

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DIRECCION DE POSTGRADO

MAESTRIA EN DISEÑO MECANICO (II COHORTE)

TEMA: “EFECTO DEL TIEMPO EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO EN LA EXTRUBILIDAD DEL ALUMINIO 6063 EN LA EMPRESA CEDAL”

Trabajo de Investigación, Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en
Diseño Mecánico

Autor: Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera.

Director: Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg.

Ambato – Ecuador

2017

**A LA UNIDAD ACADÉMICA DE TITULACIÓN DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación presidido por el Ing. Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes, Mg., e integrado por los señores: Ing. Francisco Agustín Peña, Mg., Ing. Cristian Fabián Pérez Salinas, Mg. e Ing. Diego Fernando Nuñez Nuñez, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “Efecto del tiempo en el proceso de homogenizado en la extrubilidad del aluminio 6063 en la empresa Cedal”, elaborado y presentado por el señor Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera, para optar por el Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing. Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes, Mg.
Presidente del Tribunal

Ing. Francisco Agustín Peña, Mg.
Miembro del Tribunal

Ing. Cristian Fabián Pérez Salinas, Mg.
Miembro del Tribunal

Ing. Diego Fernando Nuñez Nuñez, Mg.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: “Efecto del tiempo en el proceso de homogenizado en la extrubilidad del aluminio 6063 en la empresa Cedal”, le corresponde exclusivamente a: Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera, Autor bajo la Dirección de: Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg., Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera

c.c.: 0502150899

AUTOR

Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg.

c.c.: 0501500771

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera

c.c.: 0502150899

ÍNDICE

PORTADA.....	i
A LA UNIDAD ACADÉMICA DE TITULACIÓN.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	v
AGRADECIMIENTO.....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xiv
EXECUTIVE SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 TEMA:.....	2
1.2 PLANTEAMIENTO.....	2
1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN.....	2
1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO.....	3
1.2.3 PRÓGNOSIS.....	3
1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES.....	3
1.2.6 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	5
CAPÍTULO II.....	6
2 MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 ANTECEDENTES.....	6
2.1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	6
2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.....	15
2.3 FUNDAMENTO TEÓRICO.....	7
2.3.1 EL ALUMINIO.....	7
2.3.2 PROCESO DE FABRICACIÓN POR EXTRUSIÓN.....	8

2.3.3	TRATAMIENTO TÉRMICO EN ALEACIONES DE ALUMINIO: HOMOGENIZADO	10
2.3.4	DIAGRAMA DE FASE Y MICROESTRUCTURA.....	12
2.3.5	APARIENCIA SUPERFICIAL EN LA EXTRUSIÓN	14
2.4	FUNDAMENTACIÓN LEGAL	15
2.5	CATEGORÍAS FUNDAMENTALES	15
2.6	HIPÓTESIS	16
2.7	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES	16
CAPÍTULO III		17
3	METODOLOGÍA	17
3.1	ENFOQUE.....	17
3.1.1	MODALIDAD Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	17
3.2	MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN	17
3.3	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	17
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA	17
3.4.1	POBLACIÓN	17
3.4.2	MUESTRA	18
3.5	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	18
3.5.1	VARIABLE INDEPENDIENTE	18
3.5.2	VARIABLE DEPENDIENTE	19
3.6	RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	20
CAPÍTULO IV		24
4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	24
4.1	RECOLECCIÓN DE DATOS.....	24
4.1.1	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ALEACIÓN.....	24
4.1.2	OBTENCIÓN DE LOS TESTIGOS	24
4.1.3	ENSAYOS DE TENSIÓN	26
4.1.4	ENSAYO DE DUREZA	27
4.1.5	ENSAYO METALOGRAFÍCO.....	28
4.1.6	DEFECTOS DE EXTRUSIÓN	29
4.2	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	31
4.2.1	ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA	31
4.2.2	ANÁLISIS DE OBTENCIÓN DE TESTIGOS	31
4.2.3	ANÁLISIS DE ENSAYOS DE TENSIÓN.....	34

4.2.4	ANÁLISIS DEL ENSAYO DE DUREZA	36
4.2.5	ANÁLISIS METALOGRÁFICO.....	37
4.2.6	ANÁLISIS DE DEFECTOS DE CALIDAD.....	41
4.3	ANÁLISIS GLOBALES DE RESULTADOS	43
4.4	VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	44
4.4.1	COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DE DUREZA, RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y ELONGACIÓN	44
4.4.2	COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DE VELOCIDAD DE EXTRUSIÓN Y DEFECTOS DE CALIDAD.....	48
CAPÍTULO V		52
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
5.1	CONCLUSIONES	52
5.2	RECOMENDACIONES.....	53
CAPÍTULO VI.....		54
6	PROPUESTA	54
6.1	DATOS INFORMATIVOS.....	54
6.2	ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.....	54
6.3	JUSTIFICACIÓN	54
6.4	OBJETIVOS	55
6.4.1	GENERAL	55
6.5	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....	55
6.6	FUNDAMENTACIÓN.....	55
6.6.1	VERIFICACIÓN DE ELEMENTOS ALEANTES DE LA ALEACIÓN 6063 ANTES DEL PROCESO DE HOMOGENIZADO	56
6.6.2	CONTROL DE TEMPERATURA Y TIEMPO EN LOS LINGOTES DURANTE EL PROCESO DE HOMOGENIZADO.....	58
6.6.3	VALIDACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA ALEACIÓN DESPUÉS DEL PROCESO DE HOMOGENIZADO	59
6.6.4	RELACIÓN DE DEFECTOS EN LA EXTRUSIÓN CON LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO	61
6.7	PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.....	61
BIBLIOGRAFÍA		63
ANEXOS.....		66

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1. NOMENCLATURA PARA ALUMINIO DE CONFORMADO	8
TABLA 2.2. RANGOS DE PORCENTAJES DE ELEMENTOS ALEANTES DE LA ALEACIÓN 6063.....	8
TABLA 3.1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE INDEPENDIENTE.....	19
TABLA 3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE DEPENDIENTE	20
TABLA 4.1. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS ESPECTROMÉTRICOS	24
TABLA 4.2. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE TESTIGOS SIN HOMOGENIZAR	25
TABLA 4.3. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE TESTIGOS HOMOGENIZADOS	25
TABLA 4.4. PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO DE TENSIÓN	27
TABLA 4.5. PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO DE DUREZA.....	27
TABLA 4.6. PROCEDIMIENTO PARA ENSAYO METALOGRAFICO.....	29
TABLA 4.7 PROCEDIMIENTO PARA IDENTIFICACIÓN DE DEFECTOS DE CALIDAD	30
TABLA 4.8. VALORES PROMEDIO DE LA ALEACIÓN UTILIZADA PARA LA EXPERIMENTACIÓN	31
TABLA 4.9 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TENSIÓN	35
TABLA 4.10. RESULTADOS DE ENSAYO DE DUREZA.....	37
TABLA 4.11ANÁLISIS CUALITATIVO DEL ENSAYO METALOGRAFICO	38
TABLA 4.12. ANÁLISIS DE DEFECTOS DE CALIDAD EN LA EXTRUSIÓN DEL MATERIAL	41
TABLA 4.13 VELOCIDAD Y PRESIÓN DE EXTRUSIÓN CON LINGOTES HOMOGENIZADOS 4 HORAS	42
TABLA 4.14 VELOCIDAD Y PRESIÓN DE EXTRUSIÓN CON LINGOTES HOMOGENIZADOS 5 HORAS	42
TABLA 4.15 VELOCIDAD Y PRESIÓN DE EXTRUSIÓN CON LINGOTES HOMOGENIZADOS 6 HORAS	43

TABLA 4.16 ANÁLISIS GLOBAL DE RESULTADOS DE LA VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO EN LA EXTRUBILIDAD DE LA ALEACIÓN 6063.....	43
TABLA 4.17. DIFERENCIA DE MEDIAS ENTRE VARIABLES OBTENIDAS SIN HOMOGENEIZAR Y CON 4 HORAS DE HOMOGENEIZADO.....	47
TABLA 4.18. DIFERENCIA DE MEDIAS ENTRE VARIABLES OBTENIDAS SIN HOMOGENEIZADO Y 6 HORAS DE HOMOGENEIZADO	47
TABLA 4.19. DIFERENCIA DE MEDIAS ENTRE VARIABLES OBTENIDAS CON 4 HORAS Y 5 HORAS DE HOMOGENEIZADO.....	48
TABLA 4.20. DIFERENCIA DE MEDIAS EN LA VELOCIDAD DE EXTRUSIÓN OBTENIDAS CON 4 HORAS Y 6 HORAS DE HOMOGENEIZADO.....	49
TABLA 4.21. DIFERENCIA DE PROPORCIONES DE DEFECTOS DE CALIDAD OBTENIDAS CON 4 HORAS Y 6 HORAS DE HOMOGENEIZADO.....	50
TABLA 6.1. RESUMEN DE PROPIEDADES MECÁNICAS 5 HORAS DE HOMOGENIZACIÓN.....	60
TABLA 6.2. TRAZABILIDAD DE DEFECTOS DE EXTRUSIÓN	61

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1. PRENSA DE EXTRUSIÓN MODERNA.....	9
FIGURA 2.2. MATRICES DE EXTRUSIÓN	9
FIGURA 2.3. FASES TÉRMICAS EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN DEL ALUMINIO	10
FIGURA 2.4. A) EFECTO DE LA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO VS. VELOCIDAD DE EXTRUSIÓN; B) EFECTO DE LA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO VS. PRESIÓN DE EXTRUSIÓN	11
FIGURA 2.5. DIAGRAMA DE FASES ESQUEMÁTICO	12
FIGURA 2.6. DIAGRAMA DE FASES AL - MG ₂ SI	13
FIGURA 2.7. DIVERSAS MICRO ESTRUCTURAS DE LA ALEACIÓN 6063: A) MODO DE SOLIDIFICACIÓN CELULAR DENDRÍTICO (MICROSCOPIO ÓPTICO); B) MICRO ESTRUCTURA GENERAL POR SEM MUESTRA FASES INTERMETÁLICAS A LOS BORDES DE GRANO; C Y D) DETALLES DE LA MICROESTRUCTURA	13
FIGURA 2.8. DEFECTOS EN LA EXTRUBILIDAD DE LA ALEACIÓN 6063; A) FILOS CORTANTES; B) RAYAS NEGRAS; C) BURBUJAS.....	14
FIGURA 2.9. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.....	15
FIGURA 3.1. PLAN PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	20
FIGURA 3.2. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	22
FIGURA 3.3. PLAN DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	23
FIGURA 4.1. RECOLECCIÓN DE TESTIGOS PARA LA OBTENCIÓN DE PROBETAS. A) CARGA EN HORNO DE HOMOGENIZADO DE LINGOTES; B) UBICACIÓN DE TERMOCUPLAS PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA INTERNA DEL LINGOTE; C) PERFORACIÓN EN LINGOTE PARA UBICACIÓN DE TERMOCUPLA; D) CONTROL DE TEMPERATURA; E) SIERRA LOMA PARA CORTE DE LINGOTES; F) TESTIGOS PARA LA OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS.	26
FIGURA 4.2. ENSAYO DE TENSIÓN. A) PROBETAS NORMALIZADAS PARA ENSAYOS. B) MEDICIONES PREVIAS PARA EL ENSAYO. C) PROBETA SIENDO ENSAYADA. D) PROBETAS CLASIFICADAS POR TIEMPO DE HOMOGENIZACIÓN. E) MEDICIÓN DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN EN SOFTWARE HORIZONT.	28

