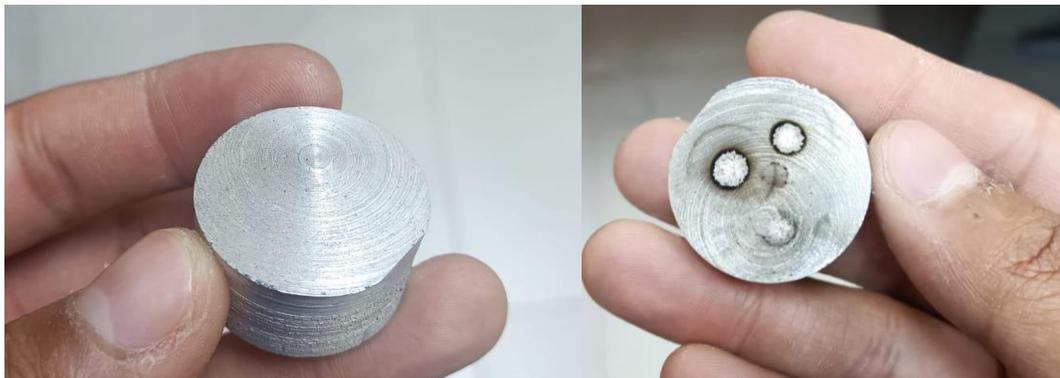
ANEXO G: LUGARES DE ALMACENAMIENTO DE CHATARRA.



ANEXO H: ESPECTROMETRÍA A PROBETAS DE CHATARRA



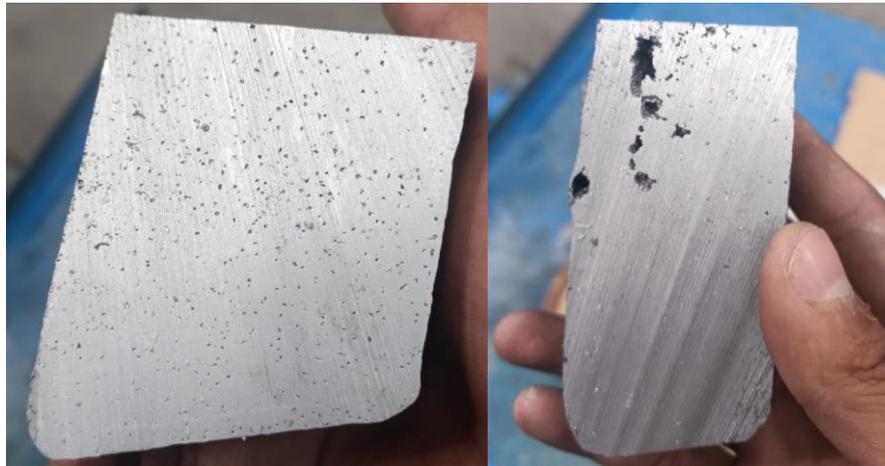
ANEXO I: PROBETA ANTES Y DESPUÉS DEL ANÁLISIS ESPECTROFOTOMÉTRICO.



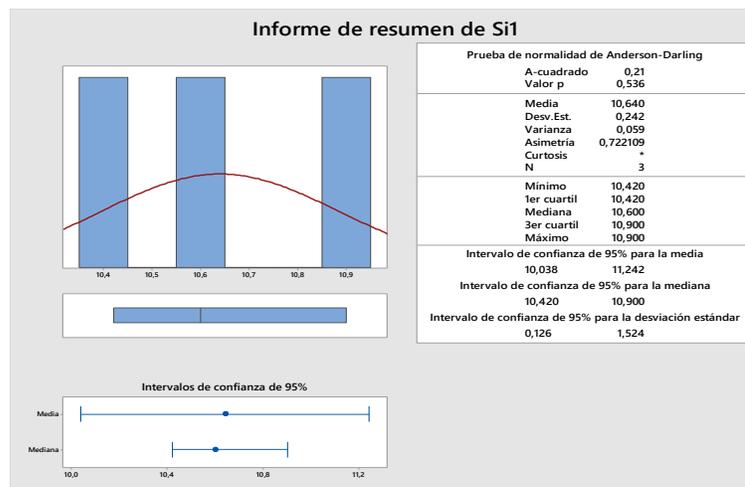
ANEXO J: LINGOTES PROVENIENTES DE LAS PRUEBAS DE FUNDICIÓN.



