



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“ESTUDIO DEL ENFRIAMIENTO DE BILLETS DE ALUMINIO DE ALEACIÓN 6063 EN
EL PROCESO DE HOMOGENIZADO Y SU INFLUENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD
EN EL ÁREA DE EXTRUSIÓN EN LA EMPRESA CEDAL S.A.”**

Autora:

VARGAS CABEZAS JACKELINE ESTEFANÍA

Tutor:

ING. MSC. NAVAS OLMEDO BLADIMIRO HERNÁN

Latacunga – Ecuador

2018



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Vargas Cabezas Jackeline Estefanía, declaro ser autora del presente proyecto de investigación: **“ESTUDIO DEL ENFRIAMIENTO DE BILLETS DE ALUMINIO DE ALEACIÓN 6063 EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO Y SU INFLUENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD EN EL ÁREA DE EXTRUSIÓN EN LA EMPRESA CEDAL S.A.”**, siendo el Ing. MSc. Bladimiro Hernán Navas Olmedo tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, julio 2018



Vargas Cabezas Jackeline Estefanía

C.I. 050280048-5



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Industrial

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“ESTUDIO DEL ENFRIAMIENTO DE BILLETS DE ALUMINIO DE ALEACIÓN 6063 EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO Y SU INFLUENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD EN EL ÁREA DE EXTRUSIÓN EN LA EMPRESA CEDAL S.A.”, de Vargas Cabezas Jackeline Estefanía, de la Carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Tesis que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, julio 2018

Ing. MSc. Bladimiro Hernán Navas Olmedo

C.I. 050069554-9



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Industrial

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, la postulante: **Vargas Cabezas Jackeline Estefanía**, con el título de proyecto de titulación: ESTUDIO DEL ENFRIAMIENTO DE BILLETS DE ALUMINIO DE ALEACIÓN 6063 EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO Y SU INFLUENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD EN EL ÁREA DE EXTRUSIÓN EN LA EMPRESA CEDAL S.A., han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, julio 2018

Para constancia firman:

LECTOR 1

Ing. Msc. Cristian Xavier Espín Beltrán
C.I. 0502269368

LECTOR 2

Ing. Mgs. Ángel Marcelo Tello Córdor
C.I. 0501518559

LECTOR 3

Phd. Ángel Medardo Ulloa Enríquez
C.I. 1000970325



ALUMINIO
GARANTIZADO

DEPARTAMENTO DE FUNDICIÓN
sfundicio@corpesa.com

CARTA AVAL

De mi consideración:

Yo, Bladimiro Hernán Navas Olmedo con número de cédula N° 050069554-9, Jefe del Departamento de Fundición de la **CORPORACIÓN ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A. CEDAL**. CERTIFICO: que la señorita Vargas Cabezas Jackeline Estefanía con número de cédula N° 050280048-5, realizó las actividades de investigación del proyecto denominado: “ESTUDIO DEL ENFRIAMIENTO DE BILLETS DE ALUMINIO DE ALEACIÓN 6063 EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO Y SU INFLUENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD EN EL ÁREA DE EXTRUSIÓN EN LA EMPRESA CEDAL S.A.”. El trabajo de investigación final fue entregado a mi persona.

Atentamente;

Ing. MSc. Bladimiro Hernán Navas Olmedo
JEFE DEL ÁREA DE FUNDICIÓN CEDAL S.A.
C.I. 050069554-9

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme los recursos necesarios para llegar aquí y sobre todo darme su bendición día a día.

A mi Madre por ser el apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida, guiándome por el camino del bien.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por brindarme los primeros y valiosos conocimientos que servirán para mi desarrollo profesional.

A la empresa CEDAL S.A. Latacunga, a cada uno de sus colaboradores por abrirme las puertas y con gran acogida brindarme su conocimiento sin interés, ni egoísmo alguno.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación con mucho cariño a Dios por darme la vida, a mi Familia por su cariño incondicional.

A mi Madre por ser mi gran ejemplo de superación, por siempre confiar en mí y levantarme cuando mis fuerzas han decaído.

A todos mis profesores quienes con sus valiosos conocimientos me formaron en esta constante lucha.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
CARTA AVAL.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xix
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	3
4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
4.1. Situación del problema	4
4.2. Planteamiento del problema.....	4
5. OBJETIVOS.....	4
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	6
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA.....	8
7.1. Productividad	8

7.2.	Calidad.....	9
7.3.	Aluminio.....	9
7.3.1.	Aleaciones del aluminio	10
7.3.2.	Serie 6xxx	11
7.3.3.	Influencia del magnesio en el aluminio.....	11
7.3.4.	Influencia del silicio en el aluminio	12
7.4.	Tratamientos térmicos de aleaciones de aluminio	12
7.4.1.	Proceso de homogenizado	13
7.4.2.	Diagrama de fases y microestructura.....	15
7.5.	Proceso de extrusión	17
7.6.	Metalografía.....	19
7.6.1.	Etapas para preparar un muestra metalográfica.....	19
8.	HIPÓTESIS	22
9.	METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL.	22
10.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA (ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS).....	24
10.1.	Estudiar la situación actual del enfriamiento de billets de aleación 6063 utilizado en el proceso de homogenizado.....	24
10.1.1.	Identificación del proceso de homogenizado.	24
10.1.2.	Diagrama del proceso actual de homogenizado	26
10.1.3.	Obtención de las temperaturas del ciclo de enfriamiento actual.	30
10.1.4.	Determinación de la caracterización (espectrometría, microestructura y tamaño de grano) de billets de aluminio 6063.	35

10.2.	Proporcionar varios métodos de enfriamiento en el proceso de homogenizado y verificación de tamaño de grano y microestructura.....	43
10.2.1.	Diseño de varios métodos de la etapa de enfriamiento del proceso de homogenizado.....	43
10.2.2.	Obtención de temperaturas de los nuevos ciclo de enfriamiento proporcionado al material.....	45
10.2.3.	Determinación de caracterizaciones y análisis de espectrometría del material estudiado.....	49
10.3.	Establecer cuál es el método adecuado en la etapa de enfriamiento en el proceso de homogenizado para la mejora de la productividad en el área de extrusión.....	58
10.3.1.	Comparación de microestructura obtenida del material en los distintos ciclos de enfriamiento aplicados.....	58
10.3.2.	Realización del seguimiento de los lotes estudiados en el área de extrusión e identificación de defectos en perfiles.	66
10.3.3.	Peticion de información de la productividad en el área de extrusión de la prensa uno.....	74
10.3.4.	Análisis y planteamiento del método adecuado para la etapa de enfriamiento en el proceso de homogenizado.....	75
11.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)	84
12.	PRESUPUESTOS PARA LA ELABORACIÓN.....	85
13.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	86
14.	BIBLIOGRAFÍA.....	88
15.	ANEXOS.....	90
	HOJA DE VIDA.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios del proyecto	3
Tabla 2. Actividades y sistema en relación a los objetivos planteados.	6
Tabla 3. Aleaciones de aluminio.	10
Tabla 4. Parámetros de aleación 6063.	11
Tabla 5. Metodología de la investigación.....	23
Tabla 6. Distribución de termopares de aire del horno de homogenizado.	27
Tabla 7. Tiempo total del proceso de homogenizado.	33
Tabla 8. Ciclo de calentamiento del proceso de homogenizado.....	33
Tabla 9. Ciclo de mantenimiento del proceso de homogenizado.	34
Tabla 10. Ciclo de enfriamiento del proceso actual de homogenizado.	35
Tabla 11. Análisis de espectrometría (proceso actual de homogenizado).....	38
Tabla 12. Resumen de temperaturas y tiempos de enfriamiento por aspersion de agua.	47
Tabla 13. Resumen de temperaturas y tiempos de enfriamiento al ambiente.	49
Tabla 14. Análisis de espectrometría método 1.....	50
Tabla 15. Análisis espectro métrico método 2.....	54
Tabla 16. Tiempos de enfriamiento del proceso de homogenizado.	59
Tabla 17. Microestructura de las probetas con distintos enfriamientos.....	62
Tabla 18. Tamaño de grano de probetas con distintos enfriamientos.....	64
Tabla 19. Seguimiento área de extrusión (Enfriamiento actual)	68
Tabla 20. Seguimiento área de extrusión (Enfriamiento por aspersion de agua)	69
Tabla 21. Seguimiento área de extrusión (Enfriamiento al ambiente)	70
Tabla 22. Información sobre el área de extrusión de los seguimientos realizados.....	74
Tabla 23. Datos de mejora de tiempo ciclo de enfriamiento planteado.....	76
Tabla 24. Recursos para la elaboración del proyecto.	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto del magnesio sobre la aleación.	12
Figura 2. Representación de tratamientos térmicos.	13
Figura 3. Solubilidad sólida de Mg ₂ Si en aluminio.	16
Figura 4. Microestructura de aleaciones de aluminio.	16
Figura 5. Esquema de la extrusión directa.	17
Figura 6. Baquelita utilizada para formar probetas.	20
Figura 7. Flujograma del proceso de homogenizado.	24
Figura 8. Horno de homogenizado (vista sur – norte).	25
Figura 9. Horno de homogenizado (vista norte – sur).	25
Figura 10. Coche uno de homogenizado cargado para el cumplimiento del proceso.	26
Figura 11. Diagrama del horno de homogenizado	27
Figura 12. Diagrama de paneles de ventiladores de ciclo de enfriamiento actual.	28
Figura 13. Diagrama de coche del proceso de homogenizado con billet estudiado.	29
Figura 14. Distancias en milímetros para ubicación de cable de termopar en el billet.	29
Figura 15. Numeración de perforaciones para ubicación de los cables de termopar tipo K. ...	29
Figura 16. Billet sacrificado para estudios.	30
Figura 17. Cables de termopar envueltos en lana de fibra de vidrio.	30
Figura 18. Conexión de cable de termopar a módulo RTD.	31
Figura 19. Carga de billets aleación 6063 en el horno de homogenizado con cables tipo K. .	31
Figura 20. Equipo que recepta temperaturas de masa del material.	32
Figura 21. Temperaturas de billets en el proceso de homogenizado.	32
Figura 22. Etapa de enfriamiento del proceso actual de homogenizado.	34
Figura 23. Lote sometido a la etapa de enfriamiento actual.	36

Figura 24. Lote de estudio en sierra para obtención de probeta.	36
Figura 25. Probeta de billet sometido al ciclo de enfriamiento actual de la empresa.	37
Figura 26. Espectrómetro del área de fundición.....	37
Figura 27. Estudio de espectrometría de probeta proceso actual de homogenizado	38
Figura 28. Muestra para análisis de tamaño de grano y microestructura.	38
Figura 29. Formación de probeta con baquelita para análisis metalográfico y	39
Figura 30. Probeta P1 lista para ataque químico.	39
Figura 31. Ataque químico a la probeta para revelado de grano.....	40
Figura 32. Microscopio para visualización de microestructura de P1.....	40
Figura 33. Probeta con enfriamiento actual a 50x.....	41
Figura 34. Probeta con enfriamiento actual a 100x.....	41
Figura 35. Reactivo Poulton.....	42
Figura 36. Tamaño de grano de probeta con enfriamiento actual.	42
Figura 37. Identificación de tamaño de grano probeta actual.	42
Figura 38. Diseño de tiempos de enfriamiento para la etapa de enfriamiento.	44
Figura 39. Método de enfriamiento aplicado a billets.....	46
Figura 40. Etapa de enfriamiento por aspersion de agua.....	46
Figura 41. Toma de billets para aplicación de método 2 de enfriamiento.	48
Figura 42. Etapa de enfriamiento al ambiente.....	48
Figura 43. Muestra P2 en baquelita.....	51
Figura 44. Muestra P2 sometida a ataque químico con Keller.....	51
Figura 45. Probeta con enfriamiento por aspersion de agua a 50x.....	52
Figura 46. Probeta con enfriamiento por aspersion de agua a 100x.....	52
Figura 47. Tamaño de grano (Aspersion de agua).	53
Figura 48. Tamaño de grano de probeta con enfriamiento por aspersion de agua.	54

Figura 49. Muestra P3 sometida a método 2 de enfriamiento.....	55
Figura 50. Probeta con enfriamiento al ambiente a 50x.....	56
Figura 51. Probeta con enfriamiento al ambiente a 100x.....	56
Figura 52. Tamaño de grano (Enfriamiento al ambiente).	57
Figura 53. Identificación de tamaño de grano de probeta con enfriamiento al ambiente.	58
Figura 54. Tamaño de grano y tiempo de enfriamiento.	66
Figura 55. Referencia o matriz 2893.	67
Figura 56. Relación de velocidad y presión en extrusión.....	71
Figura 57. Leve fisura (Enfriamiento actual CEDAL).....	72
Figura 58. Rasgado (Enfriamiento al ambiente).....	72
Figura 59. Rasgado (Enfriamiento al ambiente).....	72
Figura 60. Rasgado (Enfriamiento al ambiente).....	73
Figura 61. Defecto de burbuja.....	73
Figura 62. Golpes en perfiles.....	73
Figura 63. Relación de la productividad y calidad en extrusión.	74
Figura 64. Prototipo de un sistema de enfriamiento de billets por aspersión de agua.	82
Figura 65. Tiempo de enfriamiento (Homogenizado) y productividad (Extrusión)	83

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Productividad.....	8
Ecuación 2. Productividad.....	8
Ecuación 3. Caudal para enfriar carga de billets.	77
Ecuación 4. Diámetro de tubería de descarga.....	78
Ecuación 5. Diámetro de tubería de succión.	78
Ecuación 6. Altura de la bomba utilizada.....	78
Ecuación 7. Factor de fricción de pérdidas en la tubería.....	79
Ecuación 8. Pérdidas primarias en tuberías utilizadas.....	79
Ecuación 9. Pérdidas secundarias en tuberías utilizadas.	80
Ecuación 10. Pérdidas totales en tuberías utilizadas.	80
Ecuación 11. Altura para ubicación de la bomba.	80
Ecuación 12. Potencia de la bomba a utilizar.	81

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Panel de control de temperaturas de aire del proceso de homogenizado.	90
Anexo 2. Pirómetro para medición de temperaturas de enfriamiento.	90
Anexo 3. Perforación de billets para medición de temperatura.	90
Anexo 4. Análisis de espectrometría de billets con enfriamiento actual.....	91
Anexo 5. Esmeril para pulir probetas.	92
Anexo 6. Lijadora marca Buehler.	92
Anexo 7. Pulidora 1 para metalografía.....	92
Anexo 8. Etapa 1, probeta lijada para análisis metalográfico.	93
Anexo 9. Etapa 2, probeta con pulida gruesa para análisis metalográfico.	93
Anexo 10. Etapa 3, probeta con pulida fina con apariencia de un espejo.	93
Anexo 11. Probeta rayada.	94
Anexo 12. Probeta quemada con reactivo.	94
Anexo 13. Análisis de espectrometría de billets con enfriamiento por aspersion de agua.	95
Anexo 14. Análisis de espectrometría de billets con enfriamiento al ambiente.....	96

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TEMA: ESTUDIO DEL ENFRIAMIENTO DE BILLETS DE ALUMINIO DE ALEACIÓN 6063 EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO Y SU INFLUENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD EN EL ÁREA DE EXTRUSIÓN EN LA EMPRESA CEDAL S.A

Autor: Vargas Cabezas Jackeline Estefanía

RESUMEN

El presente proyecto se fundamenta en la evaluación del proceso de homogenizado en su tercera etapa que es el enfriamiento de billets de aluminio aleación 6063, estableciendo el método adecuado del ciclo para mejorar la productividad en el área de extrusión de la empresa CEDAL S.A. Latacunga. Se evaluó el proceso de homogenizado actual utilizado por la empresa, de billets de aluminio de aleación 6063 que tienen una longitud de 5,79 m y 0,18 m de diámetro, en especial la tercera etapa perteneciente al enfriamiento de billets ya que la empresa no presenta un sistema control que permita identificar el tiempo empleado. Se modificó la tercera etapa del proceso actual; mediante el uso de métodos de enfriamientos, por aspersión de agua y un enfriamiento al ambiente, las temperaturas obtenidas fueron registradas por medio de la utilización de siete cables de termopar tipo K distribuidas en toda la extensión del billet, de lo que se obtuvo caracterizaciones diferentes en el material, el cual se sometió a un análisis de laboratorio para conocer su tamaño de grano y microestructura, permitiéndose comparar la caracterización del material sometido a los distintos ciclos de enfriamiento, que se proporcionó al proceso. Además se realizó el seguimiento de los lotes de producción estudiados, en el área de extrusión, y se analizó el comportamiento del material de aleación 6063 en el área, registrando variables de velocidad de extrusión de perfiles de aluminio, la presión con la que trabaja la prensa, la identificación de defectos en perfiles, la productividad y calidad del material en el área, según los tipos de enfriamiento proporcionados a los billets en el proceso de homogenizado. El estudio permitió identificar el método adecuado para la etapa de enfriamiento en el proceso de homogenizado y para aumentar la productividad en el área de extrusión conservando la calidad en perfiles extruidos.

Palabras clave: Productividad, calidad, proceso de homogenizado, área de extrusión.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TOPIC: STUDY OF THE COOLING OF ALLEM ALUMINUM BILLETS 6063 IN THE HOMOGENIZED PROCESS AND ITS INFLUENCE ON PRODUCTIVITY IN THE AREA OF EXTRUSION IN THE CEDAL COMPANY S.A

Author: Vargas Cabezas Jackeline Estefanía

ABSTRACT

The present project is based on the evaluation of the homogenized process in its third stage, which is the cooling of 6063 alloy aluminum billets, establishing the appropriate method of the cycle to improve the productivity in the extrusion area of the CEDAL S.A company – Latacunga. The current homogenization process used was evaluated, of 6063 alloy aluminum billets that have a length of 5.79 m and 0.18 m in diameter, especially the third stage pertaining to the cooling of billets since the company does not present a control system that allows to identify the time spent. The third stage of the current process was modified; Through the use of cooling methods, by sprinkling water and cooling to the environment, the temperatures obtained were recorded through the use of seven K-type thermocouple cables distributed over the entire length of the billet, from which different characterizations were obtained in the material, which was subjected to a laboratory analysis to know its grain size and microstructure, allowing to compare the characterization of the material submitted to the different cooling cycles, which was provided to the process. In addition, the production batches studied were monitored, in the extrusion area, and the behavior of the 6063 alloy material in the area was analyzed, recording extrusion speed variables of aluminum profiles, the pressure with which the press, the identification of defects in profiles, the productivity and quality of the material in the area, according to the types of cooling provided to the billets in the homogenization process. The study allowed to identify the adequate method for the cooling stage in the homogenized process and to increase the productivity in the extrusion area while preserving the quality in extruded profiles.

Key words: Productivity, quality, homogenized process, extrusion area.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por la señorita **VARGAS CABEZAS JACKELINE ESTEFANIA** de la Carrera de Ingeniería en Industrial de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, cuyo título versa **“ESTUDIO DEL ENFRIAMIENTO DE BILLETS DE ALUMINIO DE ALEACIÓN 6063 EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO Y SU INFLUENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD EN EL ÁREA DE EXTRUSIÓN EN LA EMPRESA CEDAL S.A.”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, Julio de 2018

Atentamente,

Lic. M. Sc. Alison Paulina Mena Barthelotty
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0501801252



CENTRO
DE IDIOMAS

www.utc.edu.ec

Av. Simón Rodríguez s/n Barrio El Elido /San Felipe. Tel: (03) 2252346 - 2252307 - 2252205

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título:

Estudio del enfriamiento de billets de aluminio de aleación 6063 en el proceso de homogenizado y su influencia en la productividad en el área de extrusión en la empresa CEDAL S.A.

Fecha de inicio:

16 de Octubre de 2017

Fecha de finalización:

Agosto 2018

Lugar de ejecución:

Cotopaxi, Latacunga, Parroquia Ignacio Flores, Av. Unidad Nacional y Calle Manuelita Sáenz, Empresa CEDAL S.A., área de fundición.

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

Carrera que auspicia:

Ingeniería industrial.

Área de Conocimiento:

Relación del proyecto con los campos de las ciencias y las tecnologías de la **UNESCO:**

3300 CIENCIAS TECNOLÓGICAS.

3310 Tecnología Industrial.

331003 Procesos Industriales. (UNESCO, 2015)

Relación del tema con las líneas de investigación

Plan Nacional del Buen Vivir

El Plan Nacional del Buen Vivir, cuenta con 9 objetivos, cada uno de ellos con sus respectivas políticas, el presente proyecto se enlaza con el objetivo 5, específicamente con la política 5.1. Objetivo 5.- Impulsar la productividad y la competitividad para crecimiento económico sustentable de manera redistribuida y solidaria.

Política 5.1.- Generar trabajo y empleo dignos y de calidad, incentivado al sector productivo para que aproveche las infraestructuras construidas y capacidades instaladas que le permitan incrementar la productividad y agregación de valor, para satisfacer con calidad y de manera creciente la demanda interna y desarrollar la oferta exportadora de manera estratégica. (SENPLADES, 2017)

Líneas de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Este proyecto se enmarca dentro de la línea de investigación número cuatro.

- ✓ Procesos Industriales. (UTC, 2017)

Sub líneas de investigación de la Carrera de Ingeniería Industrial:

El presente proyecto se relaciona con la sub-línea número uno.

- ✓ Procesos Productivos. (UTC, 2017)

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A. CEDAL, ubicada con una de sus plantas en la ciudad de Latacunga, Provincia de Cotopaxi, es una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de extrusiones de aluminio, para lo que debe cumplir con varios procesos con el fin de llegar a un productor final de calidad.

Dentro de su cadena de producción se encuentra el proceso de homogenizado y enfriamiento de billets de aluminio, sin embargo no se cuenta con un estudio que avale que la etapa de enfriamiento que es aplicado actualmente sea el adecuado, tomando en cuenta que la homogenización del material y el tiempo de la etapa de enfriamiento son parte fundamental de los procesos realizados en la empresa CEDAL S.A., ya que con esto se garantiza la caracterización adecuada del material tanto en tamaño de grano como microestructura.

Por tal razón, se realizó el presente estudio que constituye un instrumento fundamental para la mejora del ciclo productivo de la empresa CEDAL S.A., ya que nos permite determinar cuál es el método de enfriamiento de billets más adecuado, reduciendo tiempos de producción y obteniendo productos de calidad.

Como materia prima para el estudio se utilizó billets de aluminio aleación 6063.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Al realizar este proyecto, se presentan los siguientes beneficiarios: directos e indirectos.

Tabla 1. Beneficiarios del proyecto

BENEFICIARIOS DEL PROYECTO		
Directos		Indirectos
Área de Fundición.	16	Corporación Ecuatoriana de Aluminio CEDAL S.A.
Área de Extrusión.	28	

Elaborado por: Autor.

4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Situación del problema

La rentabilidad de las empresas radica en la eficiencia del uso de sus recursos y el control de la calidad de sus procesos para la prestación de servicios o productos competitivos que a la vez cumplan con las metas y objetivos trazados por las organizaciones. En la empresa CEDAL el proceso de extrusión tiene como materia prima el producto final del área de fundición, por lo que dicha área debe garantizar la calidad de todos sus procesos (fundición de chatarra, formación de billets de aleación 6063 y proceso de homogenizado).

Los tratamientos térmicos evitan que el material de aleación de la serie 6xxx sufra agrietamiento bajo tensión. (Yamabe-Mitarai & Hebert, 2012, pág. 2), sin embargo al no contar con un control en la etapa de enfriamiento del proceso de homogenizado, impide que la productividad del área de extrusión aumente.

Por tal razón el proyecto se enfocó en el área de fundición, en el estudio de la etapa de enfriamiento de billets aleación 6063 del proceso de homogenizado, con el fin de conocer cuál es la influencia que esta etapa tiene sobre la productividad en el área de extrusión y por ende tener un mejor control del proceso de homogenizado para garantizar la calidad del producto.

4.2. Planteamiento del problema

No se conoce cuál es la influencia que la etapa de enfriamiento de billets de aleación 6063 del proceso de homogenizado tiene sobre la productividad en el área de extrusión.