FIGURA 4.3. ENSAYO DE DUREZA. A) DURÓMETRO. B) PROBETA SIENDO ENSAYADA CON INDENTADOR REDONDO DE 2.5 MM. C) MICROSCOPIO DE MEDICIÓN.....	28
FIGURA 4.4. ENSAYOS METALOGRAFICOS. A) MÁQUINA PULIDORA; B) LIJADORA; C) MICROSCOPIO METALOGRAFICO; D) PROBETA REVELADA PARA MEDIR TAMAÑO DE GRANO; E) SOFTWARE DE ANÁLISIS METALOGRAFICO PAX IT.	30
FIGURA 4.5. DEFECTOS DE EXTRUSIÓN. A) RAYONES TOCHO NÚMERO 4, 4 HORAS HOMOGENIZADO; B) FISURA TOCHO NÚMERO 11, 5 HORAS HOMOGENIZADO; C) FISURA TOCHO NÚMERO 1, 6 HORAS HOMOGENIZADO; D) FISURA TOCHO NÚMERO 10, 6 HORAS HOMOGENIZADO.....	31
FIGURA 4.6. CONTROL DE TEMPERATURA EN LOS LINGOTES DENTRO DEL HORNO 4 HORAS DE HOMOGENIZADO	32
FIGURA 4.7. CONTROL DE TEMPERATURA EN LOS LINGOTES DENTRO DEL HORNO, 5 HORAS DE HOMOGENIZADO	32
FIGURA 4.8. CONTROL DE TEMPERATURA DEL AMBIENTE DENTRO DEL HORNO, 5 HORAS DE HOMOGENIZADO	33
FIGURA 4.9. CONTROL DE TEMPERATURA EN LOS LINGOTES DENTRO DEL HORNO, 6 HORAS DE HOMOGENIZADO	33
FIGURA 4.10 CONTROL DE TEMPERATURA DEL AMBIENTE DENTRO DEL HORNO, 5 HORAS DE HOMOGENIZADO	34
FIGURA 4.11. ANÁLISIS PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN Y LÍMITE A LA FLUENCIA	34
FIGURA 4.12. ANÁLISIS PROMEDIO DE LA ELONGACIÓN DE LAS PROBETAS	36
FIGURA 4.13. ANÁLISIS PROMEDIO DE DUREZA	36
FIGURA 4.14. TAMAÑO DE GRANO PROMEDIO	39
FIGURA 4.15. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO X 5; A) PROBETA SIN HOMOGENIZACIÓN; B) PROBETA CON 4 HORAS DE HOMOGENIZACIÓN; C) PROBETA CON 5 HORAS DE HOMOGENIZACIÓN.....	39
FIGURA 4.16. ANÁLISIS METALOGRAFICO X 100; A) B) PROBETA SIN HOMOGENIZACIÓN; C) D) PROBETA CON 4 HORAS DE HOMOGENIZACIÓN; E) F) PROBETA CON 5 HORAS DE	

HOMOGENIZACIÓN; G) H) PROBETA CON 6 HORAS DE HOMOGENIZACIÓN.....	40
FIGURA 4.17. VELOCIDAD PROMEDIO DE EXTRUSIÓN.....	41
FIGURA 4.18. PRESIÓN DE ROMPIMIENTO PROMEDIO	42
FIGURA 4.19 CONTRASTE DE HIPÓTESIS DE DOS COLAS	45
FIGURA 6.1. TOMA DE MUESTRAS A) MOLDE TIPO B; B) VERTIENDO METAL FUNDIDO EN BANCO CHILL CAST; C) MUESTRAS DESMONTADAS	57
FIGURA 6.2. REGISTRO ESPECTROMÉTRICO.....	57
FIGURA 6.3. A) ORDENAMIENTO MATRICIAL; B) CURVAS DE CONTROL DE TEMPERATURA	58
FIGURA 6.4. CONTROL DE TEMPERATURA CON 5 HORAS DE HOMOGENIZACIÓN.....	59
FIGURA 6.5. ANÁLISIS METALOGRÁFICO; A) B) METALOGRAFÍA A PROBETAS CON 5 HORAS DE HOMOGENIZACIÓN; C) MEDICIÓN DE TAMAÑO DE GRANO A PROBETAS DE 5 HORAS DE HOMOGENIZACIÓN	60

AGRACEDIMIENTO

En el presente trabajo de tesis me gustaría agradecer a mis padres los cuales han sido los pilares fundamentas en mi vida y en mi formación académica, ellos han sido un ejemplo a seguir, a mi esposa compañera incondicional en mis largas jornadas de trabajo y estudio.

Este trabajo les dedico a mis hijos por los cuales sigo adelante con tanto esfuerzo y dedicación, a mis hermanas por su cariño y consejos.

Expresar mi agradecimiento especial al Ing. Hernán Navas por su apoyo durante tantos años y ser parte de mi formación personal y profesional con sus consejos y ayuda incondicional.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DIRECCIÓN DE
POSGRADO
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)

TEMA:

“EFECTO DEL TIEMPO EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO EN LA EXTRUBILIDAD DEL ALUMINIO 6063 EN LA EMPRESA CEDAL”

AUTOR: *Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera*

DIRECTOR: *Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg.*

FECHA:

RESUMEN EJECUTIVO

La investigación realizada en la empresa CEDAL analiza los cambios en las propiedades mecánicas y microestructurales de la aleación 6063, y los relaciona con los defectos presentes en la extrusión del aluminio en distintos lotes que han sido sometidos a diferentes tiempos de homogenización (4, 5 y 6 horas de sostenimiento a 565°C).

El trabajo compara los valores de resistencias mecánica, elongación, dureza, tamaño de grano y cambios microestructurales entre las probetas antes de ser homogenizado y aquellas probetas que han sido homogenizadas durante 4, 5 y 6 horas. Además dada la trazabilidad es posible identificar los defectos presentes posterior al proceso de extrusión y asociarlos al tiempo de homogenización, de tal manera que al mantener los lingotes de aluminio en el horno de homogenizado durante 5 horas a una temperatura de 565°C representa la opción más adecuada para que la aleación presente las mejores características en el producto final y como materia prima al proceso de extrusión.

Se presenta como propuesta el procedimiento que garantizará la verificación, control y validación de la materia prima, así como para garantizar su trazabilidad y asociarlo a los defectos que se producen en el proceso de extrusión.

Descriptor: Tiempo de homogenizado, aleación 6063, propiedades mecánicas, microestructura, CEDAL, extrusión, defectos.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
CIVIL ENGINEERING AND MECHANICS FACULTY
POSGRADUATE UNIT
MASTER IN MECHANICAL DESIGN (II COHORT)

TOPIC:

“EFFECT OF THE TIME IN THE HOMOGENIZING PROCESS IN THE EXTRUSION OF ALUMINIUM 6063 IN THE CEDAL COMPANY”

AUTHOR: *Eng. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera*

DIRECTOR: *Eng. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg.*

DATE: *9th august, 2017.*

EXECUTIVE SUMMARY

The research carried out in the CEDAL company analyzes the changes in the mechanical and microstructural properties of the 6063 alloy and relates them to the defects present in aluminum extrusion in different batches that have been subjected to different homogenization times (4, 5 and 6 hours of support at 565oC).

The report compares the values of mechanical strength, elongation, hardness, grain size and microstructural changes between the specimens before being homogenized and those specimens that have been homogenized for 4, 5 and 6 hours. In addition, given the traceability, it is possible to identify the defects present after the extrusion process and to associate them with the homogenization time, so that keeping the aluminum ingots in the homogenization oven for 5 hours at a temperature of 565oC represents the most appropriate option so that the alloy presents the best characteristics in the final product and as raw material to the extrusion process.

A proposal is presented as the procedure that will guarantee the verification, control and validation of the raw material, as well as to guarantee its traceability and to associate it with the defects that occur in the extrusion process.

Keywords: Time of homogenizing, alloy 6063, mechanical properties, microstructure, CEDAL, extrusion, defects

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo determina el tiempo óptimo de homogenización al realizar un estudio de la variación de las propiedades mecánicas, microestructura y defectos de extrusión en diferentes tiempos de homogenización de la aleación de aluminio 6063 en la empresa CEDAL en la planta industrial en la ciudad de Latacunga.

La experimentación se realiza a una muestra de población infinita en la cual se considera un nivel de confianza del 80% y un porcentaje de error del 25%. Se establece tiempos de homogenización de 4, 5 y 6 horas de sostenimiento a una temperatura promedio de 565 °C, en la cual se verifica a través de espectrometría los rangos de la composición química de la aleación, se controla la temperatura en el ambiente del horno y se verifica la temperatura en el núcleo de los lingotes tomados como muestra para asegurar que alcance la temperatura de homogenización.

Se realizan pruebas destructivas de tensión y de dureza, se analiza la microestructura y tamaño de grano, además se realiza el seguimiento en el proceso de extrusión a lote del cual se extrae las muestras para la experimentación y se correlacionan las mismas para definir el efecto de tiempo de homogenizado en la extrubilidad del aluminio.

De acuerdo a los resultados, la opción más adecuada para la extrusión de la aleación es en un tiempo de 5 horas de homogenizado a través del sostenimiento a una temperatura promedio de 565 °C, la propuesta permite definir un parámetro inicial para cambiar la variabilidad en el tiempo que se emplea en la actualidad, permitiendo disminuir consumos de combustible por tiempos innecesarios de homogenización.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA

“EFECTO DEL TIEMPO EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO EN LA EXTRUBILIDAD DEL ALUMINIO 6063 EN LA EMPRESA CEDAL”

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

El mercado de la metalmecánica de Aluminio ha tenido en los últimos años un crecimiento importante a nivel productivo y económico en el Ecuador, siendo la empresa CEDAL un actor relevante en este desarrollo al proponer un crecimiento en su producción con una nueva planta industrial en el cantón Durán de la provincia de Guayas. De acuerdo al MIPRO “la incorporación de esta nueva planta industrial, el mercado ecuatoriano se encuentra completamente abastecido para atender sus necesidades de perfilería de Aluminio y la industria dispone de excedentes para la exportación” [1].

El consumo principal de la perfilería como producto final, es el mercado de la construcción, el mismo que exige diversas características en su aplicación como nuevos acabados, mejores diseños que facilite el montaje, colores innovadores, características arquitectónicas y de durabilidad, entre otras. Las oportunidades de mercado han permitido el crecimiento de la empresa CEDAL siendo a la actualidad productor de parte de su propia materia prima secundaria en forma de lingote, la aleación 6063 que abastece al proceso de extrusión.