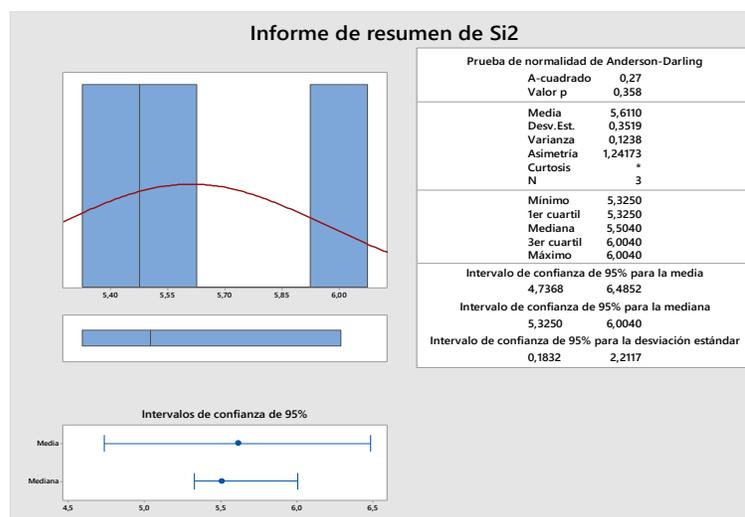
ANEXO K: POROSIDAD PRESENTE EN LINGOTES DE PISTONES Y CABEZOTES



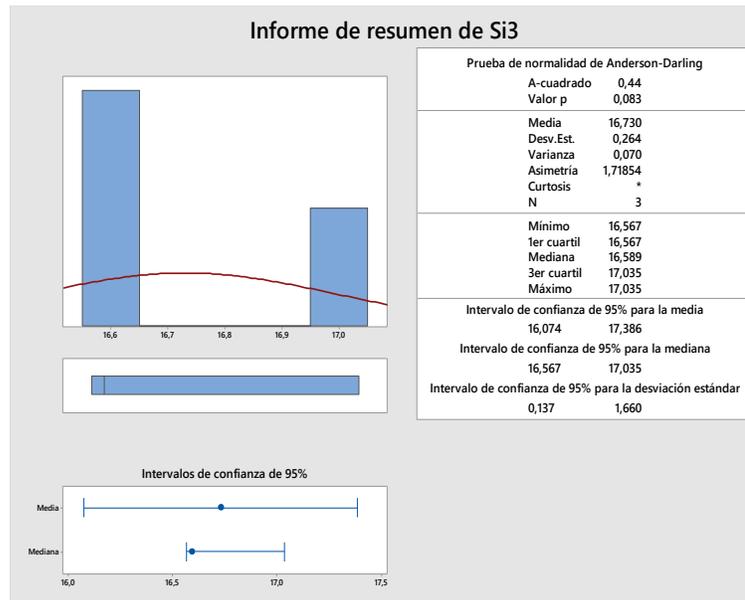
ANEXO L: ANÁLISIS GRÁFICO DATOS SILICIO MEZCLA 1.



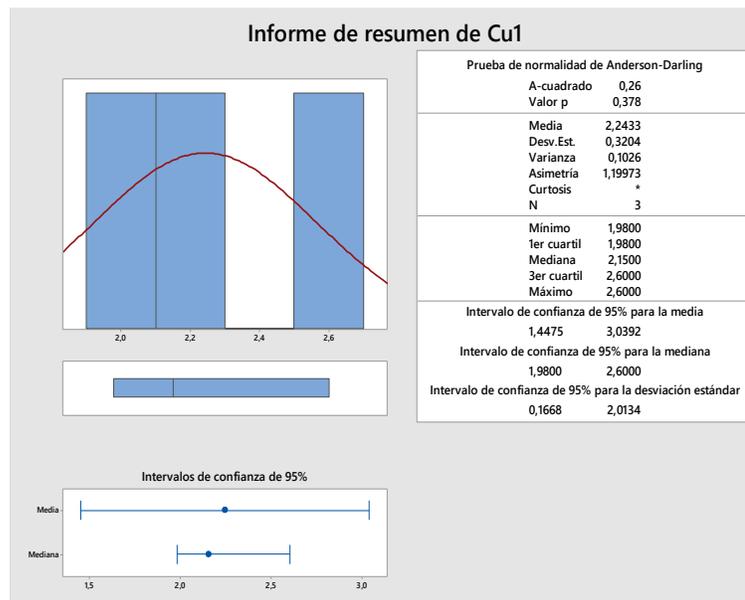
ANEXO M: ANÁLISIS GRÁFICO DATOS SILICIO MEZCLA 2.