5. OBJETIVOS

GENERAL

Realizar un estudio del ciclo de enfriamiento de billets de aluminio de aleación 6063 en el proceso de homogenizado en el área de fundición de la empresa CEDAL S.A., mediante el seguimiento de los procesos involucrados para la identificación de su influencia en la productividad en el área de extrusión.

ESPECÍFICOS

- ✓ Estudiar la situación actual del ciclo de enfriamiento de billets de aleación 6063 utilizado en el proceso de homogenizado.
- ✓ Proporcionar varios métodos de enfriamiento en el proceso de homogenizado y verificar las diferentes caracterizaciones de tamaño de grano y microestructura en los billets de aleación 6063 obtenidos.
- ✓ Establecer cuál es el método adecuado en la etapa de enfriamiento en el proceso de homogenizado para la mejora de la productividad en el área de extrusión.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en el proyecto, se presentan las actividades siguientes:

Tabla 2. Actividades y sistema en relación a los objetivos planteados.

ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS			
OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESUSTADOS ESPERADOS	MEDIOS DE VERIFICACIÓN
1. Estudiar la situación actual del ciclo de enfriamiento de billets de aleación 6063 utilizado en el proceso de homogenizado.	a) Identificación del proceso de homogenizado, en sus tres etapas (calentamiento, mantenimiento y enfriamiento)	Reconocer el proceso actual de homogenizado en sus diferentes etapas.	Inspección visual (Fotografías, reporte diario de fundición, flujograma)
	b) Diagrama del proceso actual de homogenizado.	Identificar lugares estratégicos para la ubicación de cable termopar tipo K en el billet.	Técnica de recolección de datos. (Software Inventor Professional 2013)
	c) Obtención de las temperaturas del ciclo de enfriamiento.	Conocer situación actual de temperaturas con respecto al tiempo en sus tres etapas.	Recolección de datos (Cable termopar tipo K, módulo RTD)
	d) Determinación de la caracterización de billets de aluminio 6063.	Identificar el análisis de espectrometría, microestructura y tamaño de grano.	Pruebas de laboratorio (Registro de control de producción del área de fundición, Espectrómetro OXFORD, equipo metalográfico y software para visualizar la caracterización)

2. Proporcionar varios métodos de enfriamiento en el proceso de homogenizado y verificar las diferentes caracterizaciones de tamaño de grano y microestructura de aleación 6063 obtenidos.	a) Diseño de varios métodos para la etapa de enfriamiento del proceso de homogenizado.	Modificar la microestructura en la materia, según el tiempo de la etapa de enfriamiento.	Uso de distintos métodos de enfriamiento.
	b) Obtención de las temperaturas de los nuevos ciclos de enfriamiento proporcionado al material.	Conocer el comportamiento de temperaturas de enfriamiento del ciclo con los distintos tiempos.	Recolección de datos (Cable termopar tipo K, módulo RTD y registro de control de tiempo y temperatura)
	c) Determinación de la caracterización de billets de aluminio 6063.	Identificar espectrometría, microestructura y tamaño de grano que se fijó en los distintos ciclos de homogenizado.	Pruebas de laboratorio (Registro de control de producción, equipo metalográfico)
3. Establecer cuál es el método adecuado en la etapa de enfriamiento en el proceso de homogenizado para la mejora de la productividad en el área de extrusión.	a) Comparación de microestructura obtenida del material en los distintos ciclos de enfriamiento.	Identificar la mejor caracterización del material de aleación 6063.	Método comparativo. (Tablas de comparación)
	b) Realización del seguimiento de los lotes estudiados, en el área de extrusión.	Identificar cual es el comportamiento del material en la prensa del área de extrusión.	Investigación de campo (Recolección de datos de velocidades de corrida del material, reporte de producción del área de extrusión)
	c) Petición de información acerca de la productividad del área de extrusión.	Conocer cuál es la productividad que se tiene en la corrida de tochos estudiados.	(Reporte detallado de producción del área de extrusión)
	d) Identificación de defectos en perfiles extruidos, de los lotes con su distinta etapa de enfriamiento en el proceso de homogenizado.	Determinar cuáles son los efectos que causan cada uno de los ciclos de enfriamiento del proceso de homogenizado en la calidad de los perfiles extruidos.	Método de observación directa. (Fotos y reporte de producción del área de extrusión)
	d) Análisis y planteamiento del método adecuado para la etapa de enfriamiento en el proceso de homogenizado	Contribuir al mejoramiento de la productividad en el área de extrusión.	Toma de decisión (Tablas comparativas)

Elaborado por: Autor

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

7.1. Productividad

La productividad es directamente proporcional a los resultados que se adquieren en un proceso o un sistema, por lo que al incrementar la productividad se consigue tener los mejores resultados, teniendo en cuenta los recursos que se utilizaron. Los resultados se puede medir en las unidades producidas, en productos vendidos o en la utilidad, y los recursos utilizados se los puede medir por número de trabajadores, horas empleadas en el proceso, horas de utilización de la maquinaria. Por lo que la medición de la productividad se da de la valoración adecuada de los recursos empleados para producir determinados resultados. (Gutiérrez Pulido , 2014, pág. 20)

La eficiencia y eficacia son fundamentales al momento de hablar de productividad, ya que la primera mencionada se refiere a cumplir con todas las metas establecidas en un proceso o empresa, mientras que la eficacia hace referencia a cumplir las metas u objetivos disminuyendo los recursos. Así se puede decir que la productividad no es producir rápido si no es producir mejor, por ende la productividad es el mejoramiento continuo de la organización.

Medición de la productividad

Ecuación 1. Productividad

$$Productividad = \frac{Unidades\ producidas}{Insumo\ empleado} = \frac{Unidades\ producidas}{Horas - hombre\ empleadas}$$

Ecuación 2. Productividad

$$Productividad = \frac{Salida}{Mano\ de\ obra + material + energia + capital + otros.}$$

(Heizer & Render, 2009, pág. 15).

7.2. Calidad

La calidad hace referencia al cumplimiento de características establecidas de un producto o un servicio que ofrece una organización, con el fin de satisfacer las necesidades que tiene el cliente.

La calidad dentro de una organización es importante debido a que si se ofrece un buen producto al consumidor, el prestigio de la empresa aumenta llamando la atención de nuevos clientes y conservando los clientes actuales, así aumentando las entradas para la empresa estabilizando o conservando la estabilidad económica de la organización.

7.3. Aluminio.

El aluminio es un metal no ferroso su símbolo es Al, el punto de fusión del aluminio es de 660°C, es un metal ligero y puede adquirir una alta dureza a ser aleada con otros elementos.

El aluminio es uno de los elementos más abundantes en la composición de la corteza terrestre y también existe en la luna, sólo el silicio lo supera. El material más significativo que contiene aluminio es la bauxita con un contenido entre el 55 y 65 % de alúmina (óxido de aluminio Al_2O_3), y otra etapa consiste en un baño de criolita fundida, con el objetivo de eliminar impurezas de las materias primas, (Alu-Stock, 2012, pág. 308). Del total de la alúmina extraída se obtiene el 50% de aluminio puro o conocido también como aluminio primario.

El aluminio posee características muy particulares que lo hacen uno de los metales más utilizados actualmente en procesos industriales, entre las principales tenemos:

- ✓ Peso ligero
- ✓ Es maleable
- ✓ Posee alta resistencia a la corrosión.
- ✓ Posee buena conductividad térmica y eléctrica.

El aluminio también se caracteriza porque tiene una alta resistencia a la tensión lo que indica que el material puede estirarse o alargarse sin que este se rompa. Además las propiedades mecánicas del aluminio pueden mejorar considerablemente cuando se forman aleaciones con pequeñas cantidades de otros metales como cobre, magnesio, magnesio – silicio, hierro y zinc. (Chang & College, 2002, pág. 839)

7.3.1. Aleaciones del aluminio

Una aleación de aluminio se forma cuando existe la presencia de varios elementos en una colada formando una nueva composición química, los elementos que se pueden aliar con el aluminio son el cobre, zinc, manganeso y magnesio – silicio, con el fin de mejorar las propiedades del aluminio dándole más funcionalidades al metal. Los otros elementos de la aleación pueden formar parte hasta en un 15% del peso.

Las aleaciones de aluminio tienen cuatro dígitos que las representan, de los cuales el primer dígito indica a que familia de aleación pertenece. Y los demás números tienen su significado dependiendo de la serie a la que corresponde.

La serie 1xxx las dos últimas cifras indican el porcentaje mínimo de aleación, y en la series 2xxx hasta la 8xxx, el segundo dígito indica la modificación de la aleación, si este es cero indica que no se tiene modificación, y las dos cifras últimas representan las distintas aleaciones dentro de la serie. (Handbook Committee, ASM Handbook, Vol. 9: Metallography and Microstructures, 2007, págs. 39, 40)

Tabla 3. Aleaciones de aluminio.

ALEACIONES DEL ALUMINIO		
Descripción	Serie	Acepta tratamientos térmicos
Aluminio más de 99%	1xxx	-
Principal elemento aleante es el cobre	2xxx	Si.
Manganeso + Aluminio	3xxx	No.
Silicio + Aluminio	4xxx	No.
Magnesio + Aluminio	5xxx	No.
Silicio y magnesio	6xxx	Si.
Principal aleante Zinc pero puede añadirse cobre y cromo.	7xxx	Si.

Fuente: (The Aluminium Association, 2018)

7.3.2. Serie 6xxx

Es un tipo de aleación que es muy versátil, pueden ser estos sometidos a tratamientos térmicos, son soldables y presentan una resistencia alta junto a la excelente resistencia a la corrosión. Las aleaciones de esta serie como principal aleante tienen silicio y magnesio para formar el Siliciuro de Magnesio (Mg_2Si) que es una base para el endurecimiento por envejecimiento, siendo esta serie la más utilizada para aplicaciones como arquitectónicas y estructurales. (The Aluminium Association, 2018), (Totten & MacKenzie, 2003, pág. 886)

Dentro de la serie 6xxx se encuentra la aleación 6063 que es la utilizada por la empresa CEDAL S.A. para lo que se utilizan los parámetros de control de producción mostrados en la tabla 4, donde se puede observar que los elementos más controlados son el silicio y el magnesio, ya que indica los límites superior e inferior de control.

Los límites de la aleación 6063 se muestran en la tabla.

Tabla 4. Parámetros de aleación 6063.

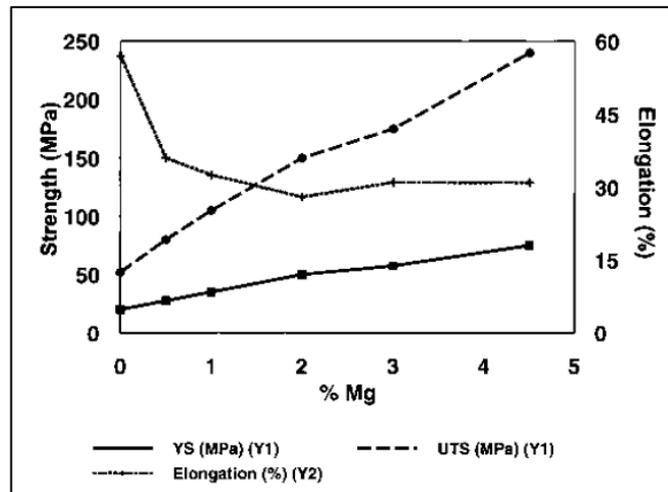
Designación		Aleantes							
Asociación del aluminio		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
6063	Mínimo	0,2	-	-	-	0,45	-	-	-
	Máximo	0,6	0,35	0,1	0,1	0,9	0,1	0,1	0,1

Fuente. ASM Handbook (2007) Vol. 2 pág. 63.

7.3.3. Influencia del magnesio en el aluminio

Si una aleación de aluminio tiene la presencia de magnesio, el alargamiento del material disminuye, así se tenga pocas cantidades de magnesio, por otro lado la elasticidad y la resistencia a la tracción aumenta de acuerdo a la cantidad de magnesio que exista en el material, como indica la figura 1.

Figura 1. Efecto del magnesio sobre la aleación.



Fuente: (Totten & MacKenzie , 2003, pág. 262)

7.3.4. Influencia del silicio en el aluminio

El silicio reduce el punto de fusión y aumenta la fluidez del aluminio. La cantidad de silicio en el aluminio también aumenta de forma moderada la fuerza en el material. (Totten & MacKenzie , 2003, pág. 885)

7.4. Tratamientos térmicos de aleaciones de aluminio

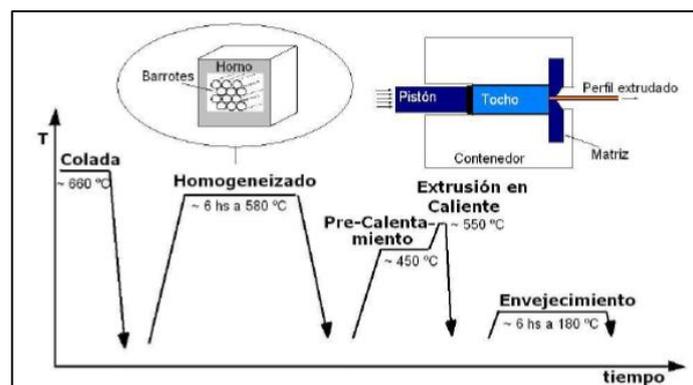
Un tratamiento térmico es cualquier tipo de enfriamiento y calentamiento que se da a un metal para la modificación de propiedades mecánicas, dentro de las aleaciones de aluminio no todas son aptas para recibir los tratamientos, ya que no todas las aleaciones son capaces de modificar sus propiedades mecánicas al ser sometidos a estos tratamientos, en el aluminio solo las series 2xxx, 6xxx y la serie 7xxx, aceptan tratamientos térmicos.

La modificación ocurre en la estructura metalúrgica, o el estado de estrés residual de un producto de metal, también se aplican estos tratamientos para aumentar la resistencia y la dureza de las distintas aleaciones. (Handbook Committee, ASM Handbook, Vol. 4: Heat Treating, 2007, pág. 842)

Los tratamientos térmicos consisten en un proceso de tres pasos siguientes:

- Tratamiento térmico de solución. (Homogenizado)
- Temple o enfriamiento. (Extrusión)
- Endurecimiento por edad o envejecimiento natural o artificial. (Envejecimiento)

Figura 2. Representación de tratamientos térmicos.



Fuente: (CEDAL S.A. , 2018)

Entre los tratamientos térmicos de aluminio de la serie 6xxx se encuentra el homogenizado, el tratamiento térmico que se da al material antes de su extrusión conocida como precalentamiento, y por último un tratamiento térmico conocido como envejecimiento que se da a los perfiles de aluminio para ganar dureza en los mismos de manera artificial.

7.4.1. Proceso de homogenizado

La materia prima para los procesos de extrusión de aluminio se busca que estos hayan pasado a través de un proceso de homogenizado – solubilizado que consiste en romper la estructura de colada y optimizar la microestructura para el al proceso de extrusión. (Echarri & Jodra , 2013, pág. 654).

El aluminio debe ser sometido al proceso de homogenizado antes de sufrir cualquier tipo de deformación, el proceso consiste en subir la temperatura de masa del aluminio hasta cierto

punto y mantener la temperatura, hasta que se produzca un rompimiento estructural de la materia, e igualando la composición química en el microscopio.

El proceso de homogenizado está formado por tres etapas fundamentales que son:

- ✓ Calentamiento
- ✓ Homogenización o solubilizado
- ✓ Enfriamiento (Grupo PECHINEY, 2001, pág. 95)

7.4.1.1. Calentamiento y homogenización

El procesamiento de Aluminio y sus aleaciones tiene un efecto muy crucial en la determinación de las propiedades que este adquiere. Las propiedades de las aleaciones de Aluminio dependen principalmente de su microestructura y sus componentes, tales como tamaño de grano promedio, distribución de tamaño de grano (Yamabe-Mitarai & Hebert, 2012)

Se debe tener mucho cuidado con el exceso de temperatura inicial de fusión, que es un sobrecalentamiento del material donde las propiedades como la resistencia a la tracción, la ductilidad y la resistencia de fractura pueden disminuir. Así como la temperatura máxima debe ser controlada para evitar la fusión del material, la temperatura mínima (515°C) debe estar por encima de la temperatura en la que ocurre la solución completa. Tiempo de homogenización también conocido como tiempo de remojo puede variar desde menos de dos minutos para materiales delgados hasta 20 horas para materiales grandes. (Chandler, 2007, pág. 135)

La etapa mantenimiento del proceso debe realizarse de acuerdo a la temperatura indicada en la figura 3, para cumplir con el rompimiento total de Mg₂Si en el material y así lograr una distribución homogénea de los elementos en el material.

7.4.1.2. Enfriamiento

La etapa de enfriamiento de billets en el proceso de homogenizado consiste en conservar las características que el material obtuvo en la etapa de mantenimiento, impidiendo que el material regrese a su estado inicial.

El principal objetivo de tener un enfriamiento rápido después del tratamiento con solución es la de mantener a temperatura ambiente, la solución sólida que se obtuvo durante el ciclo de solución u homogenizado. Tener un enfriamiento rápido permite que el material adquiera un tamaño de grano más fino lo cual le da dureza al material. (Chandler, 2007, pág. 13)

En la mayoría de los casos se aplica un enfriamiento, para no tener precipitaciones que ocasionen daño a las propiedades mecánicas o la resistencia a la corrosión, la solución sólida formada en el tratamiento térmico debe ser enfriada rápidamente para producir una solución sobresaturada a temperatura ambiente. Entre las propiedades que adquiere el material al tener un enfriamiento rápido son las siguientes: la resistencia a la corrosión y el agrietamiento por corrosión bajo tensión. Entre los tipos de enfriamiento de billets podemos encontrar los siguientes: por inmersión en agua, enfriamiento por pulverización, por aire. (Chandler, 2007, pág. 137)

7.4.2. Diagrama de fases y microestructura

El sistema de Al – Mg – Si, es fundamental para las aleaciones de la serie 6xxx, que tienen la presencia de magnesio para darle al material endurecimiento por precipitación. A medida que el magnesio aumenta en la aleación, pueden estar presentes tanto las partículas de silicio como los constituyentes de Mg₂Si de equilibrio. A contenidos más altos de magnesio, solo Mg₂Si está presente. (Handbook Committee, ASM Handbook, Vol. 9: Metallography and Microstructures, 2007, pág. 1712)

Fuente: (Handbook Committee, ASM Handbook, Vol. 4: Heat Treating, 2007)

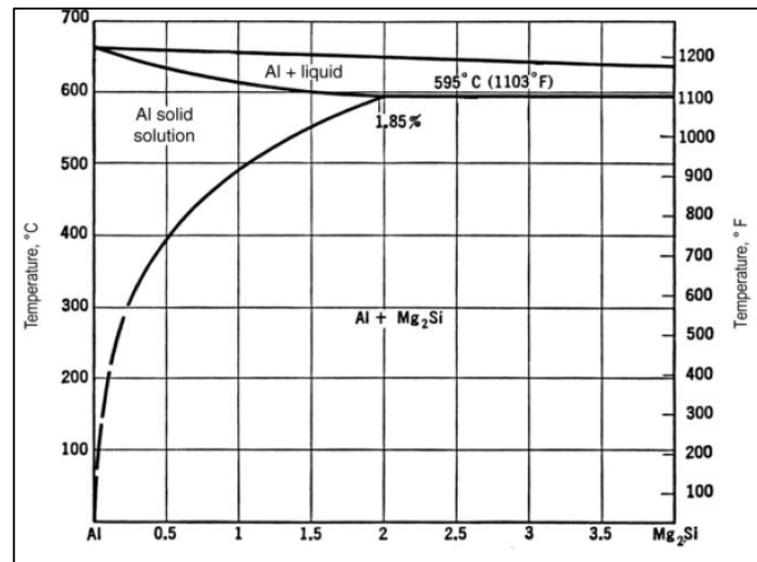
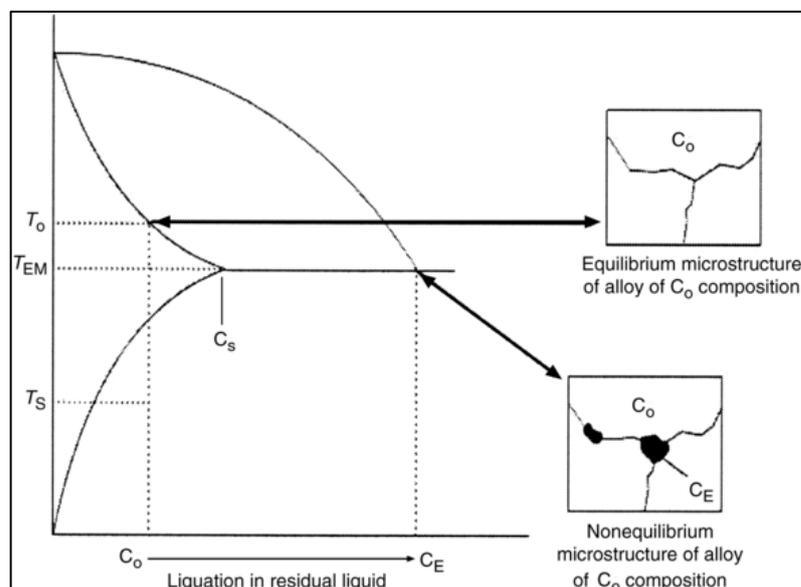


Figura 3. Solubilidad sólida de Mg_2Si en aluminio.

El aluminio de aleación 6063 trabaja con un porcentaje de siliciuro de magnesio (Mg_2Si) del 0,79%, (CEDAL S.A. , 2018). Por lo que según la figura 3 indica que se debe trabajar la segunda etapa del proceso de homogenizado a una temperatura que este dentro de $470^{\circ}C$ a $620^{\circ}C$, si el ciclo de homogenizado se encuentra dentro de estos límites, existe un correcto ciclo de homogenización o conocido también como ciclo de solución solida del aluminio.

Microestructura de la aleación de aluminio:

Figura 4. Microestructura de aleaciones de aluminio.



Fuente: (Handbook Committee, ASM Handbook, Vol. 9: Metallography and Microstructures, 2007, pág. 1768)

Esquema de la microestructura formada en zonas eutécticas.

- ✓ CO: Composición de aleación promedio.
- ✓ CE: Composición eutéctica que se obtiene por fusión en líquido residual durante la solidificación de desequilibrio.
- ✓ CS: límite de solubilidad sólida en la solución de aluminio sólido.
- ✓ To: temperatura de solidus para una composición de aleación promedio.
- ✓ TEM: temperatura de fusión eutéctica.
- ✓ TS: Temperatura de solución. (Handbook Committee, ASM Handbook, Vol. 9: Metallography and Microstructures, 2007, pág. 1768).

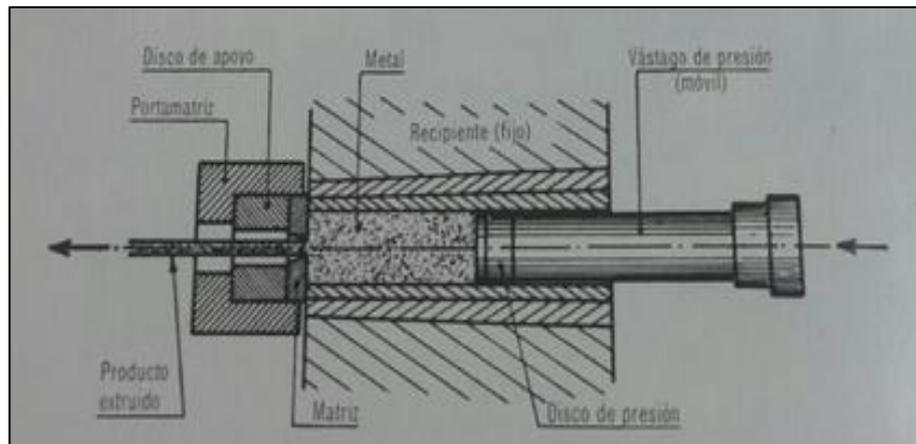
Cuando el aluminio de aleación 6063 es sometido a un buen tratamiento térmico la microestructura que obtiene el material no presenta concentraciones de Mg₂Si en el microscopio, lo que puede ocasionar defectos en perfiles extruidos.