La aleación al ser un material perdurable, neutro y reciclable, con características físico-mecánicas que agradan al mercado, en su proceso previo a la extrusión debe garantizar que las mismas cumplan los requerimientos exigidos por las normas locales (NTE INEN 2 250:2000; Aluminio. Perfiles, barras, varillas y tubos extruidos. Requisitos e inspección) e internacionales (ASTM B22 M: 96; Standard specification for Aluminium and Alluminium Alloy Extruded Bar. Rods, wire, Profiles, and tubes), por tanto en el proceso se debe garantizar los límites de composición química, características micro estructurales y propiedades mecánicas que contribuyan a garantizar la calidad del producto final.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

La familia de aleaciones de aluminio de la serie AA6XXX tiene como principales elementos aleantes al magnesio y al silicio (Al-Mg-Si), en el proceso de fundición de aluminio se forma siliciuro de magnesio (Mg_2Si), lo cual permite que la serie sea tratada térmicamente hasta alcanzar resistencias medias en condiciones de T6 [2]. De acuerdo a varios autores la aleación 6063 es considerada como “mantequilla en pan” dentro del proceso de extrusión [3], esta aleación tiene como principales características: buena resistencia a la corrosión, buen acabado superficial, formabilidad y mediana resistencia lo cual los convierte en los adecuados para aplicaciones de decoración arquitectónica.

En el proceso de homogenizado la exposición del aluminio de la serie 6XXX a una temperatura constante entre 560 y 600°C durante un rango de tiempo pretende cambiar la microestructura para obtener el fortalecimiento en el aluminio para la extrusión, el Mg_2Si constituye el principal agente de fortalecimiento en la aleación, por tanto, el mismo debe ser distribuido apropiadamente [4].

1.2.3 PRÓGNOSIS

Los defectos en la extrubilidad de la aleación se incrementan al no controlar el tiempo adecuado de tratamiento térmico de homogenizado para que se produzca un cambio en la distribución de los elementos aleantes en la microestructura.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el tiempo de sostenibilidad de la temperatura de homogenización para garantizar la extrubilidad de la aleación 6063 en la empresa CEDAL?

El proceso de mejora continua establece diversas acciones que faciliten medir, controlar, cambiar y mejorar; la extrubilidad de la aleación 6063 depende del tiempo de exposición del lingote de aluminio a la temperatura de homogenización, que permita la distribución apropiada de la microestructura en la fase del Mg_2Si para que obtenga el fortalecimiento requerido para la extrusión.

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

- ¿Qué microestructura y propiedades mecánicas presentan los lingotes de aleación 6063 previo al proceso de homogenizado?

- ¿Qué cambios suceden en la microestructura y propiedades mecánicas en la aleación 6063 al variar el tiempo de homogenizado?
- ¿Qué relación existe entre los defectos que se presentan en el proceso de extrusión y las características microestructurales obtenidas en diferentes tiempos de homogenización?

1.2.6 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.6.1 DELIMITACIÓN DE CONTENIDO

Campo: Procesos de manufactura

Área: Materiales

Aspecto: Tiempo de sostenibilidad de la temperatura de homogenización en la aleación 6063.

1.2.6.2 DELIMITACIÓN ESPACIAL

Esta investigación se realizará en la empresa CEDAL, en la planta de fundición en la ciudad de Latacunga.

1.2.6.3 DELIMITACIÓN TEMPORAL

Este problema será estudiado en el periodo comprendido entre el 01 de marzo y 30 de junio del 2017.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En una planta de extrusión de aluminio, la productividad de las prensas depende de entre otros factores de la seguridad de disponer de lingotes con características aceptables para garantizar una deformación permanente del material con mínimos defectos superficiales (extrubilidad). Los cambios en la microestructura y propiedades mecánicas en la aleación como consecuencia de la variación del tiempo de sostenimiento de los lingotes a la temperatura de homogenización (entre 560 y 600°C) en la que es endurecible por precipitación, tienen directa incidencia en la extrubilidad del material, por tanto la caracterización de la aleación permite determinar su evolución y cambios en las propiedades durante el tratamiento térmico de homogenizado – solubilizado para garantizar las exigencias de calidad para el proceso de extrusión.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el tiempo de homogenización óptimo que permita garantizar la extruibilidad de la aleación 6063 a través del análisis de la variación microestructural y propiedades mecánicas en diferentes tiempos de sostenibilidad a temperatura constante.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar las características micro estructurales y propiedades mecánicas que tienen los lingotes de aluminio previo al proceso de homogenización.
- Comparar las características microestructurales y propiedades mecánicas de la aleación 6063 que se producen en diferentes tiempos de sostenimiento a la temperatura de homogenización.
- Contrastar los defectos de calidad en el proceso de extrusión con las características microestructurales obtenidas en diferentes tiempos de homogenización.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1.1 ANTECEDENTES

El magnesio (Mg) y Silicio (Si) como elementos aleantes fueron utilizados en 1918 con muchos experimentos en Suiza. Actualmente la serie 6XXX es ampliamente utilizada en la extrusión del aluminio existiendo diversas investigaciones que analizan el comportamiento de las características de la aleación entorno a todo el proceso de fabricación del mismo, cuyas conclusiones referencian diversos aspectos relacionados a este trabajo.

La obtención de billet de calidad en Cedal utilizando chatarra de aluminio reciclada, es posible porque la distribución de los aleantes principales tales como Mg y Si a lo largo del billet de aluminio de aleación 6063 homogenizado es buena, a pesar del proceso de colada continua horizontal siendo este para un proceso natural de remelting [5].

Los cambios microestructurales y propiedades mecánicas condicionan la productividad de las prensas y calidad del producto final, el proceso que permita identificar adecuadamente estas variaciones aportan a mejorar las condiciones de proceso. La aleación de aluminio presenta peculiaridades en el proceso de corte, desbaste y pulido por su fácil deformación que deben ser tomadas en cuenta para un resultado óptimo en el reconocimiento de fases [6].

Los tratamientos térmicos cuando alcanzan temperaturas que permiten variar el tamaño de grano, dispersión de elementos aleantes, etc., incide directamente en las propiedades mecánicas de la aleación como se concluye en diversas investigaciones. La dureza máxima después del envejecimiento está estrechamente relacionada con la temperatura con el cual se lleva a cabo este tratamiento, siendo así que esta disminuye aumentando la temperatura pero el tiempo para obtenerla es menor [7]. Relaciona la proporcionalidad entre la densidad de corriente de corrosión y el tiempo de tratamiento de homogenizado las cuales se asocian para el aumento de la fracción volumétrica de la fase alfa, causado por las celdas galvánicas locales en el material [8].

El proceso de homogenización al ser un tratamiento térmico de mucha importancia para garantizar la calidad del billet en la extrusión debe controlar sus principales variables (temperatura y tiempo de sostenimiento), un adecuado tamaño de grano, correcta distribución de fases entre otros factores permitirá que la perfilería de aluminio como producto final sea de gusto del cliente. El control de dispersión térmica en el horno de homogenizado es de vital importancia ya que se puede corregir la distribución de aleantes en el billet [9].

Algunas investigaciones hacen referencia en sus conclusiones a los cambios microestructurales relacionados a las aleaciones 6XXX, mismos que definen variaciones en comparación a su condición inicial. El tamaño de grano se acerca a 1 en la estructura de aluminio en la aleación 6061 T6, se podría suponer que es un resultado no deseado para tener buenas propiedades mecánicas tales como resistencia última a la tracción y límite de cedencia [10]; el tamaño de grano ha variado $\sim 50\mu m$ en la superficie después del tratamiento de homogenizado siendo este más fino en el estado bruto de moldeo [11].

2.1.2 FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1.2.1 EL ALUMINIO

El aluminio debido a sus cualidades en aplicaciones de ingeniería ha sido considerado desde el siglo XIX de gran aporte para el desarrollo en diversas industrias que lo utilizan como producto por su baja densidad y excelente apariencia para los acabados. La característica más sorprendente es su versatilidad. Actualmente existen más de 3000 diferentes tipos de aleaciones, es económico, tiene buenas propiedades físicas, buenas propiedades mecánicas y excelente resistencia a la corrosión en muchos ambientes incluyendo la atmósfera, agua salada, petroquímicos y otros sistemas químicos [12].

De acuerdo al Metals Handbook Volume 2: Propiedades y selección de materiales no ferrosos, “el aluminio tiene una densidad de 2.7 g/cm^3 , aproximadamente un tercio de la del acero, cobre o bronce. Las superficies de aluminio son altamente reflectivas, energía radiante, luz visible, calor radiante y ondas electromagnéticas son eficientemente reflejadas, su no toxicidad que lo hace útil en los recipientes de comidas, bebidas, resistencia a la oxidación, para poder tener cualquier color y textura. El sistema de identificación para las aleaciones de aluminio emplea diferentes nomenclaturas para

definir aquellos que pueden ser conformados, utiliza una nomenclatura de cuatro dígitos para definir a cada una de sus familias [13] como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Nomenclatura para Aluminio de conformado

SERIE	DEFINICIÓN
1xxx	Composición pura, hasta 99% de aluminio
2xxx	Aleación cuyo elemento principal de la aleación es el cobre, además otros elementos, notablemente magnesio, puede ser especificado
3xxx	Aleación en el que el manganeso es el principal elemento aleante
4xxx	Aleación en el que el silicio es el principal elemento aleante
5xxx	Aleación en el que el magnesio es el principal elemento aleante
6xxx	Aleación en el cual el magnesio y el silicio es el principal elemento aleante
7xxx	Aleación el cual el zinc es el principal elemento de la aleación, pero otros elementos como el cobre, magnesio, cromo y circonio puede ser especificado
8xxx	Aleaciones incluyendo estaño y algo de litio caracterizando composiciones misceláneas
9xxx	Reservado para uso futuro

Fuente: ASM Handbook, Volume 2, 1992

La serie AA6XXX para conformado tiene como principales elementos aleantes al magnesio y al silicio (Al-Mg-Si), la aleación puede ser tratado térmicamente [14]. De acuerdo a varios autores la aleación 6063 es considerada como “mantequilla en pan” dentro del proceso de extrusión, que los convierte en adecuada para aplicaciones de decoración arquitectónica. La Tabla 2.2. muestra los límites de composición química de la aleación.

Tabla 2.2. Rangos de porcentajes de elementos aleantes de la aleación 6063

Designación Internacional Registrada			ELEMENTOS ALEANTES							
No	Fecha	Por	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
6063	1954	USA	0.2 - 0.6	0.35	0.1	0.1	0.45 - 0.9	0.1	0.1	0.1
6063 A	1979	UK	0.3 - 0.6	0.15 - 0.35	0.1	0.15	0.6 - 0.9	0.05	0.15	0.1

Fuente: The Aluminium Association, Internacional Alloy and chemical composition limits for wrought aluminium and wrought aluminium alloys, 2015

Las aleaciones de aluminio en especial la serie 6063 cubren la mayor parte de producción mundial, estimándose que alrededor del 90% de los productos extruidos corresponden a esta aleación.

2.1.1.2 PROCESO DE FABRICACIÓN POR EXTRUSIÓN

La extrusión es el proceso en el cual es forzado a pasar el metal sólido en calentamiento a utilizando una prensa hidráulica (como se muestra en la Figura 2.1.) a través de matrices con formas geométricas (como se muestra en la Figura 2.2.). Este proceso permite extruir

formas complejas y configuraciones asimétricas. La precisión de la extrusión muestra excepcionales controles dimensionales y acabado superficial [15].