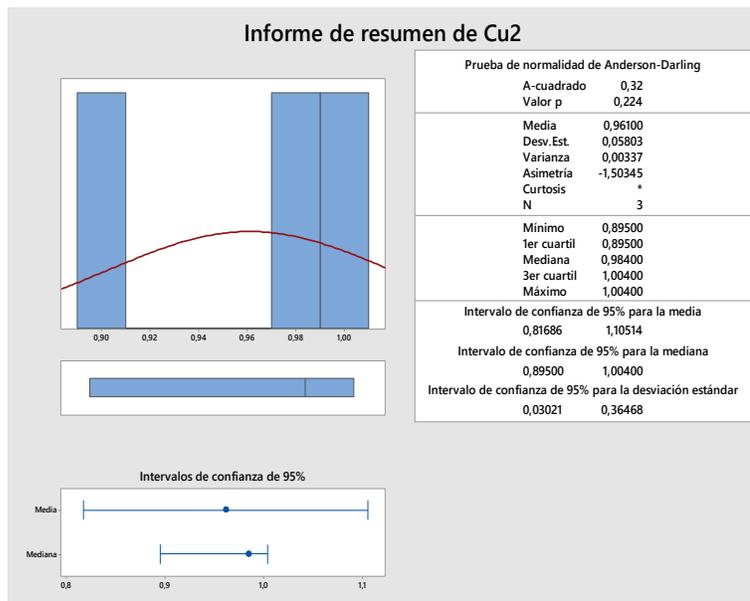
ANEXO N: ANÁLISIS GRÁFICO DATOS SILICIO MEZCLA 3.



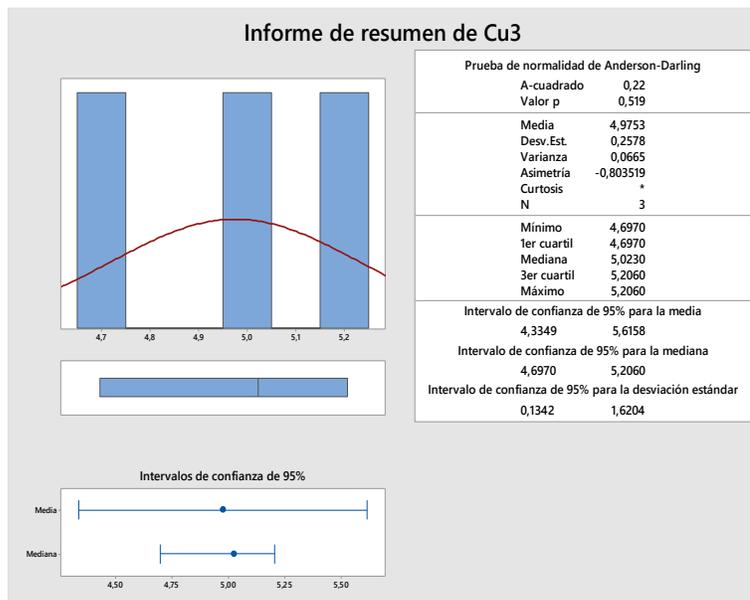
ANEXO O GRÁFICO DATOS COBRE MEZCLA 1.



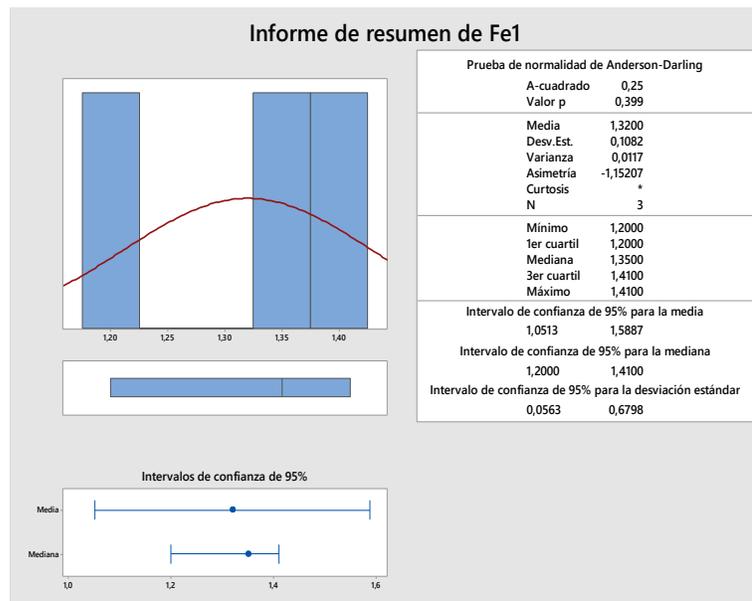
ANEXO P: ANÁLISIS GRÁFICO DATOS COBRE MEZCLA 2.