7.5. Proceso de extrusión

La extrusión en prensa es un procedimiento que tiene como fin formar perfiles a base de la deformación plástica del material, lo cual consiste en moldear un material en caliente o frío por compresión, mediante la presión ejercida de un disco de presión sobre el material para que atraviese por una matriz, para que el material adquiera dicha forma. (Grupo PECHINEY, 2001, pág. 158).

El proceso de extrusión consiste en darle un precalentamiento al material hasta llegar a un estado de plasticidad sin que este pierda sus propiedades mecánicas, para a continuación ingresar a la prensa, la cual mediante la ayuda de la presión y de la matriz, se logra darle forma al aluminio según la figura que la matriz posee.

Figura 5. Esquema de la extrusión directa.



Fuente: (Grupo PECHINEY, 2001) Vol. 2

Las serie 6xxx es sometido a tratamientos térmicos para obtener una buena y uniforme microestructura en todo el material, este tratamiento es importante al hablar de extrusión, ya que la microestructura obtenida en la homogenización y enfriamiento aplicado, permite que el material sea extruido a altas velocidades, por lo tanto tener una buena productividad. (Totten & MacKenzie , 2003, pág. 413)

Existen varios factores que se deben tomar en cuenta para la extrusión de un material que influyen en el producto final que son:

- Tipo, disposición y diseño de la matriz.
- Tipo de aleación.
- Temperatura de precalentamiento.
- Temperatura de herramientas utilizadas.
- Velocidad de extrusión.

La resistencia que el aluminio obtiene al ser aleado y la ligereza que este posee, son las principales características que se toma en cuenta para su producción y construcción.

La calidad superficial del producto extruido depende directamente del grado de refinamiento de la estructura. Siendo consistente el análisis de la calidad superficial de los perfiles con el criterio de la extrusión asociado a la microestructura. (Echarri & Jodra , 2013, pág. 659)

7.6. Metalografía

Es una disciplina científica que consiste en la examinación y determinación de la constitución y la estructura profunda de los componentes en metales, aleaciones y materiales, también conocidos como microscopía. Es una evaluación visual de la estructura que se puede realizar en varias escalas de longitud o niveles de aumento que van desde 5X hasta aumentos de más de 1000000X con microscopios electrónicos. (Handbook Committee, ASM Handbook, Vol. 9: Metallography and Microstructures, 2007, pág. 10)

Con la aplicación de la metalografía es posible determinar el tamaño de grano, distribución de las fases y microestructura que revela el tratamiento mecánico y térmico que se le dio al material. (Avner, 2000)

Cabe recalcar que el microscopio es la herramienta más importante para quienes practican metalografía, ya que permite observar cuál es su microestructura y tamaño de grano que adquirió al ser sometido a un tratamiento térmico o mecánico, técnica mediante la cual se puede dar un control de calidad a los procesos a los que fue sometido el metal o aleaciones.

El “Microscopio metalográfico invertido” utilizado por la empresa pertenece a la marca ALLTION, posee un alcance de visualización de 5x, 10x, 20x, 50x, y necesita una alimentación de 110 V. (Manual de Laboratorio CEDAL, 2017)

7.6.1. Etapas para preparar un muestra metalográfica

Para realizar metalografía es necesario tener una probeta con un buen acabado superficial, este no debe presentar rayas y tener un aspecto similar a la de un espejo, ya que la visualización de microestructura de un metal no depende del microscopio que se utiliza, sino más bien del acabado que tenga la probeta. Para lograr el acabado deseado se debe seguir los pasos señalados a continuación.

Muestreo

Al tomar la muestra para el análisis se debe evitar que la muestra sufra un calentamiento debido a que puede sufrir modificaciones en su estructura. La muestra para realizar el análisis

metalográfico de un metal suave puede ser realizada manualmente, mientras que la extracción de un metal duro se lo realiza en una cortadora.

Esmerilado tosco

La muestra debe ser pasada por un esmeril para evitar rugosidades en la superficie, con el fin de ir mejorando el acabado de la muestra. Este proceso se lo realiza con agua para evitar modificaciones en la estructura de la muestra.

Montaje

Al hablar de montaje se refiere a colocar la muestra en baquelita que es un plástico sintético que funciona bajo calor en una máquina llamada incluidora, una vez colocada la muestra en baquelita es más fácil manipular esta para la preparación de la probeta y poder visualizar la microestructura y tamaño de grano.

Figura 6. Baquelita utilizada para formar probetas.



Fuente: CEDAL S.A. 2018

Lijado

La probeta es lijada hasta eliminar rayas que se encuentren en esta para después proceder con los pulidos.

Pulido intermedio

Este pulido intermedio elimina de manera total rayas en la probeta.

Pulido fino

Por último se da a la probeta un pulido fino, este pulido le da un acabado similar a la de un espejo, dejando lista a la probeta para ser atacada químicamente, y poder observar la microestructura y tamaño de grano que posee el material.

Ataque

El químico utilizado para realizar e ataque de la probeta depende de lo que el investigador desee observar, para la observación de microestructura se realiza un ataque con el químico Keller y para observar el tamaño de grano del material se debe atacar con Poulton. Se debe tener cuidado con el tiempo de ataque debido a que la probeta puede sufrir quemaduras, en ese caso se debe realizar nuevamente el proceso mencionado.

8. Hipótesis

El estudio del enfriamiento de billets de aluminio de aleación 6063 en el proceso de homogenizado permite identificar cual es la influencia en la productividad en el área de extrusión en la empresa CEDAL S.A.

Señalamiento de las variables

La hipótesis planteada cuenta con las siguientes variables:

Variable independiente.- El estudio del enfriamiento de billets de aluminio de aleación 6063 en el proceso de homogenizado.

Variable dependiente.- Identificar cual es la influencia en la productividad en el área de extrusión en la empresa CEDAL S.A.

9. Metodología y diseño experimental.

Los métodos que se aplican para la elaboración del proyecto:

Método analítico y sintético.- Este método fue seleccionado debido al análisis de la información de fuentes bibliográficas que se debe realizar, para tener información verídica que sustente la validez del proyecto, además de la identificación de variables con las causas y efectos que estas tienen sobre el proyecto, y se van a investigar en su transcurso.

Método inductivo.- Es uno de los métodos científico más utilizados, el cual fue elegido para la elaboración de este proyecto debido a que se quiere obtener conclusiones generales acerca de cuál es la influencia que la etapa de enfriamiento del proceso de homogenizado tiene sobre la productividad en el área de extrusión y por ende el tiempo adecuado de la etapa mencionada, a partir del estudio que se realizará en el proceso de homogenizado y el seguimiento del material que se obtiene en el proceso antes mencionado en el área de extrusión, con su respectivo análisis de caracterización del material antes de ser extruido.

Método casi experimental.- El método es de importancia para la elaboración del proyecto debido a que en la investigación se modifica una de las variables del proceso de homogenizado que es el del tiempo de enfriamiento, permitiendo obtener distintos resultados, de los cuales se elige el mejor para solucionar el problema de investigación y aumentar la productividad en el área de extrusión.

Para lo cual se utilizan las siguientes técnicas:

Tabla 5. Metodología de la investigación.

No	TÉCNICAS	DESCRIPCIÓN E INSTRUMENTOS
1	Técnica bibliográfica	Recolección de información de libros, revista, publicaciones científicas, páginas web, referidos al aluminio, proceso de homogenización y proceso de extrusión, con el fin de sustentar el proyecto y que ayude a cumplir con los objetivos planteados.
2	Investigación descriptiva.	Obtener información detallada de las propiedades acerca del proceso de homogenizado, para lo cual se utilizará el software inventor professional 2013.
3	Investigación de campo.	Hace referencia al trabajo que se realiza en el lugar y tiempo donde ocurren los hechos, la técnica será utilizada en recolección de información mediante el uso de: observación directa, fotos, reportes diarios del área de fundición, fichas técnicas de los instrumentos utilizados, horno de homogenizado, módulo RTD, Espectrómetro marca OXFORD, cable termopar tipo K, equipo metalográfico (Desbastadora, lijadora manual, pulidora, incluidora, microscopio metalográfico) y reporte de producción del área de extrusión y adicional se aplicará entrevista.
4	Análisis datos.	Consiste en la organizar información mediante el uso tablas comparativas.
5	Recolección de datos.	Consiste en obtener los datos necesarios para la elaboración del proyecto del proceso de homogenizado y área de extrusión.

Elaborado por: Autor

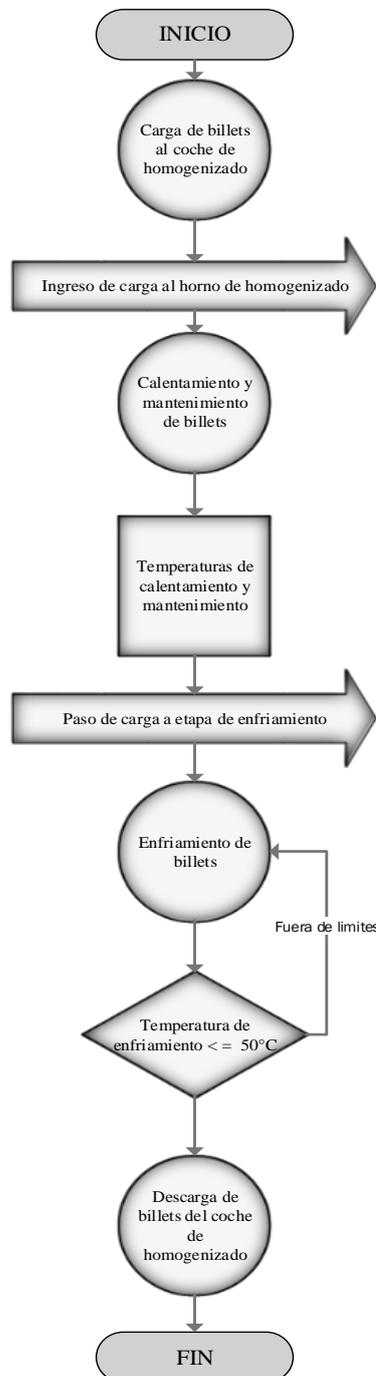
10. Desarrollo de la propuesta (análisis y discusión de los resultados)

10.1. Estudiar la situación actual del enfriamiento de billets de aleación 6063 utilizado en el proceso de homogenizado.

10.1.1. Identificación del proceso de homogenizado.

La figura 7 indica el flujograma del proceso de homogenizado que utiliza la empresa.

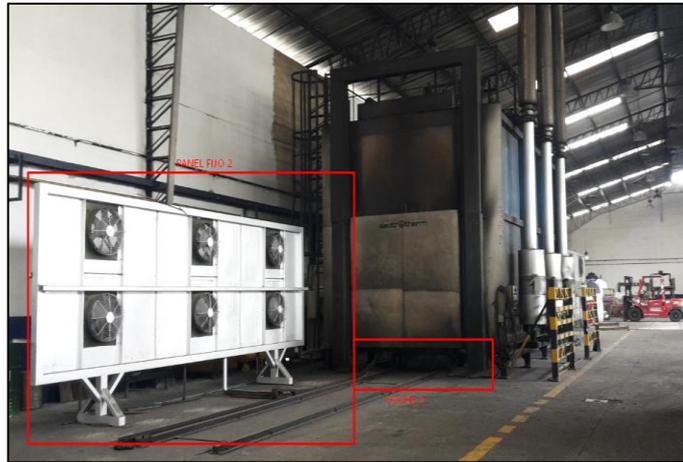
Figura 7. Flujograma del proceso de homogenizado.



Fuente: Autor

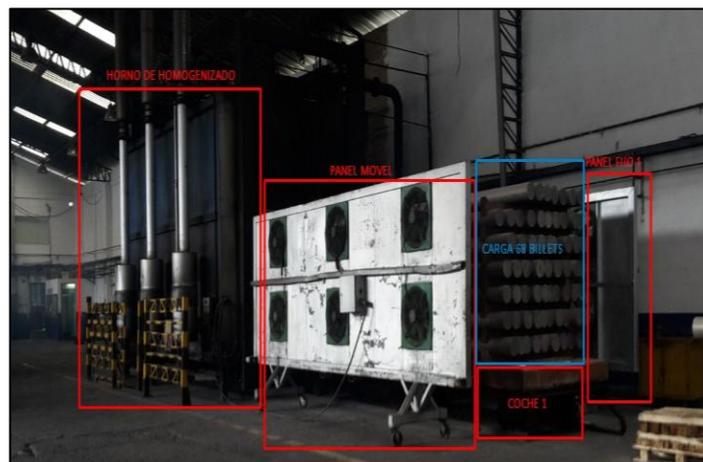
El proceso de homogenizado utilizado por la empresa CEDAL S.A., en el área de fundición, está dividida en tres etapas, calentamiento, mantenimiento y enfriamiento. Para las etapas de calentamiento y mantenimiento la empresa cuenta con un horno de homogenizado, y para la etapa de enfriamiento con tres paneles de seis ventiladores cada panel, dos paneles fijos y panel un móvil como se indica en la figura 8 y 9.

Figura 8. Horno de homogenizado (vista sur – norte).



Fuente: Autor

Figura 9. Horno de homogenizado (vista norte – sur).



Fuente: Autor

Para el desarrollo del proceso de homogenizado en sus tres etapas el sistema cuenta con dos coches que tienen la capacidad para 68 lingotes o billets de 5,79 m de longitud y 0,18 m de diámetro cada uno, la carga se ubica en 6 filas de diez billets cada una y la última cuenta con 8 billets, como indica a figura 10.

Figura 10. Coche uno de homogenizado cargado para el cumplimiento del proceso.



Fuente: Autor

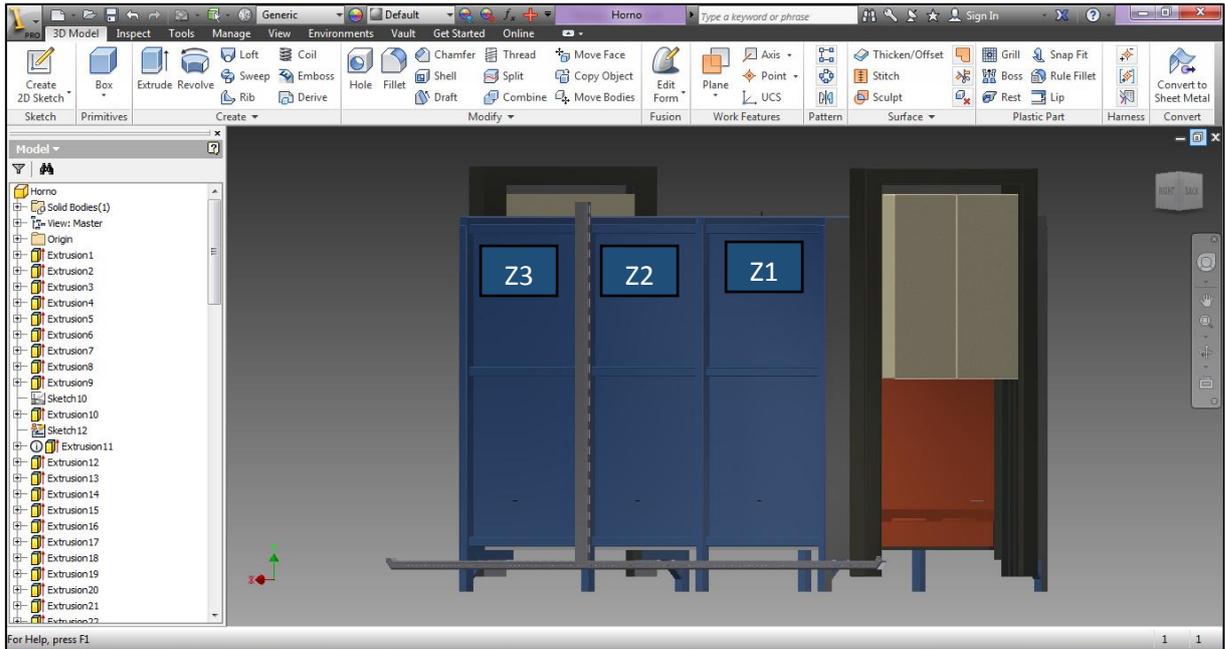
Existen dos tipos de temperaturas en el proceso de homogenizado dentro de las etapas de calentamiento y mantenimiento, la primera llamada temperatura de aire la cual es la que se encuentra alrededor del material y es controlada por medio de un panel de control que se encuentra en el horno (Anexo 1), y la temperatura de masa que es la temperatura interior de los billets, las temperaturas mencionadas son diferentes debido a que la primera es la cual proporciona en operador al proceso y la segunda es la que adquieren los billets.

Para la realización del ciclo de enfriamiento se utilizan los dos paneles de enfriamiento un fijo y el móvil y como control del ciclo de enfriamiento la empresa posee un pirómetro manual (Anexo 2) para medir la temperatura de enfriamiento hasta llegar a una temperatura que sea accesible para el operado (menor o igual a 50°C) para continuar con la descarga del coche de billets, más no como control de tiempo empleado en la etapa de enfriamiento del proceso de homogenizado.

10.1.2. Diagrama del proceso actual de homogenizado

El horno del proceso de homogenización está conformado por tres zonas como muestra la figura 11, cada zona cuenta con tres termopares de aire tipo K, estas se encuentran ubicadas una a cada lado y una en la parte superior del horno, las cuales tienen como función el control de las dos etapas que se realizan dentro del horno (Calentamiento y mantenimiento).

Figura 11. Diagrama del horno de homogenizado.



Fuente: Autor

Teniendo un total de nueve termopares de aire conocidas en el proceso como Channel (1, 9, 5, 8, 12, 4, 3, 11 y 7), las cuales están ubicadas por zonas para el control de las etapas de calentamiento y mantenimiento, como se muestran en la tabla 6:

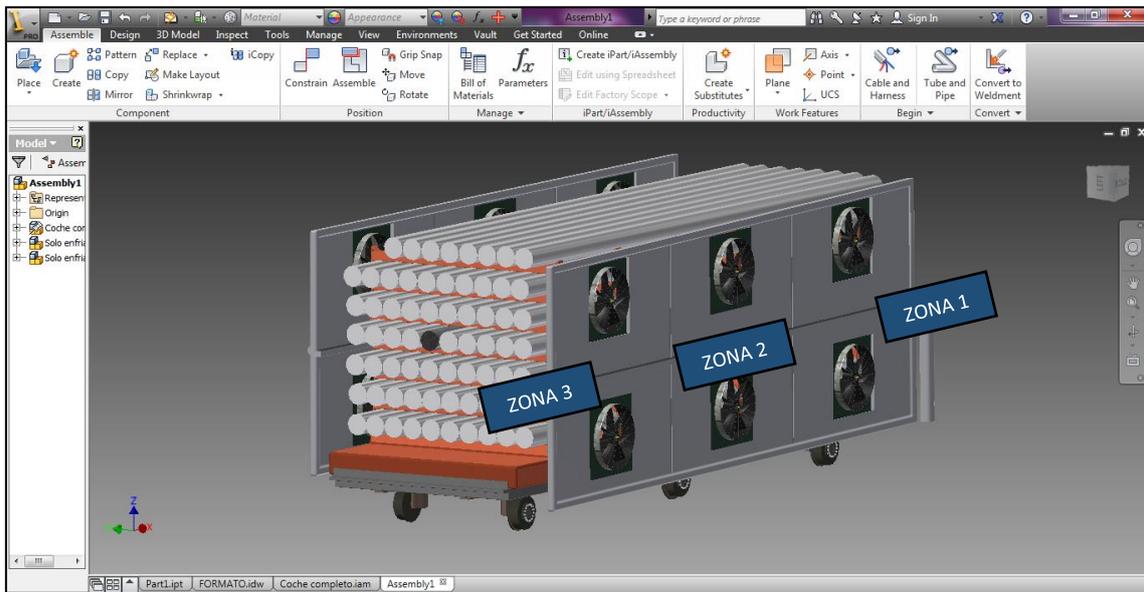
Tabla 6. Distribución de termopares de aire del horno de homogenizado.

ZONAS	TERMOPARES DE AIRE		
	L.I.	L.D.	SUPERIOR
Z 1	Ch8	Ch7	Ch1
Z 2	Ch12	Ch11	Ch9
Z 3	Ch4	Ch3	Ch5

Elaborado por: Autor

Para cada ciclo de enfriamiento se utilizan dos paneles con seis ventiladores cada uno como muestra la figura 12, estos se encuentran ubicados un panel a los laterales de la carga, y al igual que el horno, los dos paneles cubren el total de la carga de billets, permitiendo que estos se enfríen en su totalidad los 68 billets al mismo tiempo, la etapa mencionada no tiene un sistema de control para garantizar la calidad del producto.

Figura 12. Diagrama de paneles de ventiladores de ciclo de enfriamiento actual.

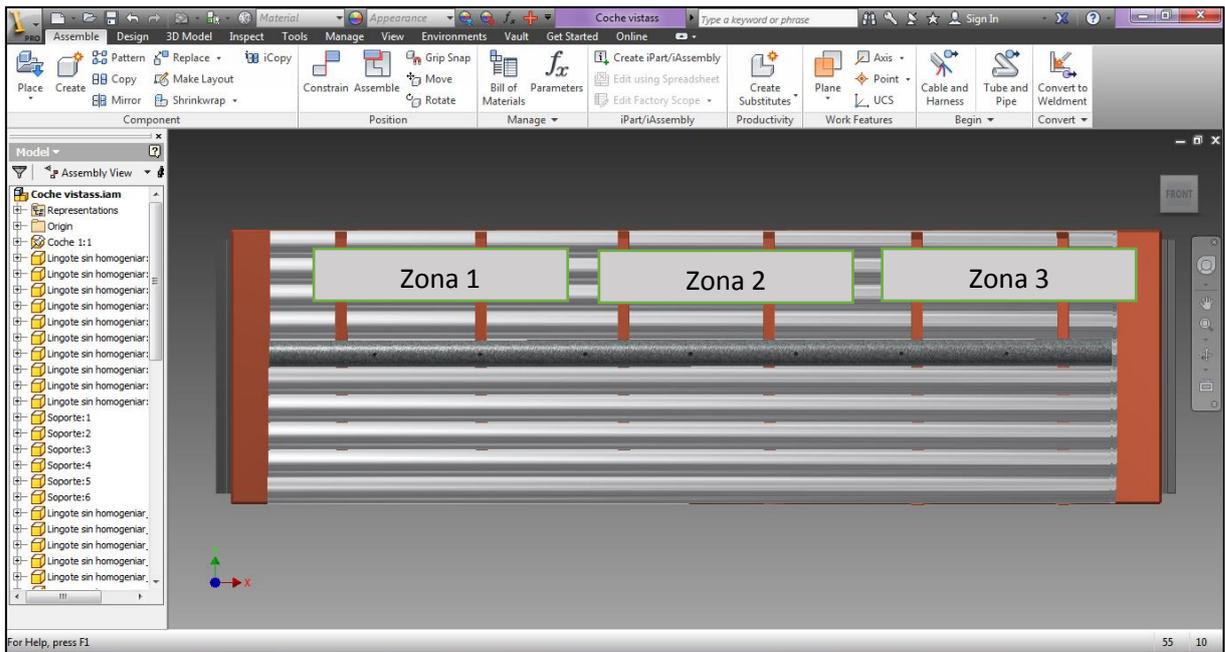


Fuente: Autor

Para la obtención de temperaturas del ciclo de enfriamiento dentro del proceso de homogenizado es necesario conectar cable de termopar tipo K, debido a que en las dos primeras etapas se tiene un control de temperaturas de aire y no de la temperatura de masa a la que se homogeniza los billets de aluminio, y para la etapa de enfriamiento se tiene un pirómetro con el fin de conocer cuándo se llega a una temperatura menor a 50°C para poder manipular el material y continuar con los procesos posteriores a este, la etapa de enfriamiento no cuenta con un sistema de control que permita saber cuál es el comportamiento de las temperaturas de masa en el ciclo de enfriamiento.