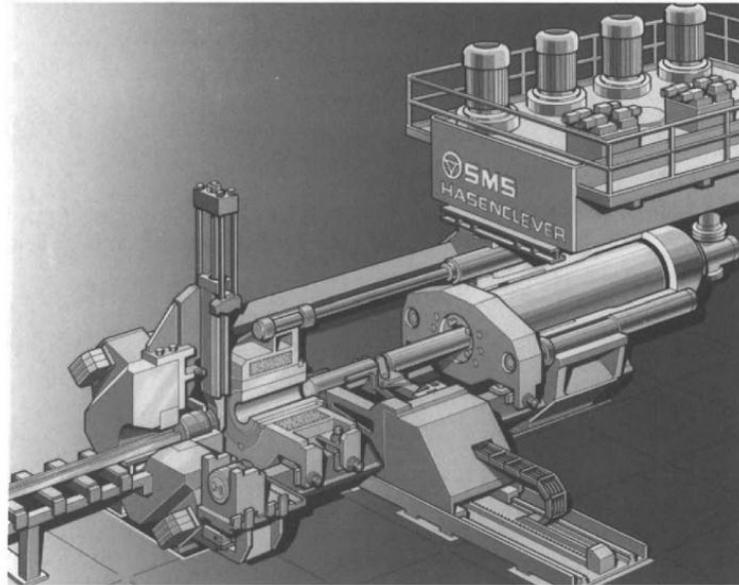


Figura 2.1. Prensa de extrusión moderna
Fuente: Sheppard T., *Extrusion of Aluminium Alloys*, 1999.

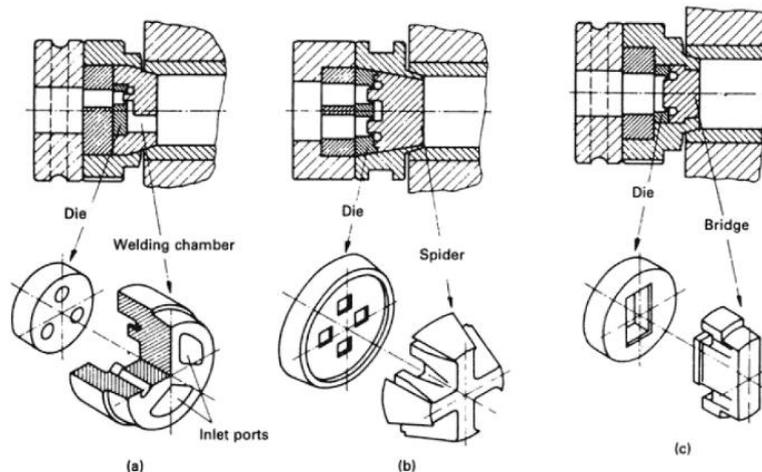


Figura 2.2. Matrices de extrusión
Fuente: Sheppard T., *Extrusion of Aluminium Alloys*, 1999

Todas las variables que intervienen en el proceso de extrusión deben ser controladas para obtener un sistema integral como son: homogenizado, precalentamiento, extrusión, rompimiento y envejecimiento, la Figura 2.3. muestra las fases térmicas en el proceso que son necesarios para posteriores procesos de acabado superficial como el anodizado y recubrimiento con pintura.



Figura 2.3. Fases térmicas en el proceso de extrusión del Aluminio

Fuente: Y. Díaz, *Cambios microestructurales en la aleación 6063 durante el homogenizado*, CIENCIA Y TECNOLOGIA, 1998

Además las características micro estructurales de importancia para el control de las propiedades de las aleaciones de aluminio incluyen: a) la coherencia y distribución de los precipitados; b) el grado de recristalización; c) la forma y tamaño del grano y subgrano; d) la textura cristalográfica; e) tamaño y distribución de partículas intermetálicas incluyendo la dispersión y las fases constituyentes [9].

2.1.3 TRATAMIENTO TÉRMICO EN ALEACIONES DE ALUMINIO: HOMOGENIZADO

Un tratamiento térmico es cualquier operación de enfriamiento o calentamiento que sea desarrollada con el propósito de cambiar las propiedades mecánicas, estructura metalúrgica o el estado de esfuerzos residuales en un producto metálico. En la extrusión del aluminio el tratamiento térmico de homogenizado por enfriamiento directo permite alcanzar en el billet características que garantizan la calidad del producto y conseguir una producción económicamente rentable.

Las aleaciones AA6XXX contienen magnesio y silicio en proporciones necesarias para formar silianuro de magnesio (Mg_2Si), que las convierte en tratables térmicamente. Por tanto en la extrusión de la aleación es necesario asegurar que el magnesio y el silicio estén en solución sólida, para ello en el homogenizado es necesario una temperatura de $465^{\circ}C$ en alrededor de 2 horas [4]. El silicio es un elemento endurecedor, facilita la respuesta de los perfiles extruidos al proceso de envejecimiento artificial y el magnesio disminuye la extruibilidad al incrementar la presión de extrusión independiente del porcentaje de silicio, además incrementa el esfuerzo, disminuye la ductilidad y dureza.

El hierro en la aleación generalmente está presente como impureza, en bajas concentraciones mejora la ductilidad y la dureza, en altos porcentajes es perjudicial para el acabado superficial. El sostenimiento de temperatura en el homogenizado, para este caso es un factor determinante debido a que afecta la extruibilidad y el acabado superficial de la aleación, ya que convierte la fase β (Al, Fe, Si) a una menos perjudicial, la fase α , esta transformación involucra pérdida de Si desde la fase β hacia la fase α haciendo de la aleación un material menos frágil y proveyendo una mayor cantidad de Mg_2Si por precipitación. La transformación de la fase con hierro dura aproximadamente 6 horas a $565^\circ C$ [4], la transformación además en el tiempo produce una gradual esferoidización de la estructura cristalina que es deseable para la extrusión.

Un factor importante en el homogenizado es el enfriamiento posterior, un enfriamiento lento resulta en nucleación y crecimiento de Mg_2Si precipitados en el grano a lo largo del límite y sobre las superficies de las partículas de hierro. Un enfriamiento rápido retiene mayor cantidad de Mg y Si en la solución sólida y produce precipitados uniformemente distribuidos. Por tanto el enfriamiento posterior en el homogenizado afecta la velocidad y presión de extrusión, que entre otros factores determina la productividad de la prensa como se muestra en la Figura 2.4.

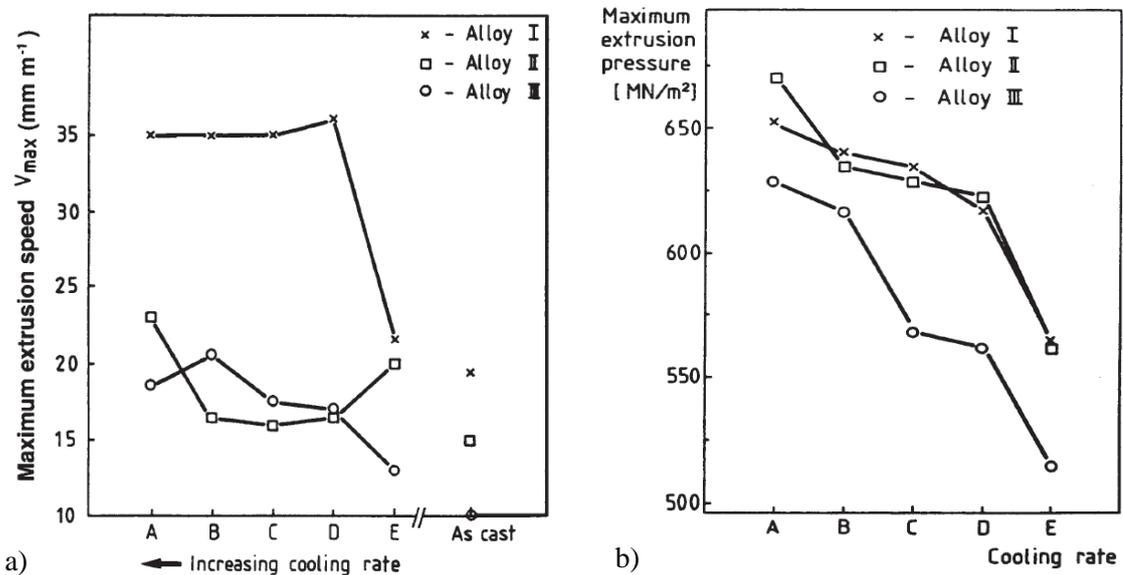


Figura 2.4. a) Efecto de la velocidad de enfriamiento vs. Velocidad de extrusión; b) Efecto de la velocidad de enfriamiento vs. Presión de extrusión
Fuente: Sheppard T., Extrusion of Aluminium Alloys, 1999

2.1.4 DIAGRAMA DE FASE Y MICROESTRUCTURA

El diagrama de equilibrio (se considera condiciones de enfriamiento y calentamiento lentas) es un mapa característico y único para cada aleación, en la cual se describe en función de variables termodinámicas las fases presentes en un material, es decir el diagrama indicará los cambios estructurales debido a la variación de la temperatura y composición, considerando que no existe cambios en la presión. La Figura 2.5 muestra una esquematización del mismo.

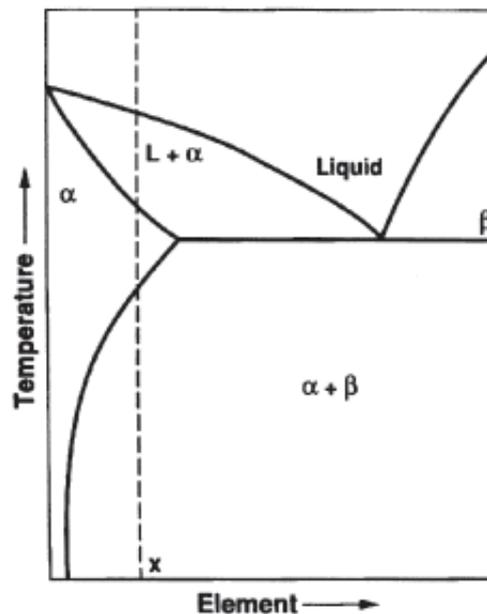


Figura 2.5. Diagrama de fases esquemático
Fuente: Sheppard T., Extrusion of Aluminium Alloys, 1999.

El diagrama de fase característico para la aleación 6063 se muestra en la Figura 2.6, al ser el Mg_2Si el aleante principal en la solución se describe en memorias de investigaciones un sistema cuasi binario.

Todos los materiales constituyen un ordenamiento molecular en estructuras granulares cristalinas durante la solidificación, tomando diversas disposiciones definidas a través de su afinidad metalúrgica entre sus componentes aleantes que lo caracterizan a través de diversos parámetros como son: forma de grano, identificación de fases, tamaño de grano, etc., como se muestra en la Figura 2.7 para la aleación 6063 se evidencian las fases α y β y zonas intermetálicas entre límites de grano. La microestructura de un material define algunas de las propiedades mecánicas de los materiales como la dureza, resistencia a la tensión, acabado, etc.