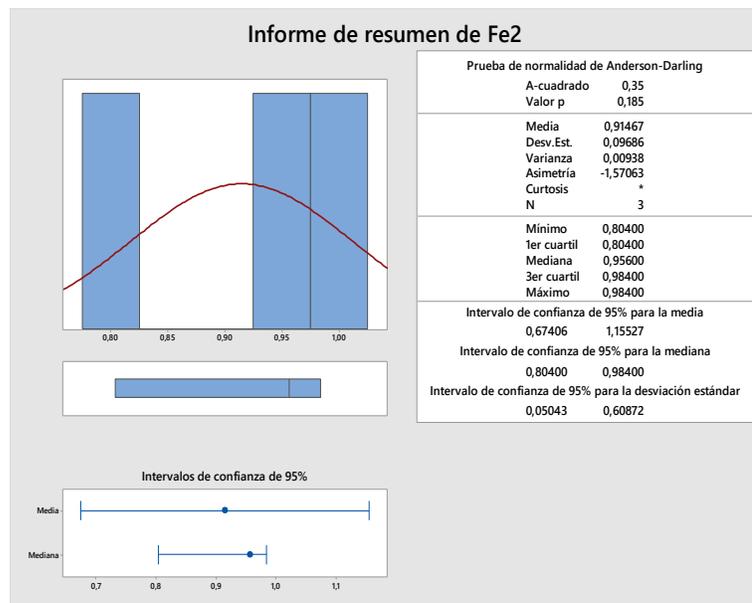
ANEXO Q: ANÁLISIS GRÁFICO DATOS COBRE MEZCLA 3.



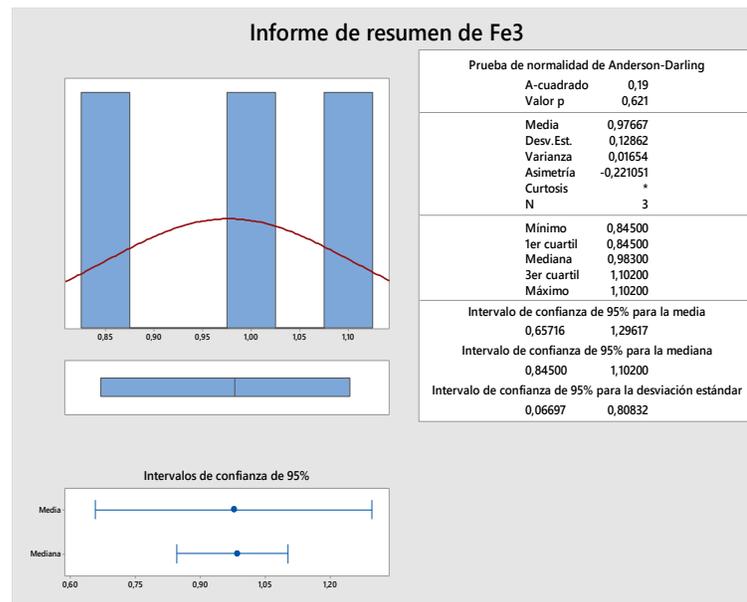
ANEXO R: ANÁLISIS GRÁFICO DATOS HIERRO MEZCLA 1.



ANEXO S: ANÁLISIS GRÁFICO DATOS HIERRO MEZCLA 2.



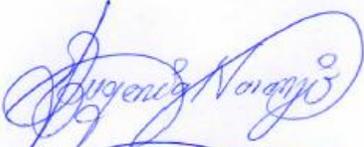
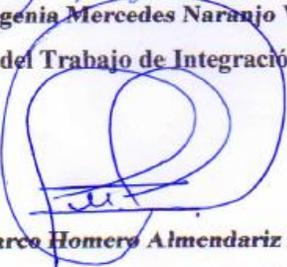
ANEXO T: ANÁLISIS GRÁFICO DATOS HIERRO MEZCLA 3.





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 16/07/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Miguel Ángel Jaramillo Uvidia
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Ingeniería Industrial
Título a optar: Ingeniero Industrial
 Eugenia Mercedes Naranjo Vargas Director del Trabajo de Integración Curricular  Marco Homero Almendariz Puente Asesor del Trabajo de Integración Curricular