Un billet de 5,79 m de longitud por 0,18 m de diámetro ocupa las tres zonas del horno de homogenizado y los paneles de ventiladores al momento de su enfriamiento como indica la figura 13, teniendo en cuenta este criterio, se sacrificó un billet para la colocación de siete cables de termopar tipo K en toda la extensión del billet, se utilizaron siete cables debido a que el módulo RTD utilizado tiene siete entradas para la recepción de la información de temperaturas de masa del material.

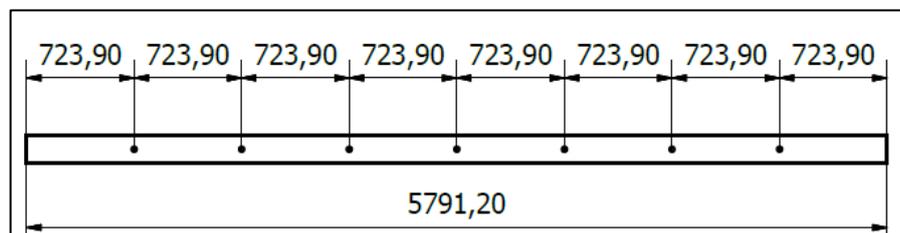
Figura 13. Diagrama de coche del proceso de homogenizado con billet estudiado.



Fuente: Autor

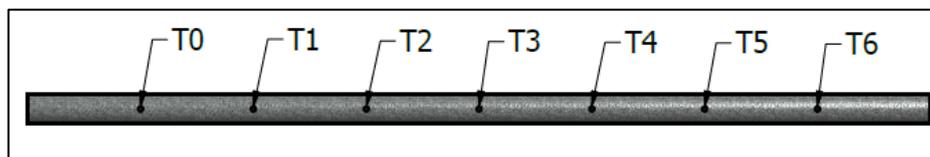
El billet fue perforado (Anexo 3) y los cables de termopar se ubicaron a una distancia de 0,72 m (723,9 mm) como se muestra en la figura 14, y se nombró a cada perforación desde T0 hasta T6 figura 15, siendo siete los cables tipo k ubicados en el billet para la obtención de temperaturas de masa del proceso de homogenizado.

Figura 14. Distancias en milímetros para ubicación de cable de termopar en el billet.



Fuente: Autor

Figura 15. Numeración de perforaciones para ubicación de los cables de termopar tipo K.



Fuente: Autor

10.1.3. Obtención de las temperaturas del ciclo de enfriamiento actual.

Tomando en cuenta el criterio estudiado anteriormente se procede a la recolección de datos de temperaturas de masa del proceso de homogenizado de las tres etapas, para lo que se siguen los siguientes pasos:

Se sacrifica un billet al cual se le realizan siete perforaciones para la ubicación de los cables tipo K como muestra la figura 16, el billet es utilizado para obtener las temperaturas del método actual de enfriamiento y métodos posteriores aplicados.

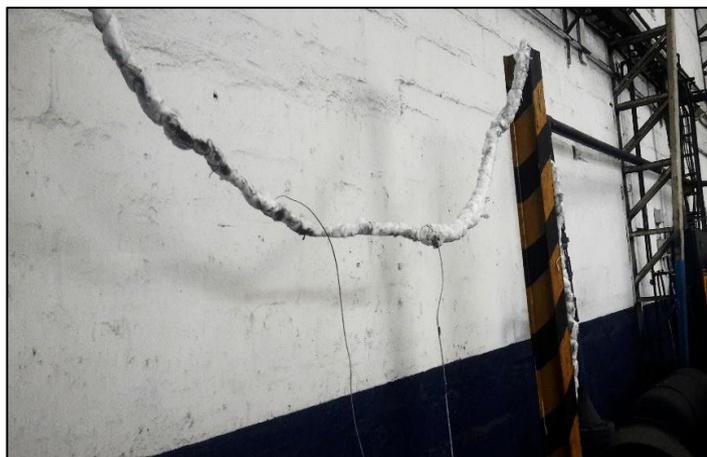
Figura 16. Billet sacrificado para estudios.



Fuente: Autor

Para la colocación de cables tipo k, estos son envueltos en lana de fibra de vidrio para alargar su vida útil, debido a que recepta información a altas temperaturas desgatando la protección del mismo se indica en la figura 17. Para la conexión del cable tipo K al billet, se retira la protección de cable en sus extremos y mediante el uso de la crema cerámica se adhiere al billet para evitar el desprendimiento de alguno de los cables y tener información confiable.

Figura 17. Cables de termopar envueltos en lana de fibra de vidrio.



Fuente: Autor

El otro extremo de los cables tipo K se conectan al módulo RTD que se muestra en la figura 18 para la recepción de los datos de temperaturas de masa del proceso de homogenizado utilizado actualmente por la empresa.

Figura 18. Conexión de cable de termopar a módulo RTD.



Fuente: Autor

El coche con la carga a la que se ubicaron los cables tipo K ingresa al horno de homogenizado para cumplir con las dos primeras etapas del proceso de homogenizado del aluminio aleación 6063.

Figura 19. Carga de billets en el horno de homogenizado con cables tipo K.

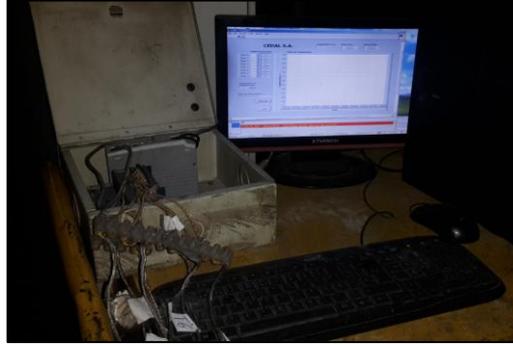


Fuente: Autor

La carga con billets de aluminio aleación 6063 después de cumplir con las dos primeras etapas sale del horno para cumplir con su ciclo de enfriamiento.

Las temperaturas obtenidas en el proceso se almacenan en un computador en hojas de Excel como se indica en la figura 20, las temperaturas de masa del proceso se reciben cada minuto para tener una mejor visualización del comportamiento de la temperatura de masa del proceso actual del proceso.

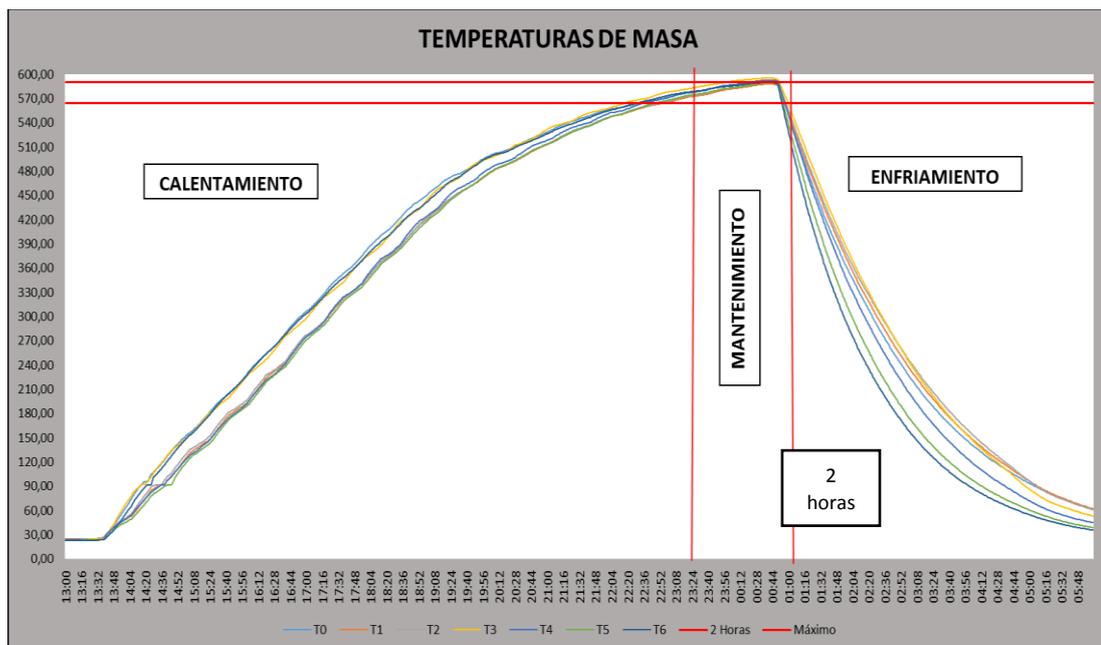
Figura 20. Equipo que recibe temperaturas de masa del material.



Fuente: Autor

Los datos obtenidos permiten observar cual es el comportamiento de la temperatura de masa del procedimiento de homogenizado en sus tres etapas en la figura 21, desde que la carga del coche entra al horno a una temperatura ambiente, hasta que este sale del horno y llega a su punto donde pueda ser manipulado.

Figura 21. Temperaturas de billets en el proceso de homogenizado.



Elaborado por: Autor

ANÁLISIS: La gráfica mostrada presenta los valores registrados de los siete cables de termopar tipo K ubicados en el billet, del proceso de homogenizado en sus tres etapas, teniendo como resultado final del proceso actual utilizado en la empresa:

La tabla 7 permite observar que el proceso de homogenizado tiene una duración total de 16 horas con 27 minutos, desde que la carga ingresa al horno hasta que el material pueda ser manipulado, lo que quiere decir que la carga de 68 billets tiene una duración del tiempo mencionado en el proceso.

Tabla 7. Tiempo total del proceso de homogenizado.

Datos de Inicio		Datos de Finalización	
Hora:	13:36	Hora:	6:03
Temperatura °C:	24,3	Temperatura °C:	50
Duración: (Horas)		16:27	

Elaborado por: Autor

El ciclo de calentamiento de masa del proceso de homogenizado se da en un tiempo de 9 horas con 7 minutos, que inicia a una temperatura de 24,3°C hasta una temperatura máxima de la etapa de 565,76°C como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Ciclo de calentamiento del proceso de homogenizado.

Inicio		Final	
Hora:	13:36	Hora:	22:43
Temperatura °C:	24,3	Temperatura °C:	565,76
Duración:		9:07:00	

Elaborado por: Autor

El ciclo de mantenimiento de la masa del proceso se da en un tiempo de 2 horas, con una temperatura promedio de 580,5 °C, lo que quiere decir que el proceso de homogenizado en sus dos etapas se está realizando exitosamente, teniendo una temperatura de permanencia adecuada, además de cumplir con el tiempo de 2 horas para la homogenización del material como se indica en la tabla 9.

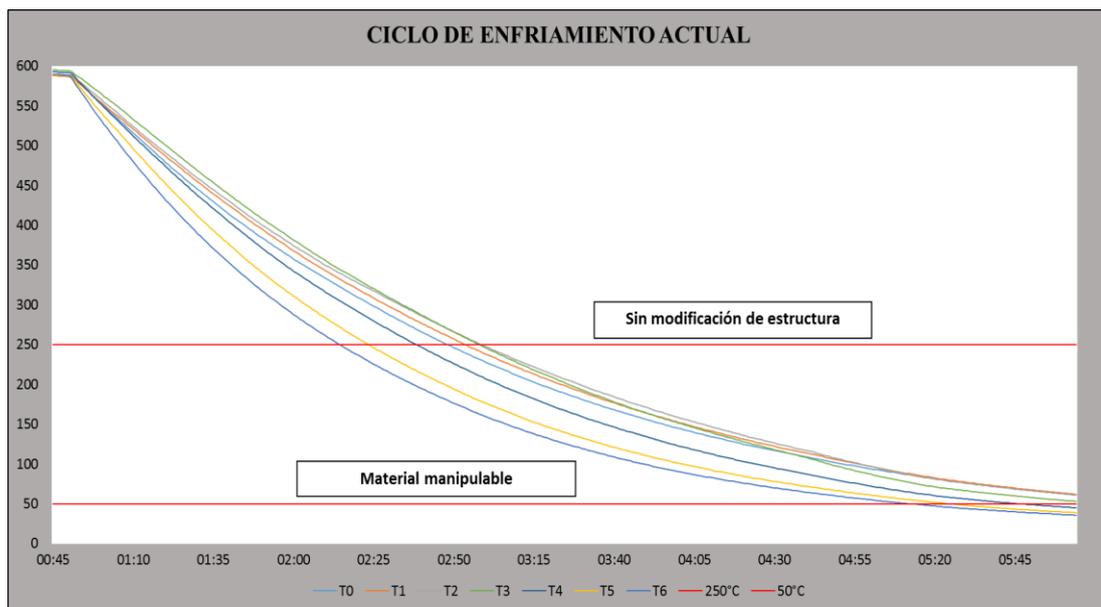
Tabla 9. Ciclo de mantenimiento del proceso de homogenizado.

Inicio		Final	
Hora:	22:43	Hora:	0:44
Temperatura °C:	565,76	Temperatura °C:	590
Duración:	2:01:00		
Temperatura promedio:	580,5°C		

Elaborado por: Autor

Ciclo de enfriamiento utilizado actualmente por la empresa CEDAL S.A.

El ciclo de enfriamiento del proceso de homogenizado tiene una duración dos horas con tres minutos hasta llegar a una temperatura de 250°C, el cual es el punto donde el material deja de sufrir una modificación en su microestructura después del ciclo de mantenimiento (homogenizado), y llega a una temperatura de 50°C en un tiempo de cuatro horas con 27 minutos, a esta temperatura los billets pueden ser manipulados y puede realizarse los procesos posteriores a este con el material, como se indica en la figura 22.

Figura 22. Etapa de enfriamiento del proceso actual de homogenizado.

Fuente: Autor

Análisis: El resumen de datos de la gráfica del ciclo actual de enfriamiento del proceso de homogenizado inicia con una temperatura de 590,3°C como indica la tabla 10.

La tabla 10 muestra los tiempos y temperaturas finales de enfriamiento del método actual utilizado por la empresa, donde se observa que el material deja de sufrir una modificación estructural en dos horas con tres minutos, y el material es manipulable a una temperatura de 50°C siendo obtenida a las cinco horas con 19 minutos:

Tabla 10. Ciclo de enfriamiento del proceso actual de homogenizado.

Temperatura inicial	Temperatura final	Tiempo de enfriamiento
590,3°C	250°C	2 h 03 min
590,3°C	50°C	5h 19 min

Elaborado por: Autor

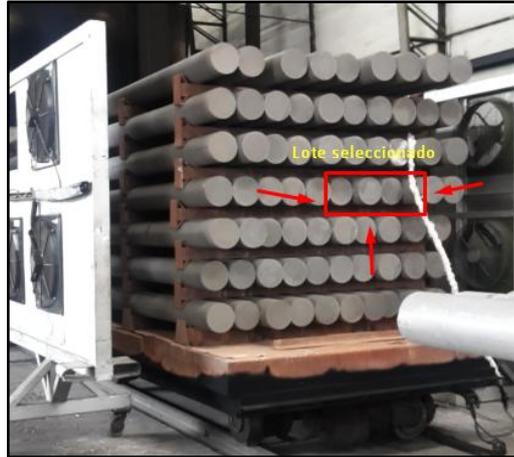
10.1.4. Determinación de la caracterización (espectrometría, microestructura y tamaño de grano) de billets de aluminio 6063.

Para la obtención de la caracterización y análisis en el espectrómetro del material se recoge las muestras de los billets analizados en el proceso de homogenizado, para lo que se continúa con los siguientes pasos:

Obtención de probeta para análisis de espectrometría del material sometido a la etapa de enfriamiento actual del proceso de homogenizado:

La carga estudiada una vez que llega a temperatura ambiente se selecciona el lote de producción como indica la figura 23 con el que se trabaja en el área de extrusión, el lote de producción estudiado pertenece al 210338.

Figura 23. Lote sometido a la etapa de enfriamiento actual.



Fuente: Autor

Los billets elegidos son colocados en la sierra (figura 24) para el respectivo corte de la muestra para la verificación de Aleantes de aluminio respecto a los registros de producción del área de fundición, del billet enfriado con el ciclo actual utilizado por la empresa.

Figura 24. Lote de estudio en sierra para obtención de probeta.



Fuente: Autor

La figura 25 indica la muestra cortada del material estudiado para su análisis de espectrometría.

Figura 25. Probeta de billet enfriamiento actual de la empresa.



Fuente: Autor

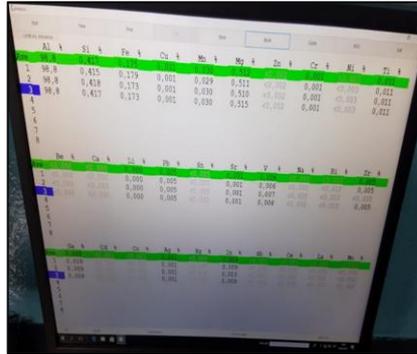
La probeta es limpiada con alcohol industrial antes de ser sometidas al análisis de espectrometría.

Se realiza análisis de espectrometría la muestra, de lo que se obtiene tres análisis de una probeta de los cuales el resultado final es su promedio, donde se puede observar que el análisis realizado es similar a los datos en los registros del área de fundición, y se encuentra dentro de los límites de control establecidos.

Figura 26. Espectrómetro del área de fundición.



Fuente: Autor

Figura 27. Estudio de espectrometría de probeta actual

Fuente: Autor

La tabla 11 indica los datos del análisis de espectrometría de registros de colada del aluminio del lote de producción (ANEXO 4) y la probeta, se puede observar que ambos son similares y se encuentran dentro de los límites de control de la aleación de aluminio 6063.

Tabla 11. Análisis de espectrometría del material (enfriamiento del proceso actual de homogenizado).

Numeración probetas	Análisis de espectrometría de Aleantes de la probeta estudiada							
	Si %	Fe %	Cu%	Mn%	Mg %	Cr%	Zn%	Ti%
Colada	0,508	0,211	0,0184	0,0157	0,498	0,0066	0,0221	0,0167
Probeta 1	0,511	0,228	0,0183	0,0095	0,499	0,0071	0,0172	0,0144
Aleantes establecidos	0,2 – 0,6	<= 0,35	<=0,1	<=0,1	0,45–0,9	<=0,1	<=0,1	<=0,1

Elaborado por: Autor

Obtención de muestra para análisis de microestructura y tamaño de grano.

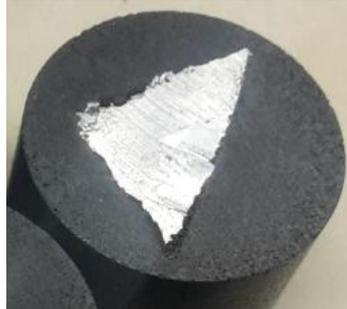
De la misma probeta obtenida para el análisis de espectrometría, se corta una pequeña muestra que sirve para obtener información sobre microestructura y tamaño de grano obtenido en el proceso de homogenizado.

Figura 28. Muestra para análisis de caracterización.

Fuente: Autor

Para la realización del análisis de tamaño de grano y microestructura se coloca la muestra cortada en baquelita, para el análisis metalográfico, la probeta obtenida del proceso actual de homogenizado es llamada P1.

Figura 29. Formación de probeta con baquelita.



Fuente: Autor

Preparación de probeta para análisis micro estructural del aluminio sometido al ciclo de enfriamiento actual.

La probeta P1 es devastada y pulida en el equipo metalográfico que posee la empresa CEDAL S.A. (Anexo 5–7), y cumpliendo con las etapas de preparación de probetas (Anexo 8-10) hasta obtener una apariencia similar a la de un espejo, evitando tener rayas que son visibles en el microscopio (Anexo 11), para la observación de su caracterización microestructura y tamaño de grano en el microscopio.

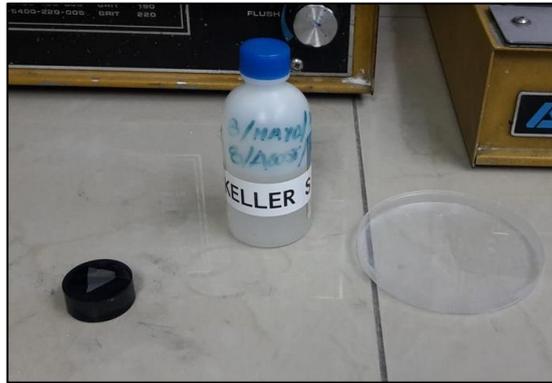
Figura 30. Probeta P1 lista para ataque químico.



Fuente: Autor

La probeta es expuesta por diez segundos al reactivo Keller, enjuagada con abundante agua, para retirar excesos del reactivo utilizado y evitar quemaduras en la probeta, por último secar la probeta al ambiente para revelado de la microestructura del aluminio de aleación 6063.

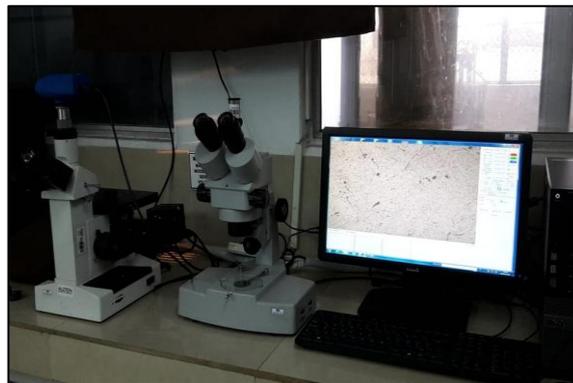
Figura 31. Ataque químico a la probeta para revelado de grano.



Fuente: Autor

Se coloca la probeta en el microscopio para la observación de su microestructura a un aumento de 50X y 100X.

Figura 32. Microscopio para visualización de microestructura de P1.

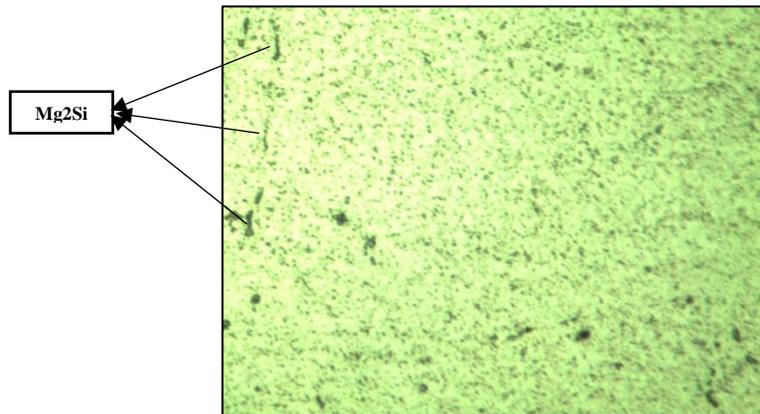


Fuente: Autor

En las figuras 33 y 34 se observa se observa la microestructura del material a un aumento de 50x y 100x, donde se visualiza que el material tiene la presencia moderada de Siliciuros de Magnesio (Mg_2Si), presenta también compuestos inter-metálicos de base de hierro, en tono gris claro y con morfología acicular, además de unos puntos negros que se debe incrustaciones de alúmina en la probeta. El análisis se realizó en el laboratorio de la empresa CEDAL, a cargo del Ingeniero Roberto García Supervisor de calidad. Cabe recalcar que en dicho laboratorio los

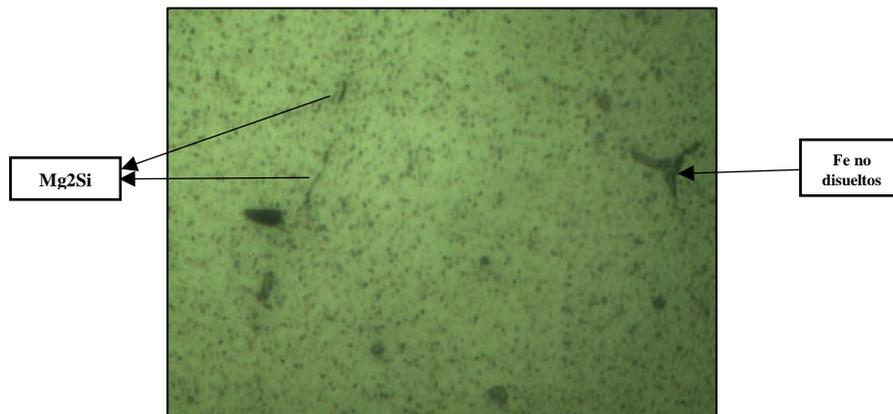
ensayos se realizaron con Alúmina que se encuentra en fase de prueba por lo que en nuestro análisis se encuentra puntos negros que son incrustaciones del líquido en la probeta.