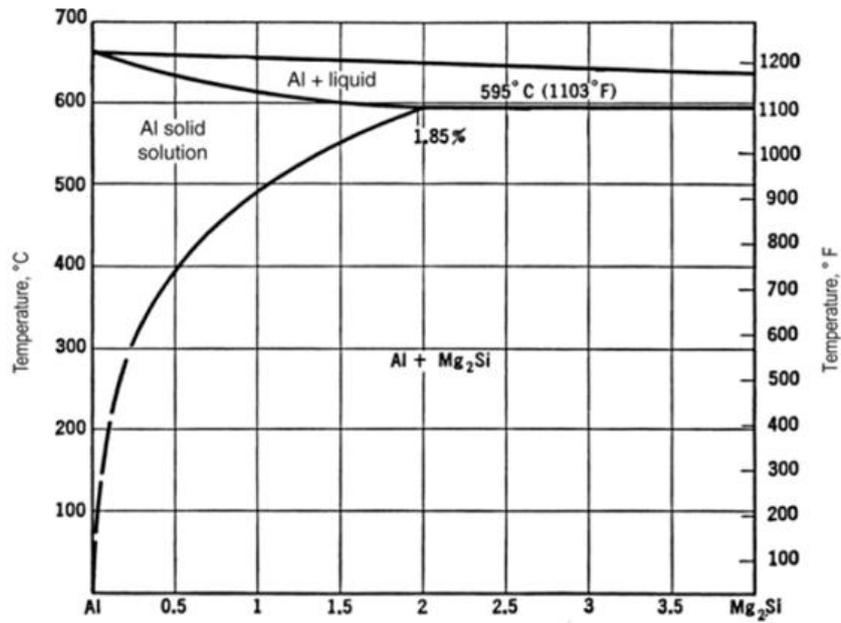


Figura 2.6. Diagrama de fases Al - Mg₂Si
 Fuente: Navas H., Planta de fundición de aluminio CEDAL, 2017.

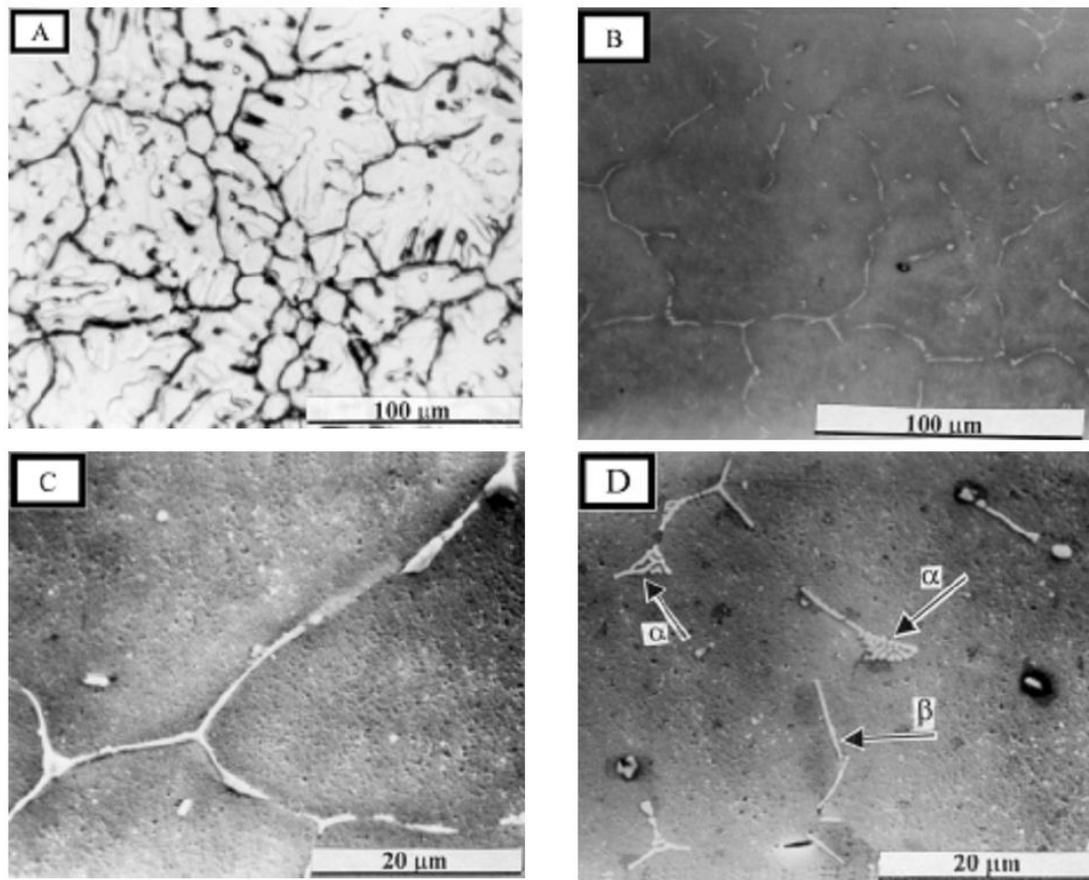


Figura 2.7 Diversas micro estructuras de la aleación 6063: A) Modo de solidificación celular dendrítico (microscopio óptico); B) Micro estructura general por SEM muestra fases intermetálicas a los bordes de grano; C y D) Detalles de la microestructura

Fuente: Rivas P., Effect of the microstructure on the mechanical properties and surface finish of an extruded AA-6063 aluminium alloy, 1999.

Algunas de las características que figuran para considerar a los lingotes antes del proceso de homogenizado como aceptables son: 1) Libre de fisuras internas y porosidad, 2) Capa cortical de un máximo de 3 mm de espesor, 3) Las fases con contenido de hierro deberían estar en un 100% como β -AlFeSi en forma de agujas; no debería estar la fase α -AlFeSi precipitada en forma de escritura china, ni en intermetálicos gruesos, 4) Los tamaños de partícula (dimensión mayor) no deberá exceder los 15 μm [16].

De la misma forma los propósitos del homogeneizado se describen como: 1) Reducción de los gradientes de Mg y Si, 2) Disolución de las partículas de Mg_2Si precipitadas durante la solidificación. 3) Transformación de la fase β -AlFeSi en α -AlFeSi. 4) Fragmentación y esferoidización de la fase α -AlFeSi [16].

2.1.4.1 APARIENCIA SUPERFICIAL EN LA EXTRUSIÓN

La aleación 6063 tiene como característica fundamental el buen acabado superficial como material envejecido, anodizado o de pintura. Sin embargo, características en el material producto de una aleación heterogénea, un proceso de homogenizado mal realizado, un precalentamiento inadecuado previo a la extrusión o defectos causados por los diseños y uso de matricería generan fallas en el terminado superficial de la aleación.

La inspección de calidad superficial posterior a la extrusión generalmente es controlada de manera visual, en la cual se identifica defectos como burbujas, fisuras o grietas longitudinales, exfoliación, filos cortantes, rayas pronunciadas de matriz [17].

Los defectos producto de una aleación no adecuada afectan principalmente la calidad superficial y eficiencia de la prensa, en muchos de los casos siendo probable el rechazo de todo el lote de producción.



Figura 2.8 Defectos en la extrubilidad de la aleación 6063; A) Filos cortantes; B) Rayas negras; C) Burbujas

Fuente: Rivas P., Efectos del tratamiento de homogenizado en la extrubilidad de la aleación AA-6063, 2013.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

A través de la investigación, se han hecho valiosas contribuciones para el desarrollo de la sociedad y para dar respuesta a muchos de los problemas que la aquejan. No obstante, se ha venido identificando situaciones que convierten el problema a estudiar en elementos que más allá de explicar sus causas, cuantificar datos y cumplir sus objetivos, comprende las expresiones de la subjetividad humana, interpretarlas como a una lectura, abordarlas como un texto a leer, para a partir de esa comprensión, intentar gestionar su transformación.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

Existe el compromiso para alcanzar las conclusiones de interés de la empresa, así como de contraparte la industria brindará las facilidades para el desarrollo de las mismas. Además la ejecución del proyecto se encuentra alineada a la línea de investigación: “solucionar problemas existentes en la industria del centro del país buscando aplicación en la vida real que sea el nexo universidad – industria” [18].

2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

Se establecen las siguientes categorías para la investigación:

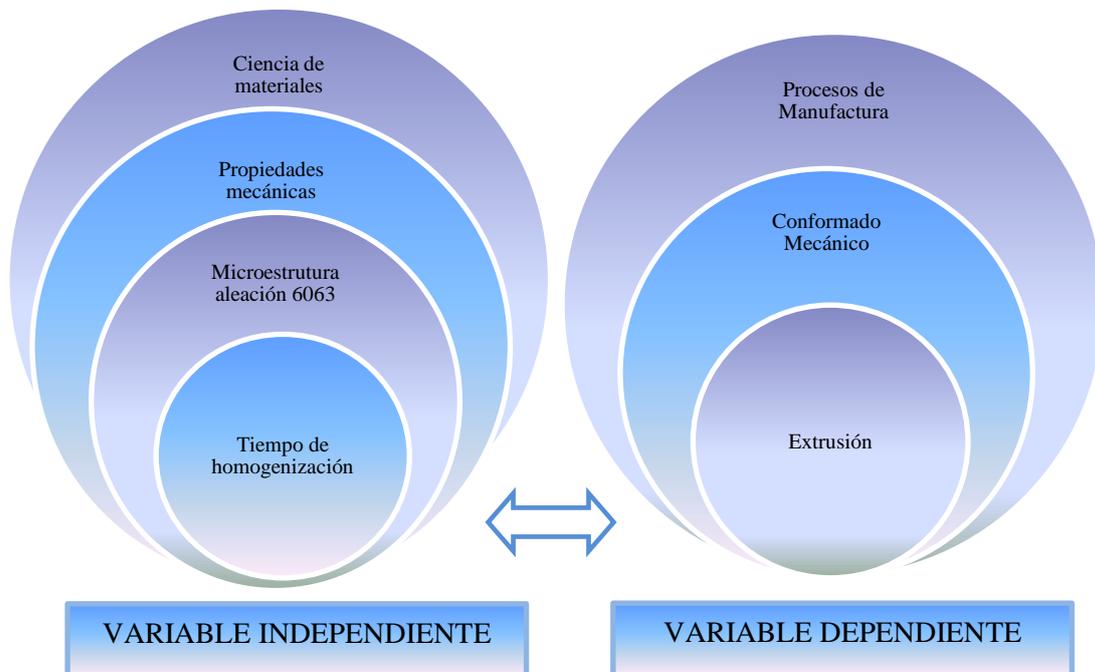


Figura 2.9 Categorías Fundamentales
Fuente: Autor

2.5 HIPÓTESIS

El tiempo de homogenización afecta la extrubilidad de los lingotes de la aleación 6063.

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

Variable independiente: Tiempo de homogenización

Variable dependiente: Extrubilidad de la aleación 6063

Término de relación: Afecta

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

3.1.1 MODALIDAD Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se llevó a cabo en los parámetros científicos de investigación dentro del campo de la Ingeniería Mecánica, se consideró un enfoque cuantitativo para la determinación de las propiedades mecánicas y medición del tiempo de sostenimiento de la temperatura de homogenizado y cualitativas en relación al análisis de transformación microestructural y defectos en la perfilería resultado de la extrusión.

La información necesaria e indispensable para la realización del estudio provino principalmente de fuentes primarias y secundarias, realizando posteriormente el análisis de las mismas. Las fuentes primarias fueron proporcionadas por los técnicos de la empresa CEDAL. Las fuentes secundarias nos proporcionaron información importante, que fue recolectada en fuentes como libros, tesis, documentales, internet, artículos, etc.