Figura 33. Probeta con enfriamiento actual a 50x.



Fuente: Autor

Figura 34. Probeta con enfriamiento actual a 100x.



Fuente: Autor

Pulida de probetas para revelado de tamaño de grano de aluminio sometido a enfriamiento actual en el proceso de homogenizado:

Se lija y pule la probeta estudiada en el equipo metalográfico para retirar el reactivo Keller, y se somete la probeta al reactivo Poulton por 30 segundos, la probeta es enjuagada con abundante agua, por último se espera a que esta seque al ambiente, y se obtiene una probeta con apariencia blanquecina, lista para ser observada en el microscopio.

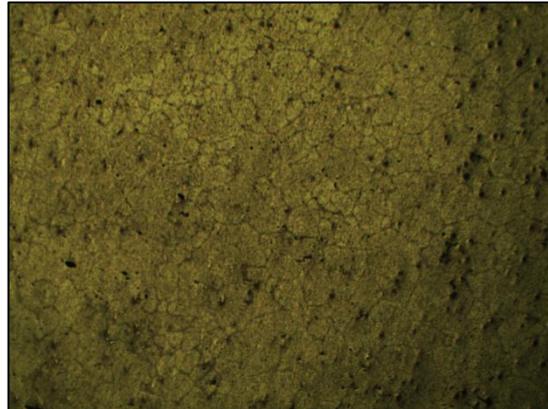
Figura 35. Reactivo Poulton.



Fuente: Autor

En la figura 36 se observa el tamaño de grano que el material obtuvo en el procedimiento de homogenizado, este fue analizado en el Laboratorio de control de calidad de la empresa CEDAL con el apoyo del Supervisor de Calidad, dando como resultado un tamaño de grano de $1,18\mu\text{mm}$ como se observa en la figura 37.

Figura 36. Tamaño de grano de probeta con enfriamiento actual.



Fuente: Autor

Figura 37. Identificación de tamaño de grano probeta actual.

Propiedades de grano	Valor de Propiedades
<input checked="" type="checkbox"/> Datos	
Método	Diagonal
Intercepta	50
Longitud	10,59768mm
Tamaño de Grano	1,18836
Numero (μm^2)	17918,54240
La media de la zona	57,37999
Longitud (μm)	212,73808

Fuente: Autor

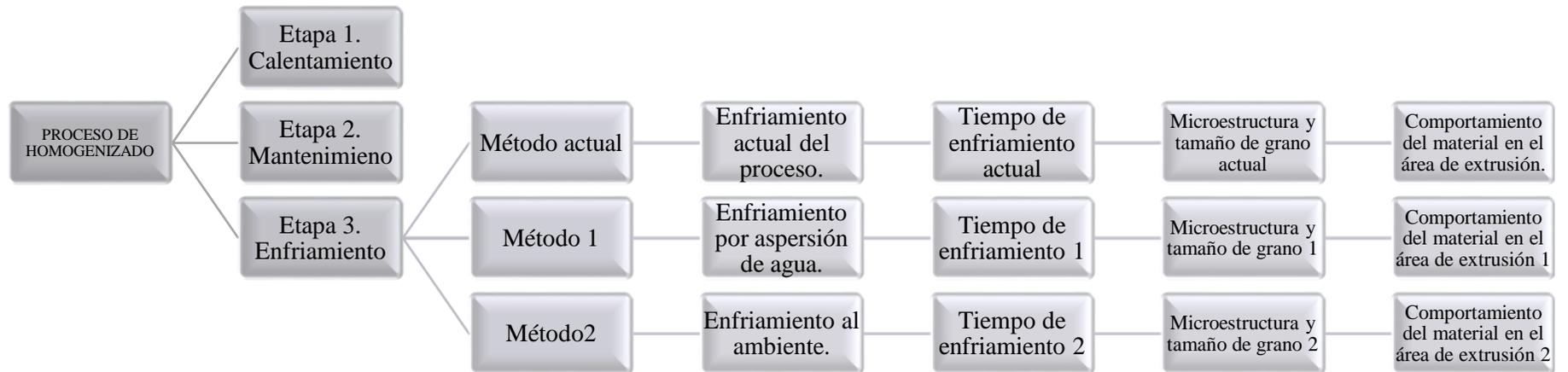
10.2. Proporcionar varios métodos de enfriamiento en el proceso de homogenizado y verificación de tamaño de grano y microestructura.

10.2.1. Diseño de varios métodos de la etapa de enfriamiento del proceso de homogenizado

El proceso de homogenizado se basa en sus tres etapas principales, dos etapas primeras que son el calentamiento y mantenimiento u homogenizado, que se comprueba que con la recolección de datos que las etapas se encuentran en buen estado además que estas cuentan con un sistema de control de temperatura de aire a la que se realiza las etapas mencionadas, y la tercera y final etapa del proceso no tiene un sistema de control por lo que se buscó obtener la condición actual de la etapa y mejorar esta etapa mediante la modificación de su tiempo para conocer cuál es la influencia en la productividad en el área de extrusión, mediante la modificación de su microestructura del aluminio de aleación 6063.

El diseño de distintos métodos que se proporciona a la etapa de enfriamiento en el proceso de homogenizado, nos da como resultado distintos tiempos para el proceso, permitiendo la obtención de distintas microestructuras, tamaño de grano y comportamiento del material en el área de extrusión. Los métodos que se emplean se indican en la figura 38.

Figura 38. Diseño de tiempos de enfriamiento para la etapa de enfriamiento.



Fuente: Autor

10.2.2. Obtención de temperaturas de los nuevos ciclo de enfriamiento proporcionado al material.

Según los métodos para la etapa de enfriamiento propuestos se aplicaron a los lotes de producción elegidos para la obtención de nuevos tiempos de la etapa de enfriamiento, los distintos tiempos permiten obtener al material diferente caracterización de microestructura y tamaño de grano, además del distinto comportamiento del material estudiado en el área de extrusión, datos que permiten el reconocimiento del mejor tiempo de enfriamiento para el aumento de productividad en el área extrusión.

Método 1. Enfriamiento por aspersión de agua.

Para la realización del método uno de enfriamiento se estudia el lote de producción 280237, el lote ingresa al horno de homogenizado donde no existe modificación alguna en las etapas de calentamiento y mantenimiento u homogenizado, lo contrario de la tercera etapa que su principal fuente de enfriamiento es el agua, y para la recepción de las temperaturas de la etapa mencionada se realizan los siguientes pasos:

Colocación de cable tipo K en el billet sacrificado para receptar la información de temperaturas de masa de la etapa de enfriamiento, mediante la utilización de la crema cerámica para evitar que los cables tipo K se desprendan del billet y recepte información errónea.

El fin de los cables es conectado al módulo RTD y este a la computadora para obtener las temperaturas con respecto al tiempo que se obtiene en tablas de Excel.

El lote seleccionado para el estudio es enfriado mediante aspersión de agua, utilizando un chorro de agua fría a una temperatura de 27,4°C.

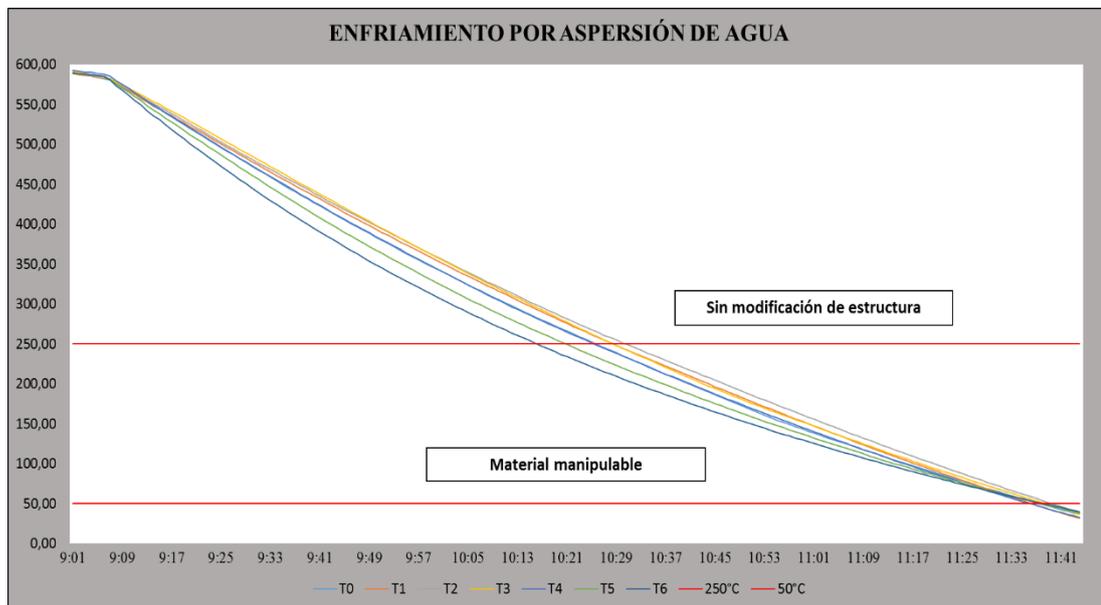
Figura 39. Método de enfriamiento aplicado a billets.



Fuente: Autor

El método aplicado de enfriamiento por aspersión de agua permite obtener un tiempo de enfriamiento diferente al utilizado actualmente por la empresa, y el comportamiento de temperaturas de la etapa de enfriamiento obtenidas se muestra en la figura 40.

Figura 40. Etapa de enfriamiento por aspersión de agua.



Fuente: Autor

Análisis: La figura 40 presenta el comportamiento de las temperaturas de masa de la etapa de enfriamiento del proceso de homogenizado con respecto al tiempo, permitiendo observar en que tiempo el material deja de sufrir deformaciones y cuando se puede manipular los billets de aluminio para continuar con los posteriores procesos.

La tabla 12 indica los tiempos y temperaturas finales de enfriamiento por aspersión de agua empleado en el lote estudiado:

Tabla 12. Resumen de temperaturas y tiempos de enfriamiento por aspersión de agua.

Temperatura inicial	Temperatura final	Tiempo de enfriamiento
589,89°C	250°C	1 h 24 min
589,89°C	50°C	2 h 36 min

Elaborado por: Autor

La tabla 12 muestra que el ciclo de enfriamiento inicia con una temperatura promedio de 589,89 °C la cual es la final de la etapa de mantenimiento, el método de enfriamiento empleado en esta etapa permite que el material llegue a una temperatura de 250°C en un tiempo de 1 hora con 24 minutos, en esta temperatura los billets de aluminio de aleación 6063 deja de sufrir una modificación en su microestructura obtenida en la etapa de homogenizado. También el método de enfriado empleado permite llegar a una temperatura de 50°C en 2 horas con 36 minutos después de haber salido del horno de homogenizado, esta temperatura es manipulable para el operador y el material pueda continuar a los procesos posteriores a este.

Método 2. Enfriamiento al ambiente.

Para la realización del método dos de enfriamiento se estudia el lote de producción 280236, cabe recalcar que las dos primeras etapas del proceso de homogenizado no son modificadas para el estudio, y la tercera etapa perteneciente a la del enfriamiento de billets y se aplica un enfriamiento al ambiente, con el fin de receptar sus datos de temperaturas con respecto al tiempo de enfriamiento, para lo que se sigue los siguientes pasos:

- ✓ Colocación de cable tipo K en el billet sacrificado para receptar la información de temperaturas de masa de la etapa de enfriamiento al ambiente, mediante la utilización de la crema cerámica para evitar el desprendimiento de los cables tipo K del billet y recepte información errónea.
- ✓ El extremo de los cables es conectado al módulo RTD y este a una computadora para obtener las temperaturas con respecto al tiempo en tablas de Excel.

- ✓ El lote seleccionado para el estudio es el enfriado al ambiente, tomando los billets del lote estudiado que salen del horno de homogenizado como se muestra en la figura 41 y colocándolos en un lugar donde sea posible que estos se enfríen a una temperatura ambiente.

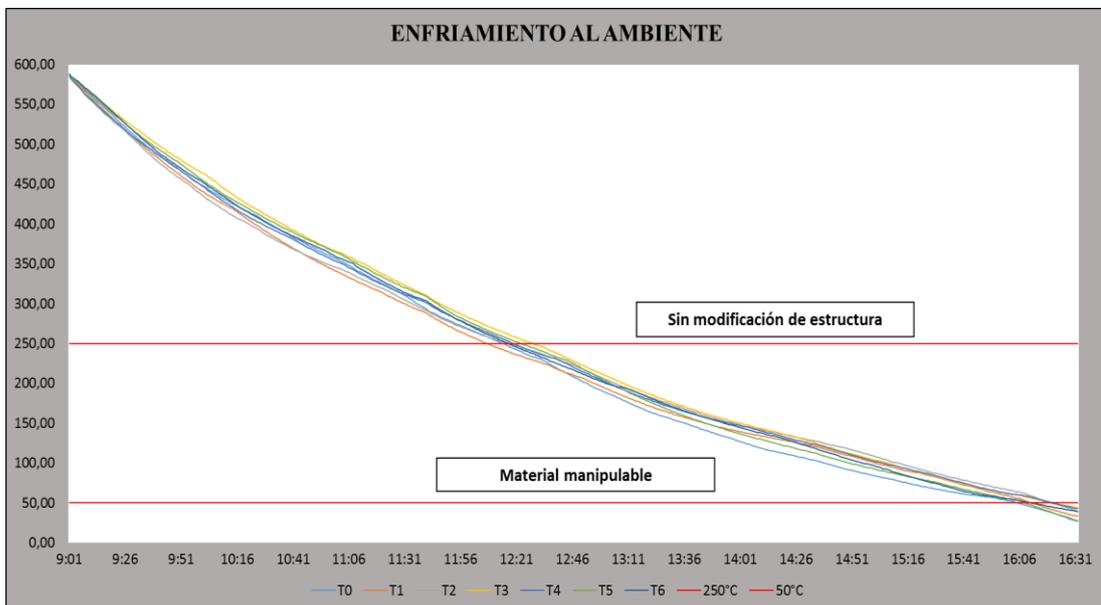
Figura 41. Toma de billets para aplicación de método 2 de enfriamiento.



Fuente: Autor

- ✓ Las temperaturas de enfriamiento al ambiente son registradas en un computador, la información es almacenada en tablas de Excel lo que permite graficar e interpretar el comportamiento del material mediante la realización de gráficas, como se muestra en la figura 42.

Figura 42. Etapa de enfriamiento al ambiente.



Fuente: Autor

Análisis: La figura 42 presenta el comportamiento de las temperaturas de masa de la etapa de enfriamiento del proceso de homogenizado con respecto al tiempo, permitiendo observar en que tiempo el material llega a 250°C, temperatura en la cual el material deja de sufrir deformaciones en su microestructura y a 50°C cuando se puede manipular los billets de aluminio.

La tabla 13 indica los tiempos y temperaturas finales de enfriamiento del método de enfriamiento al ambiente aplicado al lote de producción estudiado:

Tabla 13. Resumen de temperaturas y tiempos de enfriamiento al ambiente.

Temperatura inicial	Temperatura final	Tiempo de enfriamiento
586,66°C	250°C	3 h 17 min
586,66°C	50°C	7 h 12 min

Elaborado por: Autor

La tabla 13 muestra que el ciclo de enfriamiento inicia con una temperatura de 586,66 °C la cual es la final de la etapa de mantenimiento, el método de enfriamiento al ambiente empleado en esta etapa permite obtener nuevos tiempos de trabajo. El material llega a una temperatura de 250°C en un tiempo de 2 hora con 26 minutos, en esta temperatura los billets de aluminio de aleación 6063 deja de sufrir una modificación en su microestructura obtenida en la etapa de homogenizado. También el método de enfriado empleado alcanza una temperatura de 50°C en 7 horas con 12 minutos después de haber salido del horno de homogenizado, esta temperatura es manipulable para el operador y el material pueda continuar a los procesos posteriores a este.

10.2.3. Determinación de caracterizaciones y análisis de espectrometría del material estudiado.

Método 1. Aspersión de agua

- ✓ Análisis de espectrometría

El lote de producción 280237, el cual en los registros de producción del área de fundición presenta un análisis de espectrometría dentro de los límites establecidos de la aleación de aluminio 6063, los cuales se observan en la tabla 14.

Se procede a realizar el análisis de espectrómetro cuyos resultados de silicio, hierro y magnesio se encuentran en la tabla 14, además de los datos obtenidos de los registro de producción del área de fundición (Anexo 13):

Tabla 14. Análisis de espectrometría método 1.

Numeración probetas	Análisis de espectrometría de aleantes de la probeta estudiada							
	Si %	Fe %	Cu%	Mn%	Mg %	Cr%	Zn%	Ti%
Colada	0,510	0,239	0,0128	0,0095	0,500	0,0036	0,0176	0,0172
Probeta 1	0,509	0,188	0,0173	0,0113	0,406	0,0048	0,0193	0,0116
Aleantes establecidos	0,2 – 0,6	<= 0,35	<=0,1	<=0,1	0,45–0,9	<=0,1	<=0,1	<=0,1

Fuente: Registros de producción del área de fundición.

Elaborado por: Autor

Los resultados que muestra la tabla 14 se encuentran dentro de los límites establecidos de la aleación 6063 de aluminio de la Asociación Internacional de Aluminio.

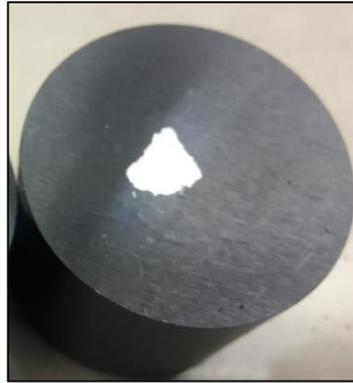
- ✓ Obtención de microestructura de muestra obtenida del método 1 de enfriamiento aplicado.

Obtención de probetas para análisis de microestructura.

De la misma probeta obtenida para el análisis de espectrometría, se corta una pequeña muestra con una sierra manual para obtener información sobre microestructura y tamaño de grano que se obtiene en el material al aplicar el ciclo de enfriado por aspersión de agua.

Antes de colocar la probeta en baquelita se lima hasta obtener una superficie plana. Se ubica la probeta en la incluidora junto con la cantidad necesaria de baquelita para poder realizar el proceso de preparación de probeta con éxito, la probeta es llamada P2 (Figura 43).

Figura 43. Muestra P2 en baquelita



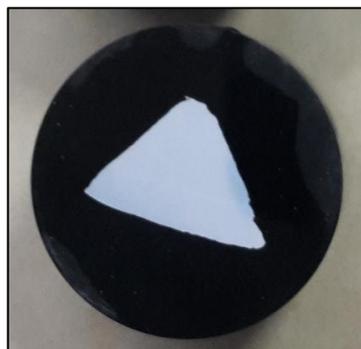
Fuente: Autor

Pulida de probetas para análisis micro estructural del aluminio sometido a ciclo de enfriamiento por aspersión de agua.

Al tener la probeta formada con baquelita es preparado en el en el equipo metalográfico de la empresa (Anexo 5-7), cumpliendo las etapas de pulido de la probeta (Anexo 8-10), hasta tener una apariencia similar a la de un espejo para observar micro estructura y tamaño de grano del material.

Al tener una probeta con un buen acabado, se la somete al reactivo Keller por diez segundos y enjuagada con abundante agua para retirar excesos del reactivo utilizado y evitando que la probeta sufra quemaduras como se muestra en el anexo 12, la muestra obtiene una superficie blanquecina después de ser atacada químicamente como se indica en la figura 44.

Figura 44. Muestra P2 sometida a ataque químico con Keller.

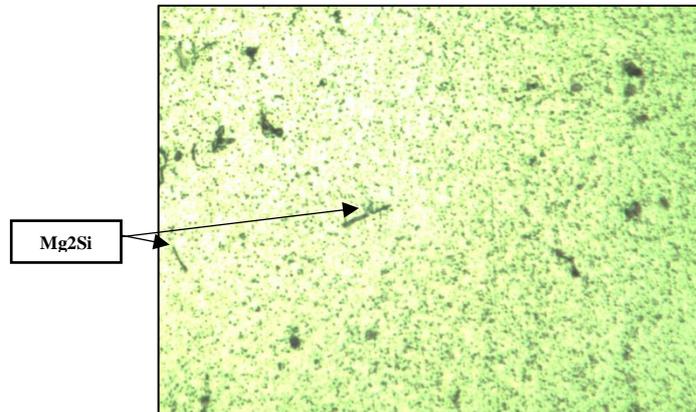


Fuente: Autor

La figura 45 y 46 indican que el material sometido al enfriamiento por aspersión de agua en el proceso de homogenizado tiene la presencia de pequeñas cantidad de Mg_2Si . Al presentar

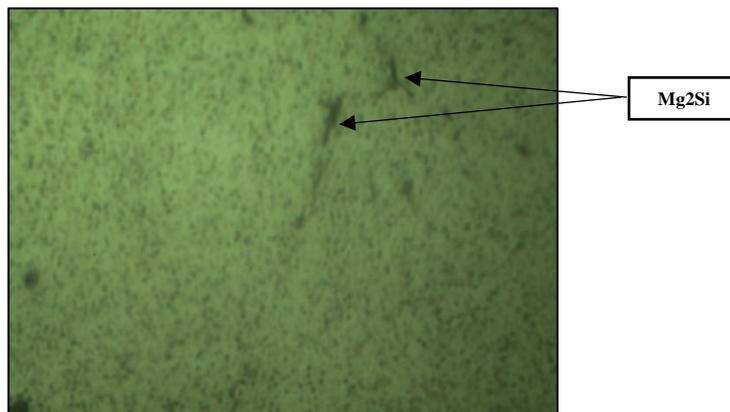
pequeñas cantidades de Mg_2Si se verifica que el enfriamiento proporcionado al material está siendo adecuado, conservando de mejor manera la estructura que se obtiene con en la solubilizada del aluminio en el proceso de homogenizado. El análisis es realizado con el apoyo del Ingeniero Roberto García, supervisor de calidad de la empresa. Las imágenes mostradas se encuentran a un aumento de 50X y 100X.

Figura 45. Probeta con enfriamiento por aspersion de agua a 50x.



Fuente: Autor

Figura 46. Probeta con enfriamiento por aspersion de agua a 100x.



Fuente: Autor

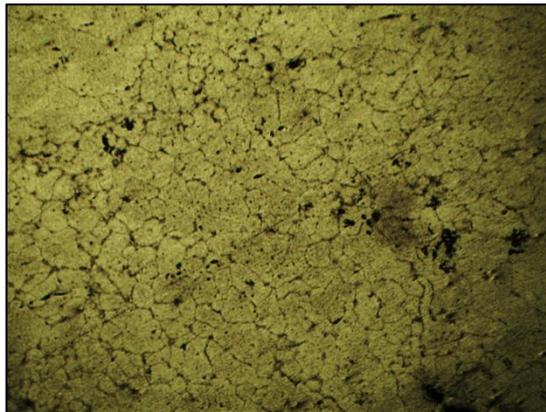
Pulida de probetas para revelado de tamaño de grano de aluminio aleación 6063 sometido a enfriamiento por aspersion de agua en el proceso de homogenizado:

Se utiliza la misma probeta que sirvió para observar su microestructura, esta es lijada y pulida para retirar el reactivo Keller, hasta que la misma no tenga rayas y presente un acabado semejante a un espejo.

Una vez lista la probeta se coloca el reactivo Poulton en un recipiente y se somete la probeta al reactivo por 30 segundos, se enjuaga con abundante agua para retirar los excesos del reactivo y evitar que la probeta se quemé. Antes de colocar la probeta en el microscopio esta debe secarse al ambiente y observar el tamaño de grano del material. El microscopio revela el tamaño de grano a aumento de 50X.

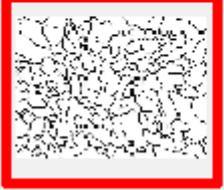
La figura 47 indica el tamaño de grano que se obtiene al aplicar un enfriamiento por aspersion de agua, el cual fue analizado y calculado en el Laboratorio de calidad, dando como resultado un tamaño de grano de $2,24\mu\text{mm}$ como indica la figura 48.

Figura 47. Tamaño de grano (Aspersion de agua).



Fuente: Autor

Figura 48. Tamaño de grano de probeta con enfriamiento por aspersión de agua.

Field #5:	
Field #6:	
	
Propiedades de grano	Valor de Propiedades
Datos	
Método	Diagonal
Intercepta	72
Longitud	10,61096mm
Tamaño de Grano	2,23688
Numero (µm ²)	37083,07840
La media de la zona	27,79928
Longitud (µm)	147,91912

Fuente: Autor

Método 2. Enfriamiento al ambiente

✓ Análisis de espectrometría

El lote de producción utilizado es el 280236, este lote en los registros de producción como se muestra en el anexo 14 pertenecientes a su análisis de espectrometría se presentan en la tabla 15, los cuales se encuentran dentro de los límites establecidos, además de su análisis de espectrometría realizada a la probeta del método dos de enfriamiento.

Tabla 15. Análisis espectro métrico método 2.

Numeración probetas	Análisis de espectrometría de aleantes de la probeta estudiada							
	Si %	Fe %	Cu%	Mn%	Mg %	Cr%	Zn%	Ti%
Colada	0,512	0,198	0,0111	0,0088	0,508	0,0043	0,0108	0,0141
Probeta 1	0,506	0,202	0,0169	0,0134	0,509	0,0066	0,0159	0,0171
Aleantes establecidos	0,2 – 0,6	<= 0,35	<=0,1	<=0,1	0,45–0,9	<=0,1	<=0,1	<=0,1

Fuente: Registros de producción del área de fundición.

Elaborado por: Autor

Los resultados que muestra la tabla 15 manifiesta que los datos se encuentran dentro de los límites establecidos que pertenece a la aleación de aluminio 6063.

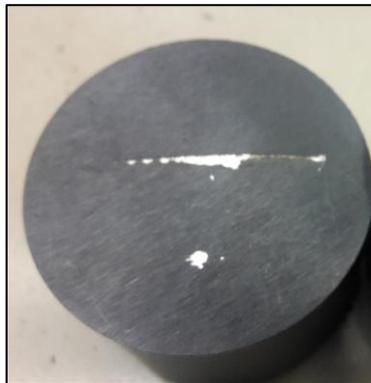
✓ Obtención de microestructura

Obtención de probeta para análisis de microestructura.

Se realiza el corte de la probeta para la obtención de información sobre la microestructura y tamaño de grano del lote 280236 que fue sometido al enfriamiento al ambiente, mediante la utilización de una sierra manual.

La muestra cortada debe ser limada hasta que su superficie sea plana para poner la misma en baquelita, y esta se ubica en la incluidora con la cantidad necesaria de baquelita para formar la probeta que es preparada para análisis metalográfico, esta es llamada P3, figura 49.

Figura 49. Muestra P3 sometida a método 2 de enfriamiento.



Fuente: Autor

Pulida de probetas para análisis micro estructural del aluminio sometido al ciclo de enfriamiento al ambiente.

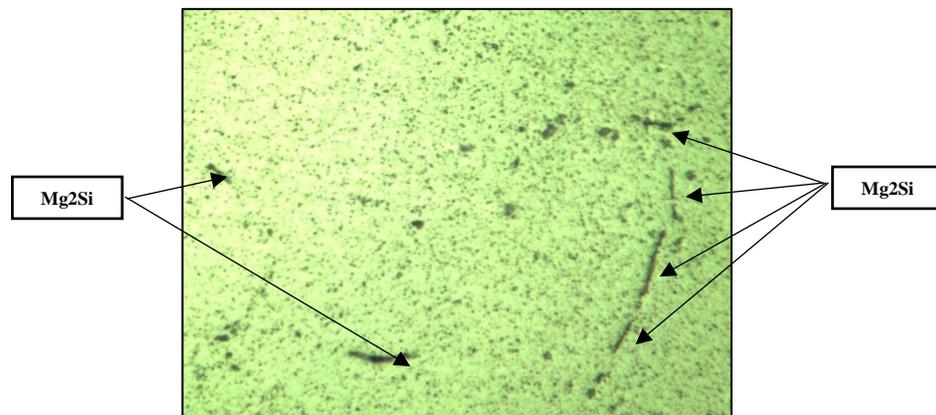
Al tener la probeta formada con baquelita es devastada en la lijadora Buehler y pulida en el equipo metalográfico mostrada en los anexos 5 - 7 de la empresa, con el fin de eliminar toda clase de rayas y obtener una superficie semejante a la de un espejo, para la correcta observación de su caracterización de microestructura y tamaño de grano en el microscopio.

Cuando la probeta esta lista se le ataca químicamente con el reactivo Keller por diez segundos y esta es enjuagada con abundante agua para retirar los excesos del químico al que fue expuesto y evitar que la probeta se quemé (Anexo 12).

La probeta es secada al ambiente y se la coloca en el microscopio para la observación de su microestructura y tamaño de grano a un aumento de 500X y 1000X. El material sometido a un enfriamiento al ambiente presenta las figuras 50 y 51.

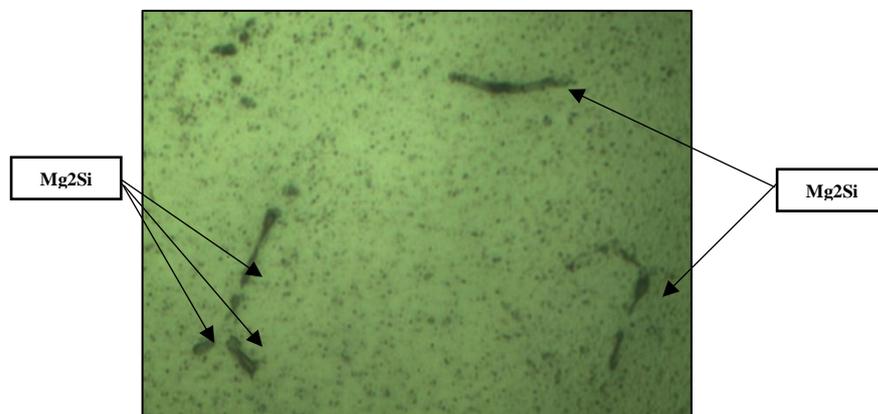
Se observa plaquetas y precipitados muy grandes dispersos con direcciones definidas de Siliciuro de Magnesio Mg_2Si con tonos oscuros, significa que el ciclo de enfriamiento proporcionado a este material no es adecuado debido a que no se conserva la microestructura que se obtiene el ciclo de solubilizado u homogenizado, el análisis realizado fue con el apoyo del Supervisor de calidad.

Figura 50. Probeta con enfriamiento al ambiente a 50x.



Fuente: Autor

Figura 51. Probeta con enfriamiento al ambiente a 100x.



Fuente: Autor

Pulida de probetas para revelado de tamaño de grano de aluminio aleación 6063 sometido a enfriamiento al ambiente en el proceso de homogenizado:

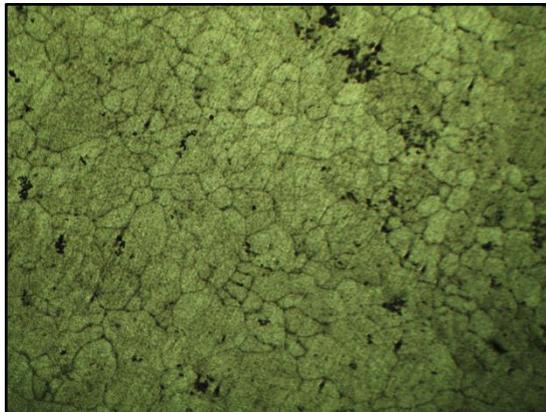
Se utiliza la misma probeta que sirvió para observar su microestructura, esta es lijada y pulida para retirar el reactivo Keller, hasta que la misma no presente rayas superficiales y tenga un acabado semejante al de un espejo.

Se coloca el reactivo Poulton en un recipiente y se somete la probeta al reactivo por 30 segundos, la probeta debe ser enjuagada con abundante agua para retirar los excesos del reactivo y evitar que la probeta se queme.

La probeta debe ser secada al ambiente para la visualización del tamaño de grano en el microscopio. El microscopio revela el tamaño de grano a aumento de 50X como se indica en las figuras siguientes:

La figura 57 indica el tamaño de grano del material sometido a un enfriamiento al ambiente, este fue analizado y calculado en el laboratorio de calidad de la empresa CEDAL S.A. obteniendo como resultado un tamaño de grano de $0,39\mu\text{mm}$ (figura 53).

Figura 52.Tamaño de grano (Enfriamiento al ambiente).



Fuente: Autor

Figura 53. Identificación de taño de grano de probeta con enfriamiento al ambiente.

Propiedades de grano	Valor de Propiedades
Datos	
Método	Diagonal
Intercepta	38
Longitud	10,61096mm
Tamaño de Grano	0,39289
Numero (μm^2)	10272,35380
La media de la zona	99,29752
Longitud (μm)	280,00380

Fuente: Autor

10.3. Establecer cuál es el método adecuado en la etapa de enfriamiento en el proceso de homogenizado para la mejora de la productividad en el área de extrusión.

10.3.1. Comparación de microestructura obtenida del material en los distintos ciclos de enfriamiento aplicados.

La comparación de los resultados obtenidos en los estudios realizados de los distintos métodos de enfriamiento aplicados a los billets de aleación 6063 en el proceso de homogenizado con su respectivo análisis de espectrometría, y caracterización de microestructura y tamaño de grano de los billets, permiten elegir y proponer cual es el tiempo adecuado para mejorar la etapa de enfriamiento en el proceso de homogenizado con el fin de aumentar la productividad en el área de extrusión, para lo que se presenta las tablas de las variables estudiadas en cada uno de los métodos aplicados en el proceso de homogenizado.

Tiempos obtenidos por cada método de enfriamiento aplicado a billets.

Lo distintos métodos de enfriamiento aplicados en el proceso de homogenizado permite la obtención de diferentes datos de temperaturas con respecto al tiempo, como se indica en la tabla 16:

Tabla 16. Tiempos de enfriamiento del proceso de homogenizado.

Método de enfriamiento aplicado	Gráfica	Temperatura inicial	Temperatura final	Tiempo total de enfriamiento
Enfriamiento actual aplicado por la empresa.		580,5	250°C	2 h 03 min
			50°C	5 h 19 min

Enfriamiento por aspersión de agua.		580,5	250°C	1h 24min
			50°C	2h 36min
Enfriamiento al ambiente.		580,5	250°C	3h 17min
			50°C	7 h 12 min

Elaborado por: Autor.

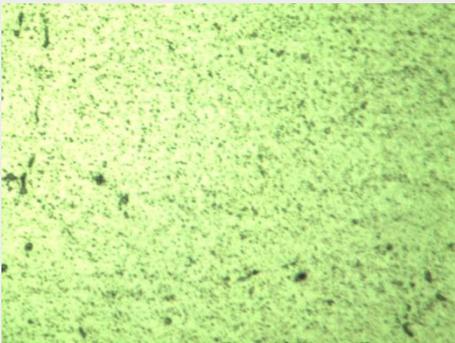
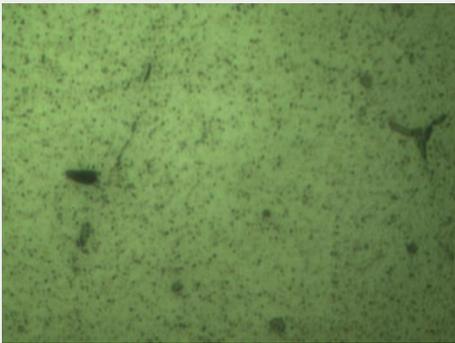
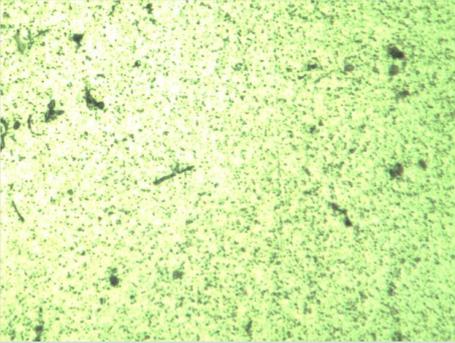
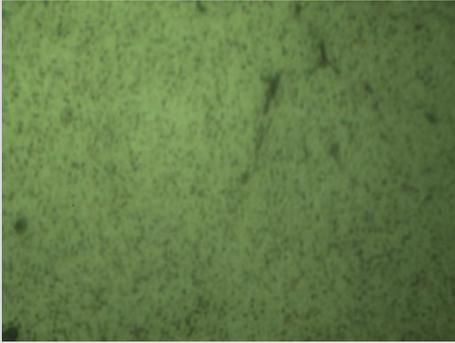
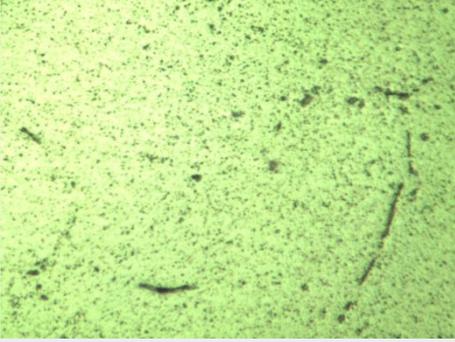
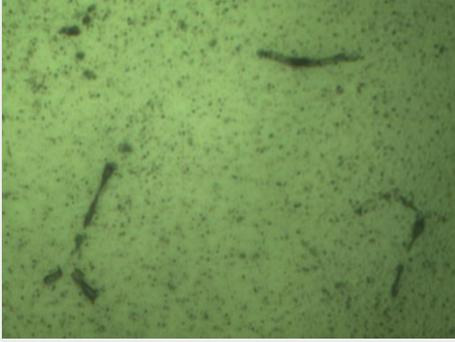
Análisis: En la tabla 16 se observa que los tres métodos de enfriamiento aplicados en el proceso de homogenizado permiten la obtención de diversos tiempos de la etapa mencionada, siendo el enfriamiento por aspersión de agua el método más rápido con un tiempo de 1 hora con 24 minutos hasta llegar a una temperatura promedio de 250°C y en 2 horas con 36 minutos alcanza la temperatura promedio de 50°C, en segundo lugar se encuentra el enfriamiento utilizado actualmente por la empresa que presenta un tiempo de 2 horas con 3 minutos a una temperatura de 250°C y alcanza los 50°C en 5 horas con 19 minutos, por último se encuentra el método de enfriamiento al ambiente con un tiempo de 3 horas con 17 minutos alcanza 250°C y en 7 horas con 12 minutos llega a 50°C siendo este método el que demora más hasta llegar a las temperaturas indicadas.

Cabe recalcar que los billets de aleación 6063 de aluminio deja de sufrir una deformación en su microestructura y tamaño de grano a una temperatura de 250°C, teniendo un enfriamiento óptimo de 250°C por hora hasta llegar a la temperatura mencionada, y los billets pueden ser manipulados a 50°C para ser transportados a los procesos posteriores, siendo el método por aspersión de agua el mejor para el proceso.

Microestructura del material estudiado

La tabla 17 permite realizar una comparación y análisis de las microestructuras que se obtuvo en cada una de los enfriamientos proporcionados al material:

Tabla 17. Microestructura de las probetas con distintos enfriamientos.

Método de enfriamiento aplicado	Gráfica	
	500X	1000X
Enfriamiento actual aplicado por la empresa.		
Enfriamiento por aspersión de agua.		
Enfriamiento al ambiente.		

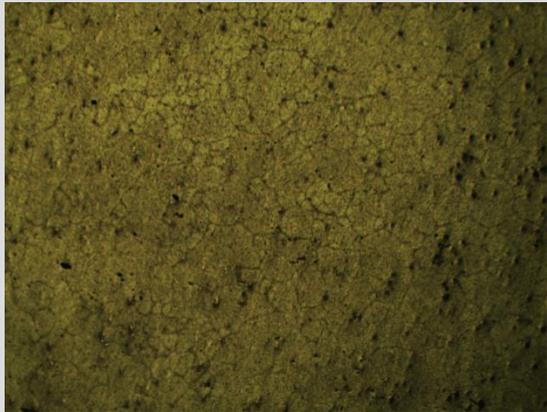
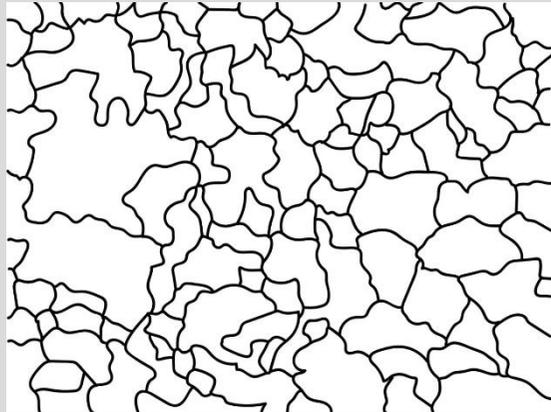
Elaborado por: Autor.

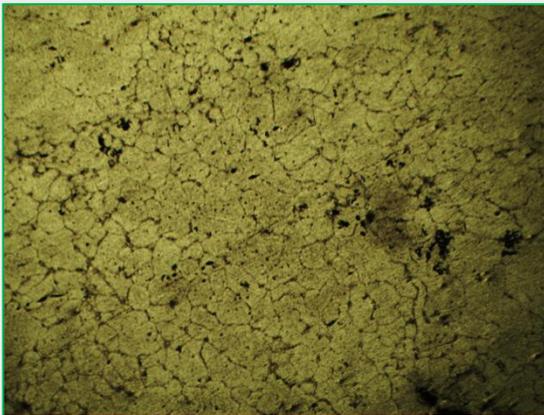
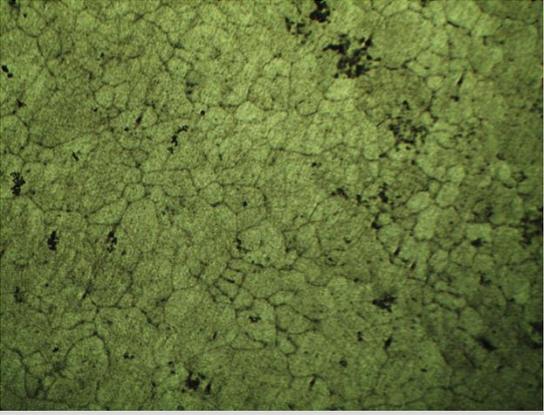
Análisis: La tabla 17 permite evidenciar que la mejor microestructura presenta el material enfriado por aspersión de agua en el proceso de homogenizado debido a que tiene menos concentraciones de siliciuros de magnesio, lo que quiere decir que tuvo un buen ciclo de solubilizado en el proceso de homogenizado, y que su ciclo de enfriamiento logra mantener las propiedades del material obtenidas en la etapa antes mencionada, evitando que por un tiempo de enfriamiento inadecuado en el proceso se vuelvan a formar concentraciones de Mg_2Si .

Tamaño de grano

En la tabla 18 se visualiza los tamaños de grano que adquirió el material en los distintos métodos de enfriamiento al que fueron sometidos los billets.

Tabla 18. Tamaño de grano de probetas con distintos enfriamientos

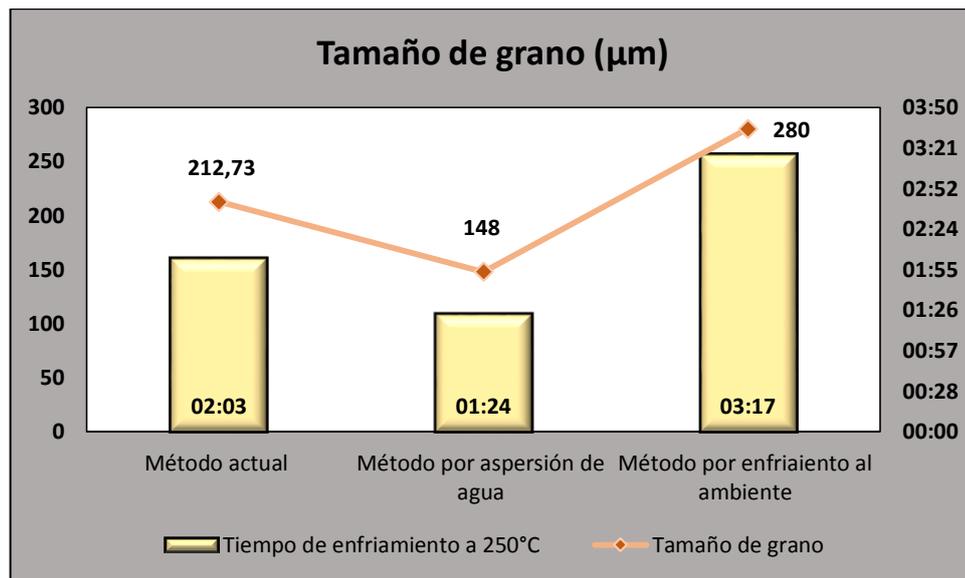
Método de enfriamiento aplicado	Gráfica		Tamaño de grano
Enfriamiento actual aplicado por la empresa.			212, 73 µm

<p>Enfriamiento por aspersión de agua.</p>			<p>147,91 μm</p>
<p>Enfriamiento al ambiente.</p>			<p>280 μm</p>

Elaborado por: Autor.

Análisis: La tabla 18 indica el tamaño de grano que se obtuvo en el material sometido a los distintos métodos de enfriamiento, dándonos como resultado que mientras más rápido es el enfriamiento se observa un decrecimiento del tamaño de grano el cual es de $147,91\mu\text{m}$ y pertenece al enfriamiento por aspersión de agua, seguido del método actual utilizado con $212,73\mu\text{m}$ y por último se ubica el enfriamiento al ambiente que es un enfriamiento lento y con el más grande tamaño de grano que es $280\mu\text{m}$ como se observa en la figura 54.

Figura 54. Tamaño de grano y tiempo de enfriamiento.



Fuente: Autor

10.3.2. Realización del seguimiento de los lotes estudiados en el área de extrusión e identificación de defectos en perfiles.

Para la extrusión del material se cortan los billets en tochos de 22 pulgada equivalente a 55,88 centímetros, para el material sometido a los tres tipos de enfriamiento se utiliza la matriz 2893 que se indica en la figura 55:

Figura 55. Referencia o matriz 2893.



Fuente: (CEDAL S. , 2017)

Los datos recolectados permiten observar que dentro del seguimiento en el área de extrusión las variables constantes son la temperatura de precalentamiento de los tochos y la temperatura de container, por otra parte la velocidad de extrusión y la presión de rompimiento son variables cambiantes según el tipo de enfriamiento que se dio a los billets de aluminio de aleación 6063.

Las tablas xx, xx y xx muestran variables con número de billet que ingresa a la prensa, la aleación con la que se trabaja, la longitud del tocho al que se cortó el billet en pulgadas, temperatura en °C de precalentamiento del tocho antes de ingresar a la prensa, temperatura de container en °C, la velocidad con la que se trabaja en la extrusión del perfil y la presión que se aplica para la extrusión del perfil.