En lo referente a los indicadores se manejaron tablas, gráficas de dispersión, entre otros con la finalidad de detallar los resultados obtenidos en el estudio realizado.

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación por la naturaleza de las variables fue de campo, bibliográfica – documental y experimental.

3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue de carácter exploratorio y descriptivo.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 POBLACIÓN

La producción de la planta industrial es continua, la tendencia en los últimos años ha sido incrementar la producción, por tanto se considera una población infinita para el análisis.

3.4.2 MUESTRA

Se calcula la muestra representativa para esta investigación de acuerdo a lo expuesto por Herrera L., Tutoría de la Investigación Científica:

Población: Infinita

Tipo de muestreo: Probabilístico, sistemático.

$$n = \frac{z^2 \cdot p \cdot q}{e^2} \quad \text{Ec. 3.1}$$

Dónde:

n : Tamaño de la muestra

z : Nivel de confiabilidad

p : Porcentaje de aceptación

q : Porcentaje de no aceptación

e : Error muestral admisible

Al desconocer el valor de p y q , se considera el caso más favorable, aquel que necesite el máximo tamaño de muestra lo cual ocurre cuando $p = q = 50$ (0.5), además un nivel de confianza del 80% para lo cual el valor de z es 1.28, y se considera un porcentaje de error del 25%.

$$n = \frac{(1.28)^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5}{(0,25)^2} = 6.5$$

La muestra a considerar será de 7 lingotes por cada carga a homogenizar.

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Variable independiente: tiempo de homogenizado

La definición del tiempo en el proceso de homogenización incide en la transformación de las fases existentes, es decir su cambio microestructural y propiedades mecánicas que caracterizan la materia prima para la extrusión y que inciden en la calidad del producto final.

Tabla 3.1. Operacionalización de variable independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas	Instrumentos	
Tiempo de homogenizado: rango de tiempo a la temperatura de homogenización en la cual se produce cambios microestructurales y propiedades mecánicas en la aleación 6063	1. Tiempo de sostenibilidad a temperatura constante	1. Horas de permanencia en el horno de homogenizado	1. ¿Varían las horas de permanencia de los lotes de producción?	T: Evaluación cuantificable del tiempo y temperatura en el horno de homogenizado	1. Registro de control de tiempo y temperatura de sostenimiento, termocuplas, módulo de registro de temperatura	
	1. Microestructura del material	1. Evolución de fases en el tiempo 2. Tamaño de grano	1. ¿Cambia las características microestructurales en el tiempo?	T: Observación de muestras Espectrómetro ASTM E716 ASTM E1251 Análisis metalográfico ASTM E3	1. Ficha de observación Equipo metaológico, software para análisis metalográfico	
	2. Propiedades mecánicas	1. Resistencia a la tracción	1. ¿Cambian la resistencia a la tracción de acuerdo al tiempo de homogenizado? (MPa) 2. ¿Cambian la dureza de acuerdo al tiempo de homogenizado? (HB)	T: Evaluación cuantificable de la muestra ASTM B557M INEN 2250	1. Reporte de pruebas Máquina para ensayos Universal	
		2. Dureza superficial			T: Evaluación cuantificable de la muestra ASTM E10	2. Registro de pruebas Equipo de medición de dureza Brinell

Fuente: El Autor

3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Variable dependiente: extrubilidad del aluminio

La productividad en una planta de extrusión de aluminio depende de entre otras variables de la calidad de la materia prima, su trazabilidad garantiza que se obtenga un producto sin defectos superficiales en la perfilería, se minimiza los defectos que generalmente son revelados en procesos posteriores como el anodizado y pintura, se reduce los rechazos, etc., incrementado la rentabilidad e indicadores de producción.

Tabla 3.2. Operacionalización de variable dependiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas	Instrumentos
La extruibilidad se conceptualiza como: facilidad de deformación de la aleación 6063 en el proceso de extrusión con el menor número de defectos	1. Defectos de extrusión	1. Manchas negras 2. Rasgado 3. Impurezas	1. ¿Qué defectos se presentan en el proceso de extrusión del 6063?	T: Observación de muestra INEN 2250	1. Ficha de campo

Fuente: El Autor

3.6 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la experimentación se consideró analizar los cambios micro estructurales del material y propiedades mecánicas de una carga en diferentes tiempos (4, 5 y 6 horas de sostenibilidad a una temperatura de 560°C), para lo cual se tomó 3 probetas por cada condición de tiempo de experimentación antes y 7 probetas después del proceso de homogenizado, es decir para cada tiempo de homogenización (4, 5 y 6 horas) se tomará un total de 10 probetas que permitirán analizar las variables planteadas. La elaboración de las probetas fue realizada en un taller externo y las pruebas de dureza, resistencia a la tensión y análisis metalográfico en los laboratorios de la empresa CEDAL. La Figura 3.1 muestra el plan para la recolección de la información.

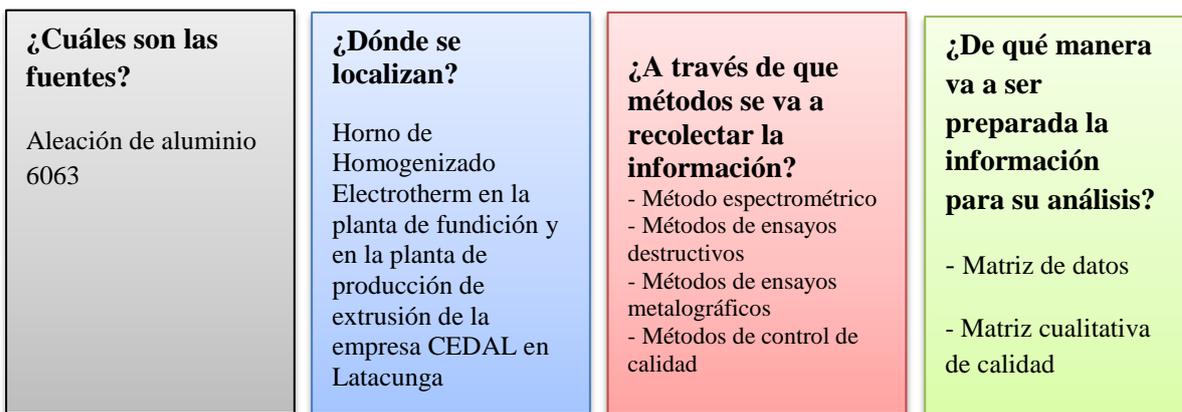


Figura 3.1. Plan para recolección de información

Fuente: Autor

Para el análisis de defectos en el material extruido se consideró un lote de lingotes identificado cada uno en relación al tiempo de experimentación, el mismo que ingresa sin

ninguna particularidad al proceso de producción normal de extrusión. La observación fue realizada en la planta de extrusión de la ciudad de Latacunga.

Para el aseguramiento de la recolección de la información se consideró el siguiente plan:

1. Análisis de la composición química de la aleación 6063 de la fundición del lote al cual se realizó la experimentación según norma ASTM 1251 y ASTM 716.
2. Obtención de los testigos en los lingotes, se procedió de la siguiente manera:
 - a) Lingotes sin homogenizar: se escogió un lingote por cada prueba (4, 5 y 6 horas de homogenización) del cual se extraen tres probetas, dos de los extremos y una de la parte media.
 - b) Lingotes homogenizados: considerando la base inferior izquierda del coque como origen y una configuración matricial de 10 x 7 (columnas x filas) se tomó tres lingotes (5 – 1; 5 – 3; 4 – 7) las mismas que de acuerdo a los especialistas son críticas en relación a la temperatura de operación del horno. Posterior al proceso de homogenizado se obtuvo siete testigos de acuerdo a la disposición dada: dos testigos del lingote con ubicación 5-1 y 5- 3 tomados en los extremos, y tres testigos del lingote con ubicación 4 – 7 tomado dos del extremo y uno del medio.
3. Determinación del ensayo de tracción de acuerdo a ASTM B557M, INEN 2250. La probeta fue obtenida de su sección axial de acuerdo las dimensiones especificadas en la normativa.
4. Determinación del ensayo de dureza de acuerdo a ASTM E10. La probeta fue obtenida de su sección axial.
5. Análisis metalográfico, para el cual se basa de acuerdo a ASTM E3, ASTM E112 ASM Metals Handbook Volume 9: Metallography and microstructure. La probeta se obtuvo de su sección axial.
6. Defectos producidos en la extrusión de la aleación 6063 según control de calidad CEDAL de las muestras a los diferentes tiempos de sostenibilidad.

Además la observación fue la técnica con la cual se tomó nota de todo lo que se consideró necesario para el desarrollo de la investigación, para describir los hechos de significación especial que ayudaron a tener una base informativa suficiente y veraz; se utilizó un cuaderno de notas para describir todo lo observado, fechas, características, cantidades, como medios de recolección de la información, se utilizó equipos como cronómetro y un equipo metalográfico, además se utilizó como instrumento hojas de verificación para dar cumplimiento los procedimientos de control de calidad de la empresa CEDAL.

3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.

3.7.1 PLAN DE PROCESAMIENTO

Fue necesario considerar etapas que permitan desde la síntesis hasta su análisis, que la información tenga un tratamiento que valide los datos obtenidos. En la Figura 3.2 se presenta la propuesta para este trabajo.

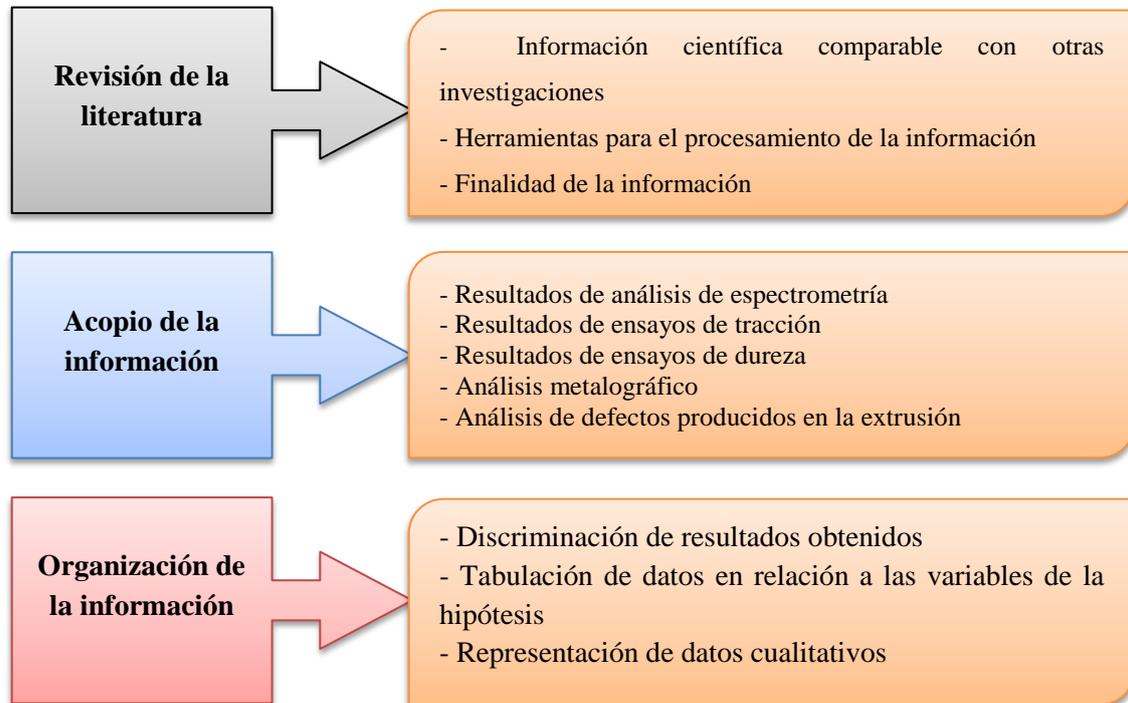


Figura 3.2. Plan de procesamiento de la información
Fuente: El Autor

3.7.2 PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El análisis de la información cuantitativa y cualitativa se resume en tablas que permitieron su representación tabular y gráfica. El análisis de la información y la comparación de los parámetros obtenidos se detallan en representación tabular y gráfica. Se analizó los resultados estadísticos, destacando las tendencias de relación entre los cambios microestructurales y propiedades mecánicas para los rangos de tiempo (4, 5, 6 horas) en el sostenimiento de la temperatura de homogenización con la extrubilidad de las muestras en el proceso. Se establecieron las conclusiones y recomendaciones bajo la correcta interpretación de los resultados, mismas que permitieron verificar la hipótesis. En la Figura 3.3 se presenta la propuesta para este trabajo.