Enfriamiento actual utilizado por la empresa

Los datos recolectados en el área de extrusión son de billets de aluminio sometido al método de enfriamiento actual utilizado por la empresa, que tiene un tiempo de enfriamiento de 2 horas con 3 minutos llegando a una temperatura de 250°C en el proceso de homogenizado, la tabla 19 muestra los datos obtenidos:

Tabla 19. Seguimiento área de extrusión (Enfriamiento actual)

ENFRIAMIENTO ACTUAL																					
Número de billet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Promedio
Aleación:	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	-
Prensa:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
Longitud de tocho (in):	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	-
Temperatura de precalentamiento de tocho (°C):	461	461	468	461	480	453	487	480	470	486	490	469	479	470	480	469	483	489	449	450	471,75
Temperatura de container (°C):	408	410	410	410	410	410	412	412	412	412	412	412	412	410	410	410	412	412	412	412	411
Velocidad de extrusión (mm/s):	8	7,7	7,6	6,4	6,4	6,1	7,1	6,8	6,6	6,1	6,8	6,9	7,3	7	7	6,8	7,1	7,2	7,4	7	6,97
Presión de rompimiento (psi):	2971	2972	2985	2890	2928	2978	2712	2700	2401	2650	3000	2897	2300	2460	2573	2911	2933	2970	3019	2997	2812,35

Elaborado por: Autor

Enfriamiento por aspersión de agua

Cuando se aplica el método de enfriamiento por aspersión de agua se obtiene un tiempo de 1 hora con 24 minutos llegando a una temperatura de 250°C, el material estudiado en el área de extrusión permite la obtención de datos que se muestran en la tabla 20:

Tabla 20. Seguimiento área de extrusión (Enfriamiento por aspersión de agua)

ENFRIAMIENTO POR ASPERSIÓN DE AGUA																					
Número de billet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Promedio
Aleación:	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	-
Prensa:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
Longitud de tocho (in):	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	-
Temperatura de precalentamiento de tocho (°C):	457	461	470	465	479	458	467	480	487	470	470	469	469	467	481	490	460	480	470	469	470,95
Temperatura de container (°C):	409	409	409	411	411	411	412	411	410	410	411	411	412	412	412	410	410	411	412	412	410,8
Velocidad de extrusión (mm/s):	7,4	7,4	8,9	8	7,4	7,4	8,5	7,3	7	6,8	6,3	8,4	8,2	8	7,4	7,5	6,7	8,2	8,1	7,6	7,625
Presión de rompimiento (psi):	2134	2074	2264	2189	2430	2512	2831	2992	2672	2790	3019	2830	3000	2915	2926	2850	2939	2929	2728	2949	2698,6

Elaborado por: Autor

Enfriamiento al ambiente

El método de enfriamiento al ambiente aplicado a este material en el proceso de homogenizado da como resultado un tiempo de 3 horas con 17 minutos llegando a una temperatura de 250°C, y permite la obtención de los datos del área de extrusión que se expresan en la tabla 21:

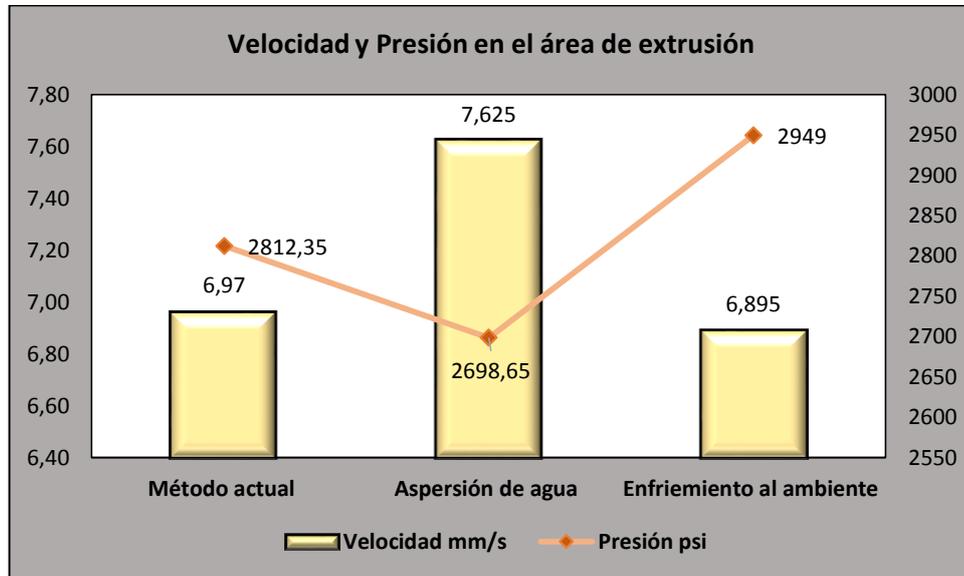
Tabla 21. Seguimiento área de extrusión (Enfriamiento al ambiente)

ENFRIAMIENTO AL AMBIENTE																					
Número de billet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Promedio
Aleación:	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	6063	-
Prensa:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
Longitud de tocho (in):	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	-
Temperatura de precalentamiento de tocho (°C):	449	469	463	474	465	467	464	467	475	472	479	475	471	474	479	465	501	471	470	475	471,25
Temperatura de container (°C):	412	411	411	411	411	411	411	410	410	408	408	408	408	408	410	410	411	411	411	411	410,1
Velocidad de extrusión (mm/s):	6,7	8	6,7	7,9	6,9	7	6,7	6,7	6,6	6,8	6,7	6,7	6,7	6,4	6,6	6,4	7,7	7,3	6,8	6,6	6,895
Presión de rompimiento (psi):	3094	3094	3000	3080	3141	3080	2837	2847	2951	2975	2977	2970	2950	2604	2838	2838	2838	2836	3000	3030	2949

Elaborado por: Autor

Como se observa en la figura 55 indica el comportamiento de la velocidad de extrusión en mm/s y presión utilizada para la extrusión de perfiles, del material estudiado en el área de extrusión:

Figura 56. Relación de velocidad y presión en extrusión.



Fuente: Autor

Análisis: La figura 35 muestra que se tiene una velocidad mayor con el material sometido al método de enfriamiento por aspersión de agua con una velocidad de 7,625 mm/s y con una menor presión de 2698,65 psi, seguido del método actual utilizado por la empresa con la velocidad de 6,97 mm/s acompañada de una presión de 2812,35 psi, y por último se tiene al enfriamiento al ambiente con una velocidad de extrusión de 6,895 mm/s utilizando la mayor presión de 2949 psi. Visualizando que la mejor velocidad obtenida se obtiene cuando el material es sometido a un método de enfriamiento rápido en el proceso de homogenizado, seguido se encuentra el método enfriamiento actual utilizado y por último la velocidad más baja es cuando al aluminio se aplica un método de enfriamiento lento.

Los distintos métodos de enfriamiento que se aplican a billets de aluminio aleación 6063 en el proceso de homogenizado donde se obtiene distintos tiempos, influye en el proceso de extrusión debido a que expresa distintos resultados en el área mencionada, en variables como la velocidad de extrusión y presión de rompimiento, además de los defectos que se pueden observar en perfiles como fisuras, desgarre en perfiles, se muestra en las figuras 57, 58 ,59 y 60:

Figura 57. Leve fisura (Enfriamiento actual CEDAL)



Fuente: Autor

Figura 58. Rasgado (Enfriamiento al ambiente)



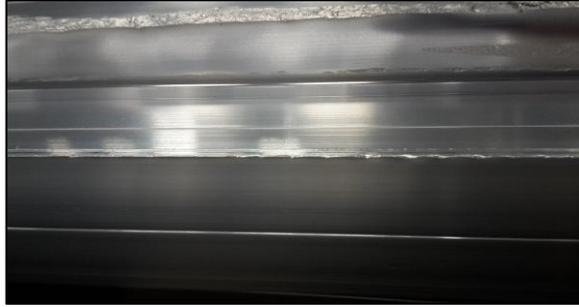
Fuente: Autor

Figura 59. Rasgado (Enfriamiento al ambiente)



Fuente: Autor

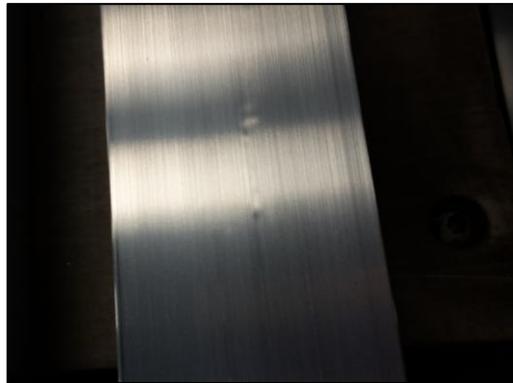
Figura 60. Rasgado (Enfriamiento al ambiente)



Fuente: Autor

Entre los defectos que se encontraron en perfiles en el área de extrusión se pudo observar que existen defectos ajenos al estudio como son burbujas que se debe a incrustaciones de burbujas de aire en tochos, y golpes que se producen al momento de ser cortados los perfiles:

Figura 61. Defecto de burbuja.



Fuente: Autor

Figura 62. Golpes en perfiles.



Fuente: Autor

10.3.3. Petición de información de la productividad en el área de extrusión de la prensa uno.

La información proporcionada en el área de extrusión de la empresa CEDAL S.A. Latacunga, permite observar cual es la producción, productividad y la calidad, que el material estudiado presenta en el área mencionada, permitiendo el análisis con el que se determinó cuál es la mejor opción de enfriamiento en el proceso de homogenizado, como indica la tabla 22:

Tabla 22. Información sobre el área de extrusión de los seguimientos realizados.

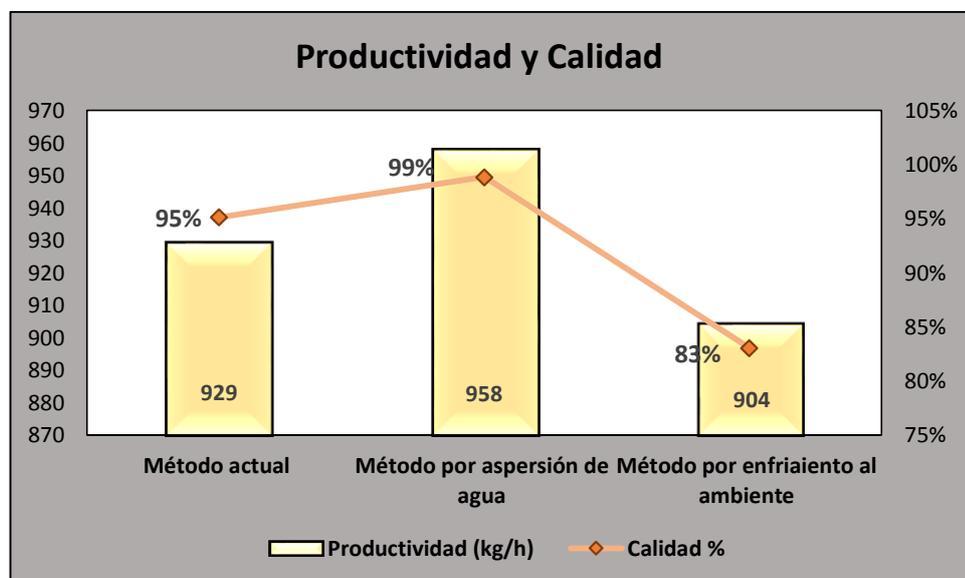
Tipos de enfriamiento	Producción (kg)	Horas – Máquina	Productividad (kg/h)	Rechazo (kg)	Calidad %
Método actual	1359,75	1,39	929,36	66,19	95%
Método por aspersión de agua	1041,00	1,10	957,86	12,00	99%
Método por enfriamiento al ambiente	1381,00	1,27	904,30	234,00	83%

Elaborado por: Autor

Fuente: (CEDAL, 2018)

La figura 63 muestra la productividad y calidad en el área de extrusión del material que fue sometido a los tres métodos de enfriamiento en el proceso de extrusión.

Figura 63. Relación de la productividad y calidad en extrusión.



Fuente: Autor

Análisis: La figura 62 permite visualizar que cuando se aplica el método actual de enfriamiento en el proceso de homogenizado se obtiene un productividad de 929 kg/h con una calidad del 95% en el área de extrusión, el método de enfriamiento por aspersión de agua utilizado en el proceso de homogenizado obtiene una productividad y calidad de 958 kg/h y 99% respectivamente siendo esta la que posee una mejor productividad acompañado de una buena calidad en los perfiles de aluminio, y el último en mencionar es el método de enfriamiento al ambiente que obtiene una productividad de 904 kg/h con una calidad de perfiles del 83%. La calidad obtenida cuando se utiliza el método actual de enfriamiento es alta pero con una productividad menor al material sometido enfriamiento por aspersión de agua, se observa también que la calidad del producto en este caso tiene un incremento, por el contrario del enfriamiento al ambiente que posee una baja productividad al igual que su calidad.

10.3.4. Análisis y planteamiento del método adecuado para la etapa de enfriamiento en el proceso de homogenizado.

El estudio realizado en la empresa CEDAL S.A. permite observar que los distintos métodos de enfriamiento del proceso de homogenizado aplicados a billets de aluminio aleación 6063, presentan un distinto comportamiento del material en el área de extrusión según sea el caso. Lo que permite plantear el método adecuado para la etapa de enfriamiento del proceso de homogenizado en el área de fundición con el fin de mejorar la productividad de perfiles de aluminio aleación 6063, en el área de extrusión.

El estudio realizado refleja que el método de enfriamiento por aspersión de agua aplicado en billets de aluminio aleación 6063 mejora las características del material en el proceso de extrusión aumentando su productividad, disminución de defectos en perfiles extruidos y el incremento de la velocidad de extrusión de billets, además de la mejora en el tamaño de grano y microestructura del material.

Se plantea como mejor opción el método por aspersión de agua en la etapa de enfriamiento en el proceso de homogenizado debido a que presenta las siguientes características de mejora, tanto en el área de fundición como en el área a de extrusión, como muestra la tabla 23.

Tabla 23. Datos de mejora de tiempo ciclo de enfriamiento planteado.

Temperatura	Propuesta
Tiempo a 250°C	1 h 24 min
Productividad en extrusión (kg/h)	958
Calidad %	99%
Rechazos (kg)	12

Elaborado por: Autor

La tabla 23 indica que el método de enfriamiento que se plantea, da como resultados de estudio que con un tiempo de enfriamiento de 1 hora con 24 minutos aplicado en el proceso de homogenizado, proporciona como resultado de una productividad de 958 kg/h, con un peso de rechazos bajo que pertenece a 12 kg, también presenta una alta calidad del producto del 99%

También se puede argumentar que la microestructura y tamaño de grano del material sometido al método propuesto, en el análisis realizado da como resultado que existen menos cantidades de precipitados de Mg₂Si, indicando que el correcto tiempo de enfriamiento proporcionado permite mantener la caracterización obtenida en la segunda etapa del proceso de homogenizado, impidiendo que sufra deformaciones en su microestructura.

Teniendo como resultado que el mejor tiempo de enfriamiento en el proceso de homogenizado es el que se obtiene cuando se aplica el método de *enfriamiento por aspersion de agua*, al igual que el comportamiento del material da los mejores resultados en el área de extrusión se plantea lo siguiente:

El método de aspersion de agua para el enfriamiento de billet de aluminio, es un método muy amplio ya que permite tener diferentes rangos de enfriamiento, dependiendo parámetros como:

- ✓ Temperatura del líquido refrigerante (H₂O)
- ✓ Presión de rociado del líquido refrigerante
- ✓ Número de boquillas colocadas para el rociado

- ✓ Apertura de pulverización de las boquillas

El enfriamiento se realiza por aspersión o pulverización de un medio de enfriamiento líquido, desde una cantidad de boquillas determinadas, dispuestas sobre el coche que transporta el material de aluminio.

El medio de enfriamiento líquido (H₂O), debe ser transportado desde una fuente de almacenamiento (Cisterna), mediante bombeo hacia la estación de enfriamiento a través de una línea de tubería de acero comercial dispuesta para tal efecto.

Para la aplicación de este sistema se deberá realizar inicialmente un estudio de ingeniería, para determinar el volumen necesario de agua que se requiere para el enfriamiento de cada carga de billet de aluminio, dimensionar la capacidad de almacenamiento del tanque o cisterna, realizar mediciones de los trayectos por donde se instalaría la tubería para transporte del fluido, verificar alturas desde el punto de succión hacia el punto de descarga, seleccionar el diámetro adecuado de la tubería para garantizar la presión adecuada en la línea de rociado y escoger la bomba adecuada que satisfaga todas las necesidades antes mencionadas; Sin embargo podemos realizar una estimación de las necesidades de la planta con el fin de obtener un presupuesto referencial.

Conociendo que:

- ✓ El volumen aproximado de carga que se requiere enfriar es de (2,54m x1.9m x6 m)= 28,956 m³
- ✓ El tiempo en el que se requiere enfriar la carga de billet de aluminio es de 84 minutos = 5040 s
- ✓ El caudal necesario para enfriar dicha carga en el tiempo establecido sería de:

Ecuación 3. Caudal para enfriar carga de billets.

$$Q = V / T$$

$$Q = 28,956 \text{ m}^3 / 5040 \text{ s}$$

$$Q = 0,00574523809 \text{ m}^3/\text{s}$$

- ✓ Una vez determinado el caudal necesario procedemos a calcular el diámetro de tubería de descarga a utilizar para lo cual asumimos una velocidad del fluido de 1,5 m/s recomendada y aplicamos:

Ecuación 4. Diámetro de tubería de descarga.

$$Q = (V \times \pi \times D^2) / 4 \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$D^2 = (4 \times 0,00574523809 \text{ m}^3/\text{s}) / (\pi \times 1,5 \text{ m/s})$$

$$D^2 = 0,00487669 \text{ m}^2$$

$$D = 0,06983 \text{ m} = 69,83 \text{ mm}$$

Con el diámetro calculado vamos a tablas y comparamos el valor más cercano al obtenido, para determinar que tubería podemos utilizar, en este caso podríamos utilizar tubería de 2 ½"

- ✓ Cuando se obtiene la tubería de descarga procedemos a calcular la tubería de succión a utilizar, para lo cual de igual manera asumimos una velocidad recomendada de 0,5 m/s y aplicamos;

Ecuación 5. Diámetro de tubería de succión.

$$Q = (V \times \pi \times D^2) / 4 \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$D^2 = (4 \times 0,00574523809 \text{ m}^3/\text{s}) / (\pi \times 0,5 \text{ m/s})$$

$$D = 0,12095 \text{ m} = 120 \text{ mm}$$

De igual manera comparamos en tablas y determinamos que con el valor calculado podemos utilizar una tubería de succión de 4"

- ✓ A continuación procedemos a calcular la bomba que necesitaremos para movilizar el líquido, para lo cual calcularemos su altura aplicando:

Ecuación 6. Altura de la bomba utilizada.

$$H_{\text{BOMBA}} = H_{\text{GEOMETRICA}} + H_{\text{PERDIDAS EN TUBERIA}}$$

Asumimos que la bomba se instala a 4m de la succión y que la descarga se encuentra a 3 m de altura sobre el nivel del piso, por tanto la $H_{\text{GEOMETRICA}} = 7\text{m}$

Para el cálculo de las pérdidas primarias procedemos a encontrar el factor de fricción aplicando:

Ecuación 7. Factor de fricción de pérdidas en la tubería.

$$f = f(\text{Re}, \mathcal{E}/D)$$

$$\text{Re} = \rho \frac{v D_H}{\mu}$$

Re = densidad del agua x (velocidad de descarga x diámetro de la tubería llena) / viscosidad dinámica

$$\text{Re} = (992 \text{ kg} / \text{m}^3) \times ((1,5 \text{ m/s}) \times (0,06983 \text{ m})) / 1008 \times 10^{-6} \text{ kg} / \text{m-s}$$

$$\text{Re} = 103082,38$$

E= Coeficiente de rugosidad absoluta del material del tubo, en este caso acero comercial = 0,0024mm

$$E / D_H = 0,0024 \text{ mm} / 69,83 \text{ mm} = 3,43 \times 10^{-5}$$

Con los datos obtenidos vamos al diagrama de Moody, y encontramos el coeficiente de fricción que es 0,018

✓ Con estos datos podemos obtener:

Pérdidas primarias sabiendo que la longitud total de la tubería a utilizar esta estimada en 30 m

Ecuación 8. Pérdidas primarias en tuberías utilizadas.

$$H_f = \frac{f L v^2}{2gD}$$

$$H_F = (0,018 \times 30 \times 1,5) / (2 \times 9,81 \times 0,06983)$$

$$H_f = 0,6044 \text{ m}$$

Perdidas secundarias asumiendo que en el sistema instalaremos 7 codos y una válvula de globo y una válvula check, para lo cual debemos encontrar en tablas el coeficiente de perdidas K para accesorios.

Por tanto h_f será igual:

Ecuación 9. Pérdidas secundarias en tuberías utilizadas.

$$H_f = \sum K \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = (6,65 + 6,9 + 2,1) \times ((1,5)^2 / (2 \times 9,81))$$

$$h_f = 1,79 \text{ m}$$

Ecuación 10. Pérdidas totales en tuberías utilizadas.

$$H_{\text{PERDIDA DE TUBERIA}} = H_{\text{PRIMARIA}} + H_{\text{SECUNDARIA}} \text{ (Ecuación 12)}$$

$$H_{\text{PERDIDA DE TUBERIA}} = 0,6044 + 1,79 = 2,39 \text{ m}$$

Ahora para encontrar la altura de la bomba aplicamos:

Ecuación 11. Altura para ubicación de la bomba.

$$H_{\text{BOMBA}} = H_{\text{GEOMETRICA}} + H_{\text{PERDIDAS EN TUBERIA}} \text{ (Ecuación 13)}$$

$$H_{\text{BOMBA}} = (7 + 1,79) \text{ m} = 8,79 \text{ m}$$

- ✓ Con los datos obtenidos, podemos calcular la potencia de la bomba que necesitamos, para lo cual aplicamos:

Ecuación 12. Potencia de la bomba a utilizar.

$$P = \frac{H_3 * \rho * g * Q}{n}$$

Para lo cual asumimos que la bomba tendrá un rendimiento n del 70%

$$P = (8,79 \times 992 \times 9,81 \times 0,005745 \text{m}^3) / 70$$

$$P = 702,039 \text{ WATT}$$

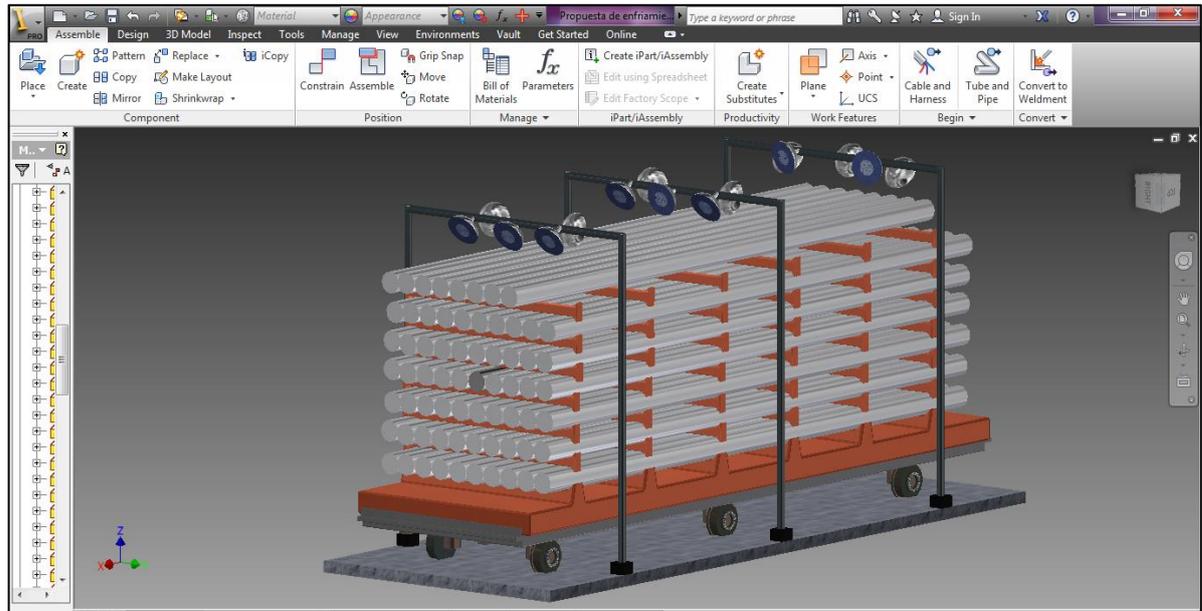
- ✓ De igual manera requerimos conocer cuál es la potencia del motor eléctrico para poner en marcha la bomba, para lo cual asumiremos que tendremos una eficiencia de transmisión mecánica del 90% al tratarse de una bomba nueva, por lo que la potencia requerida en el motor eléctrico será de:

$$P_m = 702,039 / 0,9 = 780 \text{ WATT}$$

Si vamos a las tablas de selección de motores eléctricos podemos encontrar que el valor más cercano a los cálculos obtenidos es una bomba de 10 Hp con motor de 7,5 kw, con la que se cuenta en la empresa.