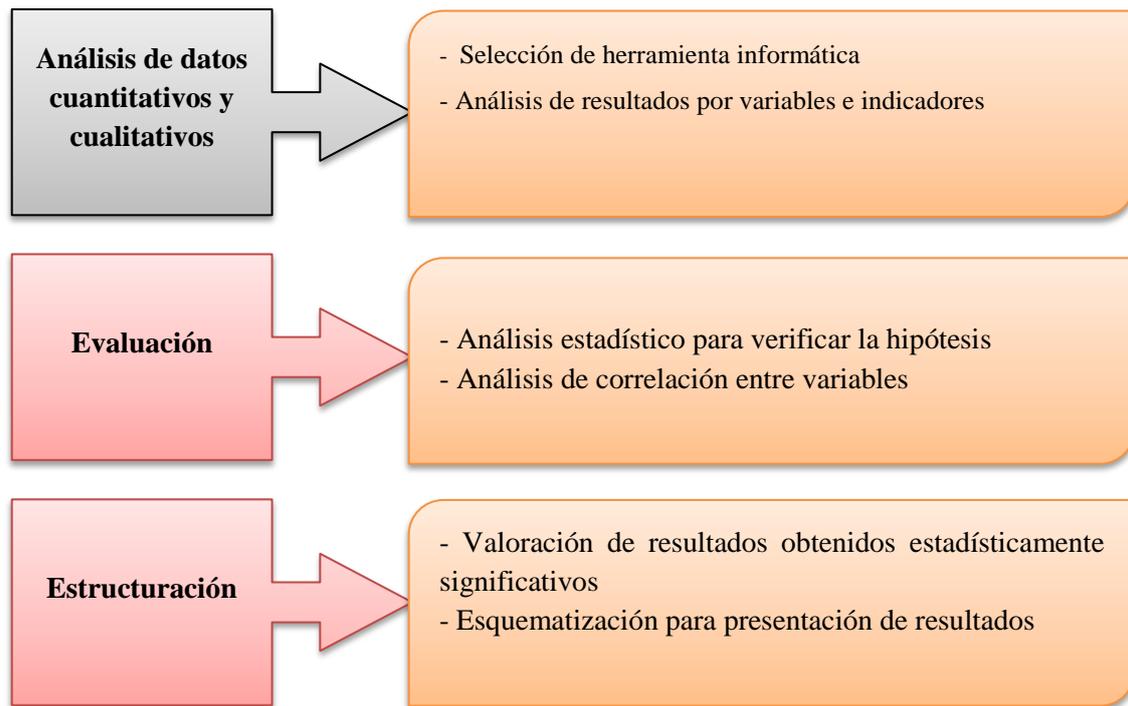


Figura 3.3. Plan de análisis de la información
Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ALEACIÓN

Se determinó la composición química a través del uso de un espectrómetro de la colada por cada lote del que se tomaron las muestras. Esta información permite garantizar que la aleación se encuentra dentro del estándar establecido por la Aluminium Association. En la Tabla 4.1 se presenta el procedimiento aplicado.

Tabla 4.1. Procedimiento para la recolección de datos espectrométricos

Ítem del plan de recolección de información	1. Análisis de la composición química de la aleación
Método	Recolección de muestras en tundish
EPP Obligatorio	Casco, orejeras, protección de vías respiratorias, gafas, zapatos de seguridad, ropa gruesa, guantes y antebrazos de cuero.
Herramientas o equipos	Molde tipo B (ASTM-E716), banco de chill-cast, cuchara
Procedimiento	
1. Tomar la muestra del tundish retirando la capa de superficial de aluminio solidificada y verter en el molde tipo B. 2. Desmontar el molde en el banco de chill-cast. 3. Marcar la muestra e identificar al lote al cual pertenece la muestra. 4. Realizar el chispeo en el espectrómetro e imprimir el registro de la composición. 5. Referir el procedimiento para cada lote con el cual se va a trabajar.	

Fuente: El Autor

4.1.2 OBTENCIÓN DE LOS TESTIGOS

Para la obtención de los testigos se generó una trazabilidad con los números de los lotes a homogenizar, por lo que se estableció un procedimiento que se detalla en la Tabla 4.2. para los testigos sin homogenizar, y un procedimiento que se muestra en la Tabla 4.3. para los testigos posteriores al proceso de homogenizado. En cada caso de acuerdo a la recomendación del Jefe de la Planta de Fundición y sugerencias de los supervisores que tienen pericia en los resultados en el horno de homogenizado se establece las ubicaciones dentro del mismo de los lingotes y las distancias a las cuales se controló la temperatura y obtención de los testigos como se muestra en la Figura 4.1.

Tabla 4.2. Procedimiento para la recolección de testigos sin homogenizar

Ítem del plan de recolección de información	2. a) Obtención de testigos sin homogenizar
Método	Determinación de muestras de lote sin homogenizar
EPP Obligatorio	Casco, orejeras, gafas, zapatos de seguridad, ropa gruesa, guantes.
Herramientas o equipos	Sierra de corte de lingotes de aluminio, montacargas.
Procedimiento	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ubicar un lingote del lote que servirá para la experimentación, considerando que todo el lote será homogenizado en un tiempo de 4 horas. 2. Se traza distancias de 10 pulgadas desde cada extremo del lingote (para la obtención de dos testigos) y desde la mitad de la longitud total del lingote 5 pulgadas a cada lado para la obtención del tercer testigo. 3. Se realiza los cortes en la sierra loma para disponer de los testigos 4. Se repite el procedimiento para los lotes dispuestos a homogenizar en tiempo de 5 y 6 horas. 	

Fuente: Autor

Tabla 4.3. Procedimiento para la recolección de testigos homogenizados

Ítem del plan de recolección de información	2. b) Obtención de testigos homogenizados
Método	Determinación de muestras de lote homogenizado
EPP Obligatorio	Casco, orejeras, gafas, zapatos de seguridad, ropa gruesa, guantes.
Herramientas o equipos	Sierra de corte de lingotes de aluminio, modulo de medición de temperatura, taladro, broca de 8 mm, pasta enmoldante, montacargas, horno de homogenizado Electrotherm.
Procedimiento	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Se carga el carro del horno de homogenizado con el lote dispuesto a permanecer a temperatura constante durante 4 horas. 2. Por sugerencia de la supervisión de la planta de fundición, considerando la base inferior izquierda del coche de homogenizado como referencia se toma bajo configuración matricial tres lingotes (5 - 1, 5 - 3, 4 - 7) los cuales sirven como muestras para la obtención de 7 testigos. 3. Sobre las muestras se realiza perforaciones en el eje axial en los extremos de 5 cm de profundidad. Se inserten las termocuplas para el control de temperatura interna en los lingotes (ubicación de lingote 5 - 1: termocupla T0 y T1; ubicación de lingote 5 - 3: termocupla T2 y T3; ubicación de lingote 4 - 7: termocupla T4 y T5) . 4. Sobre la muestra de ubicación 4 - 7 se divide en tres segmentos iguales a lo largo del lingote, se realiza perforaciones de 5 cm en dirección radial en los segmentos medios para insertar las termocuplas de control de temperatura interna (T6 y T7). 5. Se verifica la operación de las termocuplas de del horno. 6. Se introduce la carga y se programa el horno elevando la temperatura hasta llegar a 565 C y se mantiene a esta temperatura durante 4 horas. 7. Se saca la carga y se enfría a través de ventiladores durante 2 horas. 8. Se traza distancias de 10 pulgadas desde cada extremo del lingote (para la obtención de dos testigos por cada lingote, en total se obtienen 6 testigos) en todos los lingotes que son definidos en la muestra. 9. En el lingote de ubicación 4 -7 se traza desde la mitad de la longitud total del lingote 5 pulgadas a cada lado para la obtención del séptimo testigo. 10. Se realiza los cortes en la sierra loma para disponer de los testigos 11. Se repite el procedimiento para los lotes dispuestos a homogenizar en tiempo de 5 y 6 horas. 	