La figura siguiente muestra un prototipo del sistema por aspersion de agua para enfriamiento de billets de aluminio aleación 6063 que tienen una longitud de 5,79m y 0,18m de diámetro cada uno, en cada ciclo de enfriamiento entran 68 billets con las características antes mencionadas.

Figura 64. Prototipo de un sistema de enfriamiento de billets por aspersión de agua.



Fuente: Autor

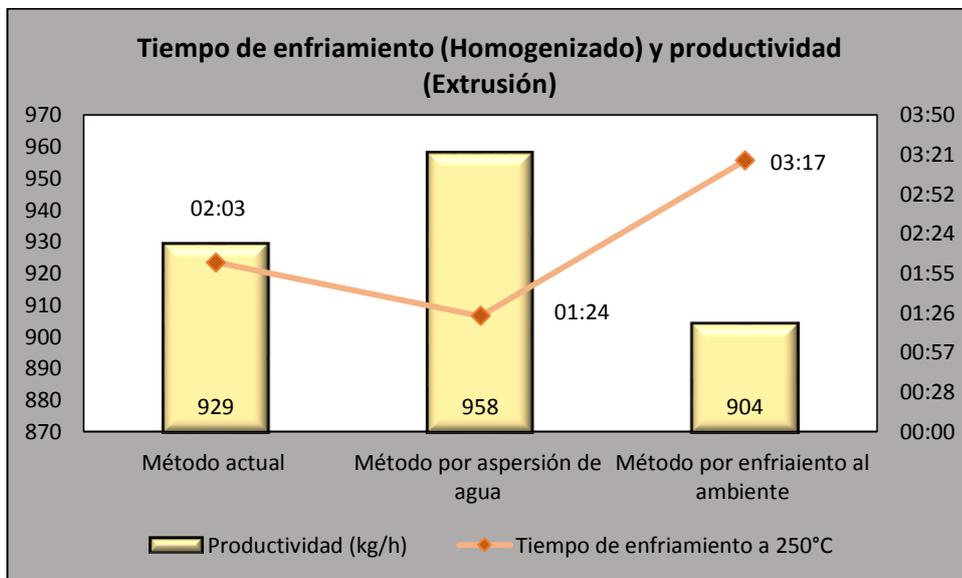
COMPROBACIÓN DE LA HIPOTESIS

El estudio del enfriamiento de billets de aluminio de aleación 6063 en el proceso de homogenizado permite identificar cual es la influencia en la productividad en el área de extrusión en la empresa CEDAL S.A.

Al realizar el estudio de la etapa de enfriamiento del proceso de homogenizado de billets de aluminio aleación 6063 mediante la aplicación de distintos métodos en la etapa mencionada, se puede determinar que mientras se tiene un enfriamiento de billets lento el nivel de productividad disminuye en el área de extrusión debido a que se perjudican las características micro estructurales y tamaño de grano del material estudiado, y cuando se aplica un enfriamiento rápido, aumenta la productividad del área de extrusión manteniendo las características micro estructurales y tamaño de grano que se obtienen en la etapa de homogenización o mantenimiento del proceso.

La productividad en el área de extrusión de la empresa CEDAL S.A. varia depende el tipo y tiempo de enfriamiento que se le proporcione al material en el proceso de homogenizado, variaciones que se muestra en la figura 65.

Figura 65. Tiempo de enfriamiento (Homogenizado) y productividad (Extrusión)



Fuente: Autor

Análisis: la figura 65 indica que el comportamiento de billets de aluminio en el área de extrusión presenta un incremento o decrecimiento en la productividad del área mencionada según el tipo de enfriamiento utilizado en el proceso de homogenizado, como es el caso del material enfriado por el método actual con un tiempo de 2 horas con 3 minutos presenta una productividad en el área de extrusión de 929kg/h, si su tiempo disminuye como cuando se utilizó en método por aspersión de agua a 1 hora con 24 minutos la productividad en el área de extrusión aumenta a 958kg/h, por lo contrario cuando se aplica un enfriamiento lento que es el de enfriamiento al ambiente con un tiempo de 3 horas con 17 minutos disminuye su productividad a 904kg/h.

11. Impactos (Técnicos, sociales, ambientales o económicos)

Técnico

Mejora la productividad en el área de extrusión mediante la utilización de un método adecuado de enfriamiento de billets en el proceso de homogenizado, reduciendo tiempos de producción y fomentando la competitividad de la empresa con un producto de calidad.

Social

El presente proyecto tiene un impacto social debido a que si se mejoran los procesos de producción de perfiles de aluminio mejora la calidad del producto, garantizando que el consumidor se sienta conforme con el producto que distribuye la empresa.

Económico

En lo económico, al aplicar la propuesta se tiene un menor índice de rechazo en el área de extrusión, evitando el reproceso de perfiles con defectos, e impidiendo de esta manera que se incremente el costo de producción de las áreas en cuestión.

12. Presupuestos para la elaboración

Una vez que se ha dimensionado las características del sistema de bombeo para refrigeración por aspersión de agua, pódenos estimar sus costos de ejecución, según la siguiente tabla:

Tabla 24. Recursos para la elaboración del proyecto.

RECURSOS		PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN			
		Cantidad	Unidad	V. Unitario \$	Valor Total \$
Ingeniería	Visita a la planta y medición	1	Unid	\$ 500	\$ 500,00
	Cálculos y selección	1	Unid	\$ 1.000	\$ 1.000,00
Materiales	Perfil en U	9	Unid	72,3	\$ 650,70
	Tubería Acero comercial 2" STD x 6m	5	Unid	57,6	\$ 288,00
	Tubería Acero comercial 4" STD x 6 m	1	Unid	153,6	\$ 153,60
	Codos 90° STD 2"	7	Unid	18,35	\$ 128,45
	U bolt 4"	2	Unid	7,32	\$ 14,64
	U bolt 2 ½"	15	Unid	3,67	\$ 55,05
	Pernos de anclaje 1/2"	2	Unid	3,14	\$ 6,28
	TUBO IMC CON UNIÓN DE 1" X 3MT	3	Unid	28,42	\$ 85,26
	Cable de control multipolar awg 16 flexible de 4 conductores	100	Mts	5,82	\$ 582,00
	Terminales	30	Unid	0,16	\$ 4,80
	borneras de conexión	6	Unid	2,02	\$ 12,12
	Caja de conexión	1	Unid	47,25	\$ 47,25
	Válvula globo 2" clase 150	1	Unid	476	\$ 476,00
	Válvula check 2" clase 150	1	Unid	398	\$ 398,00
	Instalación	Instalación, pruebas, informes	1	Unid	\$ 1.000,00
				Total	\$ 5.402,15

Fuente: Autor.

13. Conclusiones y recomendaciones.

CONCLUSIONES

- ✓ La Evaluación del proceso actual de homogenizado permitió identificar que el ciclo de calentamiento y mantenimiento, son realizados de acuerdo a lo establecido que es llevar la temperatura de los billets a 565,76°C en 9 horas, y un mantenimiento de 2 horas con 43 minutos con una temperatura promedio de 580,5°C y además estas dos etapas cuentan con un sistema de control, al contrario de ciclo de enfriamiento de billets de aluminio no cuenta con un sistema de control de la etapa.
- ✓ La utilización de varios métodos de enfriamiento en el proceso de homogenizado da como resultado distintos tiempos de enfriamiento, siendo el método por aspersion de agua el más rápido con un tiempo de 1 hora con 24 minutos, seguido del método utilizado actualmente con 2 horas con tres minutos, y por último se encuentra método de enfriamiento al ambiente con un tiempo de 3 horas con 17 minutos.
- ✓ La evaluación de la etapa de enfriamiento da como resultado que el tiempo de esta etapa es fundamental en el área de extrusión debido a que lo billets de aleación 6063 al ser sometidos a distintos tiempos de enfriamiento presentan un comportamiento variable al ser extruidos. Mientras más rápido sea el enfriamiento presenta mejores resultados en el área de extrusión, en caso de tener un enfriamiento lento las características de extrusión cambian desfavorablemente. Siendo el enfriamiento más rápido el que presenta una mayor productividad con 958 kg/h, seguido del método actual con 929kg/h, y por último el enfriamiento más lento que presenta una productividad de 904kg/h.
- ✓ Según el estudio realizado se determinó que el ciclo de enfriamiento por aspersion de agua es el que nos entrega un mejor tiempo sin perjudicar las características que se requiere que obtenga el producto final, evitando defectos en perfiles como rasgados y fisuras.

RECOMENDACIONES

- ✓ La empresa debe realizar un control mínimo mensual del ciclo de enfriamiento del proceso de homogenizado, con el fin de conocer cuáles son los parámetros con los que se está trabajando, y verificar si el proceso está funcionando correctamente.

- ✓ Realizar un estudio de ingeniería para implementación de un sistema de enfriamiento por aspersión de agua ya que este método permite la disminución del tiempo de la etapa mencionada mejorando el comportamiento del material en el área de extrusión y por ende mejorar la productividad y calidad del proceso en el área.
- ✓ Realizar un estudio sobre la reutilización del agua para evitar un impacto ambiental.
- ✓ Establecer un formato que permita registrar los datos del ciclo de enfriamiento con el fin de llevar un control de la producción.
- ✓ Almacenar los datos obtenidos en los controles mensuales, con el fin de obtener una base de rendimiento y verificar si el proceso funciona adecuadamente con respecto al tiempo.

14. BIBLIOGRAFÍA

- Avner, S. (2000). Introducción a la Metalurgia Física. México: Calypso, S.A.
- CEDAL. (2018). Productividad área de extrusión . Latacunga.
- CEDAL S.A. . (2018). Estructuras de Homogenizado (Serie 6000) . Latacunga.
- CEDAL, S. (2017). Referencia 2893 del área de extrusión. Latacunga.
- Chandler, H. (2007). Heat Treater's Guide: Practices and Procedures for Nonferrous Alloys. USA: ASM International.
- Chang, R., & College, W. (2002). Química. México, DF.: McGRAW-HILL Companies.
- Echarri, J., & Jodra , S. (2013). Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia. Argentina: E-Book.
- Grupo PECHINEY. (2001). Enciclopedia del aluminio, Vol. 2. España: URMO,S.A. de Ediciones.
- Grupo PECHINEY. (2001). Enciclopedia del Auminio Vol. 3: Laminación Pael de Auminio Etrusión Estirado y Tefilado. España: URMO S.A. de Ediciones.
- Gutiérrez Pulido , H. (2014). Calidad y Producción . México D.F. : McGRAW - HILL/INTERAMERICANA EDITORES.
- Handbook Committee. (2007). ASM Handbook, Vol. 4: Heat Treating. USA: ASM International.
- Handbook Committee. (2007). ASM Handbook, Vol. 9: Metallography and Microstructures. USA: Handbook Editorial.
- Heizer , J., & Render, B. (2009). Principios de Administración de Operaciones . México: Pearson Educación.
- Mantell. (1980). Ingeniería electroquímica. España, Barcelona: Reverté S.A.
- (2017). Manual de Laboratorio CEDAL. Latacunga: CEDAL S.A.
- SENPLADES, S. N. (2017). Plan Nacional para el Buen Vivir 2017 - 2021. Quito - Ecuador: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Senplades.

Totten, G., & MacKenzie, S. (2003). Handbook of Aluminio. Vol. 1: Physical Metallurgy and Processes. USA: Marcel Dekker, INC.

UNESCO. (2015). Nomenclatura para los campos de las ciencias y las tecnologías.

UTC, D. d. (2017). Líneas de Investigación . Latacunga.

LINCOGRAFÍA

Alu-Stock. (2012). El Libro del Aluminio 5, Industria y arquitectura. Obtenido de Alu-Stock: https://issuu.com/alu-stock/docs/el_libro_del_aluminio_5

CEDAL S.A. . (2016). CEDAL. Obtenido de CEDAL Aluminio: <http://www.cedal.com.ec/>

The Aluminium Association. (24 de Enero de 2018). The Aluminium Association. Obtenido de <http://www.aluminum.org/resources/industry-standards/aluminum-alloys-101>

Yamabe-Mitarai, & Hebert. (23 de Febrero de 2012). Alloy Designation, Processing, and Use of AA6XXX. Obtenido de <http://downloads.hindawi.com/archive/2012/165082.pdf>

15. ANEXOS

Anexo 1. Panel de control de temperaturas de aire del proceso de homogenizado.



Fuente: Autor

Anexo 2. Pirómetro para medición de temperaturas de enfriamiento.



Fuente: Autor

Anexo 3. Perforación de billetes para medición de temperatura.



Fuente: Autor

Anexo 4. Análisis de espectrometría de billets con enfriamiento actual.

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A
FO-FN-06 - Resultado de Análisis de Espectrómetro
NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2017



Resultados Químicos

Número de Muestra:	210338	Proveedor:	CEDAL
Cliente:	CEDAL	Hora de chispeo:	22H15
Turno:	TERCERO	Fecha de chispeo:	2018/03/21
Jefe de Turno:	J.C.GOMEZ	Fecha de colada:	2018/03/21
Aleación:	6063	Nombre Colada:	CANAL

Análisis espectrométrico Foundry-MASTER Grado :

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr
1	98,7	0,508	0,210	0,0183	0,0152	0,496	0,0220	0,0064
2	98,7	0,496	0,202	0,0180	0,0157	0,491	0,0220	0,0068
3	98,6	0,519	0,221	0,0188	0,0161	0,507	0,0223	0,0065
Ave	98,6	0,508	0,211	0,0184	0,0157	0,498	0,0221	0,0066
	Ni	Ti	Be	Ca	Li	Pb	Sn	Sr
1	0,0041	0,0169	< 0,0005	0,0004	< 0,0001	< 0,0050	< 0,0050	0,0009
2	0,0040	0,0168	< 0,0005	0,0004	< 0,0001	< 0,0050	0,0066	0,0009
3	0,0045	0,0165	< 0,0005	0,0004	< 0,0001	0,0051	0,0052	0,0010
Ave	0,0042	0,0167	< 0,0005	0,0004	< 0,0001	0,0050	0,0054	0,0009
	V	Na	Bi	Zr	Ga	Cd	Co	Ag
1	0,0111	< 0,0005	< 0,0100	< 0,0050	0,0106	< 0,0010	< 0,0030	0,0014
2	0,0109	< 0,0005	< 0,0100	< 0,0050	0,0107	< 0,0010	< 0,0030	0,0014
3	0,0108	< 0,0005	< 0,0100	< 0,0050	0,0108	< 0,0010	< 0,0030	0,0013
Ave	0,0109	< 0,0005	< 0,0100	< 0,0050	0,0107	< 0,0010	< 0,0030	0,0014
	Hg	In	Sb	Ce	La	Mo		
1	< 0,0050	0,0138	< 0,0500	< 0,0050	< 0,0010	< 0,0020		
2	< 0,0050	0,0131	< 0,0500	< 0,0050	< 0,0010	< 0,0020		
3	< 0,0050	0,0128	< 0,0500	< 0,0050	< 0,0010	< 0,0020		
Ave	< 0,0050	0,0132	< 0,0500	< 0,0050	< 0,0010	< 0,0020		

Fecha
21/3/2018

Jefe de Turno
J.C.GOMEZ

Jefe de Fundición
Ing. H. NAVAS

Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A.
 Avenida Unidad Nacional
 Latacunga, Cotopaxi, Ecuador
 Tel. : 593 32 812610 Fax: 593 32 812620
 Web: www.cedal.com.ec

Fuente: CEDAL S.A.

Anexo 5. Esmeril para pulir probetas.



Fuente: CEDAL S.A.

Anexo 6. Lijadora marca Buehler.



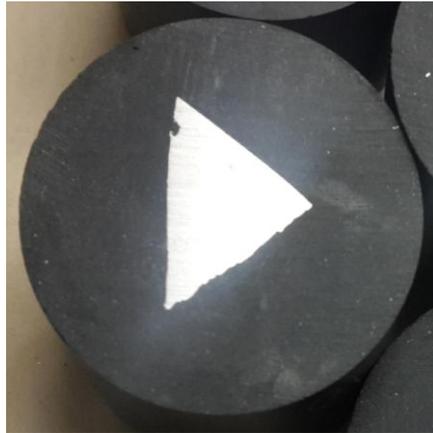
Fuente: CEDAL S.A.

Anexo 7. Pulidora 1 para metalografía.



Fuente: CEDAL S.A.

Anexo 8. Etapa 1, probeta lijada para análisis metalográfico.



Fuente: Autor.

Anexo 9. Etapa 2, probeta con pulida gruesa para análisis metalográfico.



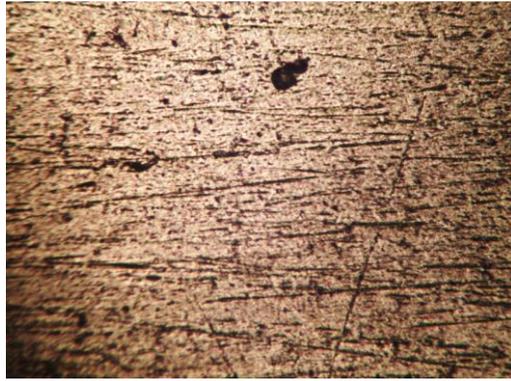
Fuente: Autor.

Anexo 10. Etapa 3, probeta con pulida fina con apariencia de un espejo.



Fuente: Autor.

Anexo 11. Probeta rayada.



Fuente: Autor.

Anexo 12. Probeta quemada con reactivo.



Fuente: Autor.

Anexo 13. Análisis de espectrometría de billets con enfriamiento por aspersión de agua.

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A
FO-FN-06 - Resultado de Análisis de Espectrómetro
NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2017



Resultados Químicos

Número de Muestra: 280237	Proveedor: CEDAL
Cliente: CEDAL	Hora de chispeo: 21H15
Turno: TERCERO	Fecha de chispeo: 2018/02/28
Jefe de Turno: L.PILA	Fecha de colada: 2018/02/28
Aleación: 6063	Nombre Colada: CANAL

Análisis espectrométrico Foundry-MASTER Grado :

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr
1	98,6	0,525	0,242	0,0134	0,0097	0,504	0,0177	0,0036
2	98,6	0,509	0,240	0,0129	0,0097	0,503	0,0177	0,0035
3	98,7	0,496	0,236	0,0121	0,0093	0,493	0,0175	0,0036
Ave	98,6	0,510	0,239	0,0128	0,0095	0,500	0,0176	0,0036
	Ni	Ti	Be	Ca	Li	Pb	Sn	Sr
1	0,0064	0,0172	< 0,0005	0,0037	< 0,0001	< 0,0050	< 0,0050	0,0010
2	0,0068	0,0179	< 0,0005	0,0032	< 0,0001	< 0,0050	< 0,0050	0,0010
3	0,0061	0,0165	< 0,0005	0,0030	< 0,0001	< 0,0050	< 0,0050	0,0010
Ave	0,0064	0,0172	< 0,0005	0,0033	< 0,0001	< 0,0050	< 0,0050	0,0010
	V	Na	Bi	Zr	Ga	Cd	Co	Ag
1	0,0135	< 0,0005	< 0,0100	< 0,0050	0,0094	< 0,0010	< 0,0030	0,0012
2	0,0133	< 0,0005	< 0,0100	< 0,0050	0,0093	< 0,0010	< 0,0030	0,0012
3	0,0131	< 0,0005	< 0,0100	< 0,0050	0,0088	< 0,0010	< 0,0030	0,0012
Ave	0,0133	< 0,0005	< 0,0100	< 0,0050	0,0092	< 0,0010	< 0,0030	0,0012
	Hg	In	Sb	Ce	La	Mo		
1	< 0,0050	0,0167	< 0,0500	< 0,0050	< 0,0010	< 0,0020		
2	< 0,0050	0,0177	< 0,0500	< 0,0050	< 0,0010	< 0,0020		
3	< 0,0050	0,0173	< 0,0500	< 0,0050	< 0,0010	< 0,0020		
Ave	< 0,0050	0,0172	< 0,0500	< 0,0050	< 0,0010	< 0,0020		

Fecha
28/2/2018

Jefe de Turno
L.PILA

Jefe de Fundición
Ing. H. NAVAS

Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A.
Avenida Unidad Nacional
Latacunga, Cotopaxi, Ecuador
Tel : 593 32 812610 Fax: 593 32 812620
Web: www.cedal.com.ec

Fuente: CEDAL S.A.

Anexo 14. Análisis de espectrometría de billets con enfriamiento al ambiente.

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A
FO-FN-06 - Resultado de Análisis de Espectrómetro
NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2017



Resultados Químicos

Número de Muestra: 280236	Proveedor: CEDAL
Cliente: CEDAL	Hora de chispeo: 20H15
Turno: TERCERO	Fecha de chispeo: 2018/02/28
Jefe de Turno: L.PILA	Fecha de colada: 2018/02/28
Aleación: 6063	Nombre Colada: CANAL

Análisis espectrométrico Foundry-MASTER Grado :

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr
1	98,7	0,517	0,206	0,0111	0,0091	0,514	0,0106	0,0045
2	98,7	0,505	0,192	0,0111	0,0089	0,507	0,0110	0,0041
3	98,7	0,514	0,196	0,0109	0,0083	0,502	0,0108	0,0042
Ave	98,7	0,512	0,198	0,0111	0,0088	0,508	0,0108	0,0043
	Ni	Ti	Be	Ca	Li	Pb	Sn	Sr
1	0,0039	0,0140	< 0,0005	0,0052	< 0,0001	< 0,0050	< 0,0050	0,0010
2	0,0031	0,0138	< 0,0005	0,0049	< 0,0001	< 0,0050	< 0,0050	0,0010
3	0,0031	0,0145	< 0,0005	0,0049	< 0,0001	< 0,0050	< 0,0050	0,0010
Ave	0,0034	0,0141	< 0,0005	0,0050	< 0,0001	< 0,0050	< 0,0050	0,0010
	V	Na	Bi	Zr	Ga	Cd	Co	Ag
1	0,0108	0,0006	< 0,0100	< 0,0050	0,0097	< 0,0010	< 0,0030	0,0014
2	0,0103	0,0006	< 0,0100	< 0,0050	0,0096	< 0,0010	< 0,0030	0,0014
3	0,0106	0,0005	< 0,0100	< 0,0050	0,0096	< 0,0010	< 0,0030	0,0014
Ave	0,0106	0,0006	< 0,0100	< 0,0050	0,0096	< 0,0010	< 0,0030	0,0014
	Hg	In	Sb	Ce	La	Mo		
1	< 0,0050	0,0125	< 0,0500	< 0,0050	< 0,0010	< 0,0020		
2	< 0,0050	0,0120	< 0,0500	< 0,0050	< 0,0010	< 0,0020		
3	< 0,0050	0,0121	< 0,0500	< 0,0050	< 0,0010	< 0,0020		
Ave	< 0,0050	0,0122	< 0,0500	< 0,0050	< 0,0010	< 0,0020		

Fecha
28/2/2018

Jefe de Turno
L.PILA

Jefe de Fundición
Ing. H. NAVAS

Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A.
 Avenida Unidad Nacional
 Latacunga, Cotopaxi, Ecuador
 Tel : 593 32 812610 Fax: 593 32 812620
 Web: www.cedal.com.ec

Fuente: CEDAL S.A.

HOJA DE VIDA

Datos Personales.

Nombres y Apellidos:	JACKELINE ESTEFANÍA VARGAS CABEZAS	
Nacionalidad:	Ecuatoriana	
Número de Cédula:	050280048-5	
Lugar y Fecha de Nacimiento:	Latacunga, 21 de Noviembre de 1994	
Edad:	23	
Estado Civil:	Soltera	
Dirección:	Mira Flores	
Teléfono de Contacto:	032802178	
Teléfono Móvil:	0984073009	
E-mail:	estefy_7287@hotmail.com	

Formación Académica.

Estudios Primarios:

Institución Formadora: Escuela Fiscal “Elvira Ortega”

Estudios Secundarios:

Institución Formadora: Instituto Tecnológico “Victoria Vásconez Cuvi”

Titulación: Bachiller en Físico Matemático.

Estudios Superiores:

Institución Formadora: Universidad Técnica de Cotopaxi

Titulación: Estudiante “Ingeniería Industrial”