Fuente: El Autor

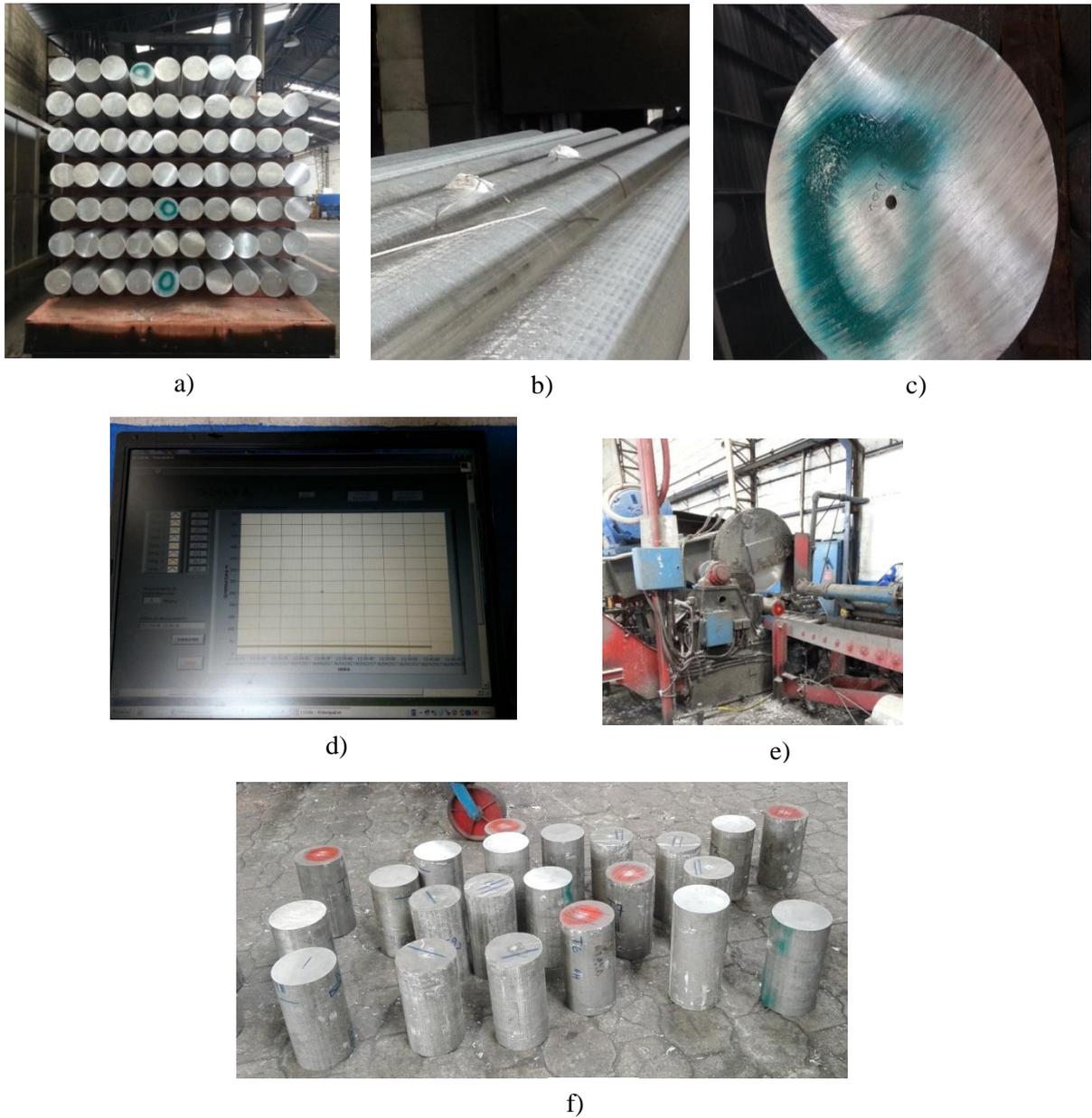


Figura 4.1. Recolección de testigos para la obtención de probetas. a) Carga en horno de homogenizado de lingotes; b) Ubicación de termocuplas para el control de temperatura interna del lingote; c) Perforación en lingote para ubicación de termocupla; d) Control de temperatura; e) Sierra loma para corte de lingotes; f) Testigos para la obtención de las probetas.

Fuente: El Autor

4.1.3 ENSAYOS DE TENSIÓN

Para el ensayo de tensión fue necesaria la elaboración de las probetas que se obtienen de los testigos, se procedió a su mecanizado y posterior a su ensayo en la máquina de ensayos universal como se muestra en la Figura 4.2. El procedimiento realizado se detalla en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Procedimiento para el ensayo de tensión

Ítem del plan de recolección de información	3. Ensayo de tensión
Método	De acuerdo a ASTM B557M, INEN 2250
EPP Obligatorio	Calzado de seguridad, protección visual
Herramientas o equipos	Máquina Universal de Ensayos destructivos, calibrador, micrómetro, probeta normalizada, computadora.
Procedimiento	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Elaboración de la probeta según norma ASTM B557M, la misma se la dimensiona tomando como referencia su eje axial, es decir es fabricada con el núcleo del testigo. 2. Se debe marcar en cada extremo de sujeción de la probeta una distancia de 5 cm para el agarre de las mordazas, además se marca la probeta en la mitad de la longitud total y se marca a 5 cm a cada lado quedando una distancia de 10 cm que será la probable zona de ruptura. 3. Medir de acuerdo a la norma los valores del espesor (utilizando en micrómetro) y ancho de la probeta (utilizando el calibrador) en tres ubicaciones diferentes y determinar el promedio para cada probeta. 3. Se asegura la probeta en cada extremo de las mordazas de la maquina de ensayos universal. 4. Se coloca el extensómetro en la parte media de la probeta e ingresar los valores requeridos por el sistema para el calculo de la curva esfuerzo deformación. 5. Iniciar la aplicación, retirar el extensómetro cuando la maquina lo indique y esperar hasta que el equipo rompa la probeta. 6. Medir con el calibrador la longitud final 7. Registrar los datos y grabarlos en el sistema. 	

Fuente: El Autor

4.1.4 ENSAYO DE DUREZA

Para el ensayo de dureza las probetas fueron tomadas del núcleo del lingote y los resultados obtenidos en los equipos que se muestran en la Figura 4.3. El procedimiento realizado se detalla en la Tabla 4.5. Las probetas testeadas fueron pulidas antes de cada indentación.

Tabla 4.5. Procedimiento para el ensayo de dureza

Ítem del plan de recolección de información	4. Ensayo de dureza
Método	De acuerdo a ASTM E10
EPP Obligatorio	Calzado de seguridad, protección visual
Herramientas o equipos	Durómetro, microscopio de medición, penetrador de bola
Procedimiento	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Encerar y calibrar el durómetro con el indentador de 2,5 mm y en una fuerza de 613 N 2. Ubicar la probeta en la base del durómetro acercando el indentador a la probeta, soltar la carga durante 10 a 15 segundos y luego liberarla. 3. Utilizando el microscopio de medición determinar el diámetro de la huella dejada. 4. Determinar el promedio e identificar el valor de dureza equivalente mediante la tabla de conversión del equipo. 	

Fuente: El Autor



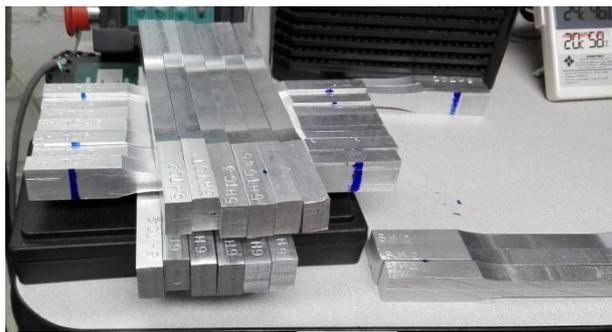
a)



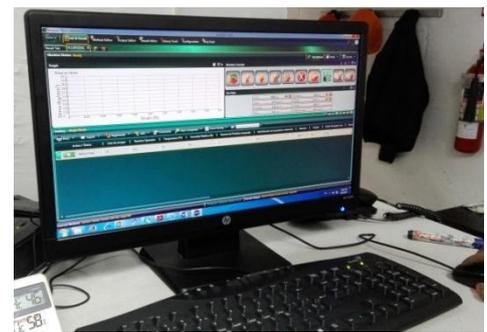
b)



c)



d)



e)

Figura 4.2. Ensayo de tensión. a) Probetas normalizadas para ensayos. b) Mediciones previas para el ensayo. c) Probeta siendo ensayada. d) Probetas clasificadas por tiempo de homogenización. e) Medición de resistencia a la tensión en software horizont.

Fuente: El Autor



a)



b)



c)

Figura 4.3. Ensayo de dureza. a) Durómetro. b) Probeta siendo ensayada con indentador redondo de 2.5 mm. c) Microscopio de medición.

Fuente: El Autor

4.1.5 ENSAYO METALOGRAFICO

En el ensayo metalográfico se determinó con el uso del microscopio y un primer procedimiento de revelado las características de fase de la aleación en la muestra, y utilizando un procedimiento similar (varía en la aplicación del compuesto químico para el

revelado) se determinó el tamaño de grano promedio en la aleación como se muestra en la Figura 4.4. Se realizó el procedimiento de acuerdo a lo descrito en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Procedimiento para ensayo metalográfico

Ítem del plan de recolección de información	5. Ensayo metalográfico
Método	De acuerdo a ASTM E3, ASTM E112
EPP Obligatorio	Calzado de seguridad, ropa Nylon, protección visual, protección respiratoria
Herramientas o equipos	Máquina de compresión de polímeros, equipo soporte para lijas, equipo rotativo de pulido por abrasión, reactivos poulton, acido fluorhídrico, Keller, microscopio, computador.
Procedimiento	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Obtener la probeta en la cual se realizará el ensayo, la misma que debe ser manipulable de haber la posibilidad. En el caso de ser una muestra pequeña es necesario insertarla en una matriz polimérica con el fin que sea manipulable. 2. Realizar un desbaste en el equipo de lijas con el fin de obtener una superficie lisa. Utilizar lijas 200, 400 y 600, cuando la superficie muestre una alta calidad pulirla en la maquina rotativa de paño utilizando alúmina hasta que dispongamos una superficie tipo espejo. 3. Para el revelado de microestructura, exponer a la probeta durante 10 segundos al reactivo keller (190 ml agua destilada, 5 ml de ácido nítrico, 3 ml de acido clorhídrico, 2 ml de acido fluorhídrico), enjaguar con agua y secar. Para el revelado de grano, exponer la probeta durante 25 segundos a acido fluorhídrico, posterior 15 segundos al reactivo flick (agua destilada 90 ml, ácido clorhídrico 15 ml, ácido fluorhídrico (40%) 10 ml), enjaguar con agua y limpiar con alcohol y secar. 4. Introducir la probeta al microscopio metalográfico, ajustar el lente si zoom requerido y buscar la mejor zona de definición característica del material. 5. Grabar la imagen en el computador. 6. En el caso del tamaño del grano, utilizar el programa específico para la medición promedio de tamaño de grano. 	

Fuente: El Autor

4.1.6 DEFECTOS DE EXTRUSIÓN

La valoración cualitativa de defectos en extrusión se la realizó de acuerdo a los criterios de calidad de la empresa, centrándose específicamente a aquellos que tienen relación a filos cortantes, rayas negras, burbujas y otros como se muestra en la Figura 4.5. Se tomó como referencia de matricería el requerimiento de producción para el uso de la prensa y se ingresó al proceso 75 tochos para la observación, 25 por cada espacio de tiempo de homogenizado (4, 5 y 6 horas) de acuerdo al procedimiento establecido en la Tabla 4.7. La determinación de los defectos fue constatado conjuntamente de manera visual con el operador de la estiradora quien es la persona capacitada y responsable de ubicarlos posterior a su corte y ubicación en los coches.

Tabla 4.7 Procedimiento para identificación de defectos de calidad

Ítem del plan de recolección de información	5. Defectos de calidad en proceso de extrusión
Método	De acuerdo a inspección visual
EPP Obligatorio	Calzado de seguridad, ropa gruesa, protección visual, protección respiratoria, protección auditiva, casco, guantes de cuero
Herramientas o equipos	Prensa de extrusión
Procedimiento	
<p>1. Verificar el lote de producción al que corresponde la extrusión del perfil (lote 050422, 4 horas de homogenizado; lote 060421, 5 horas de homogenizado; lote 070435, 6 horas de homogenizado), determinar la matriz a utilizar.</p> <p>2. Realizar la inspección de calidad de los perfiles posterior al proceso de extrusión, antes de su carga a los coches para transporte hacia el horno de envejecimiento.</p>	

Fuente: El Autor



a)



b)



c)



d)



e)

Figura 4.4. Ensayos metalográficos. a) Máquina pulidora; b) Lijadora; c) Microscopio metalográfico; d) Probeta revelada para medir tamaño de grano; e) Software de análisis metalográfico Pax it.

Fuente: El Autor

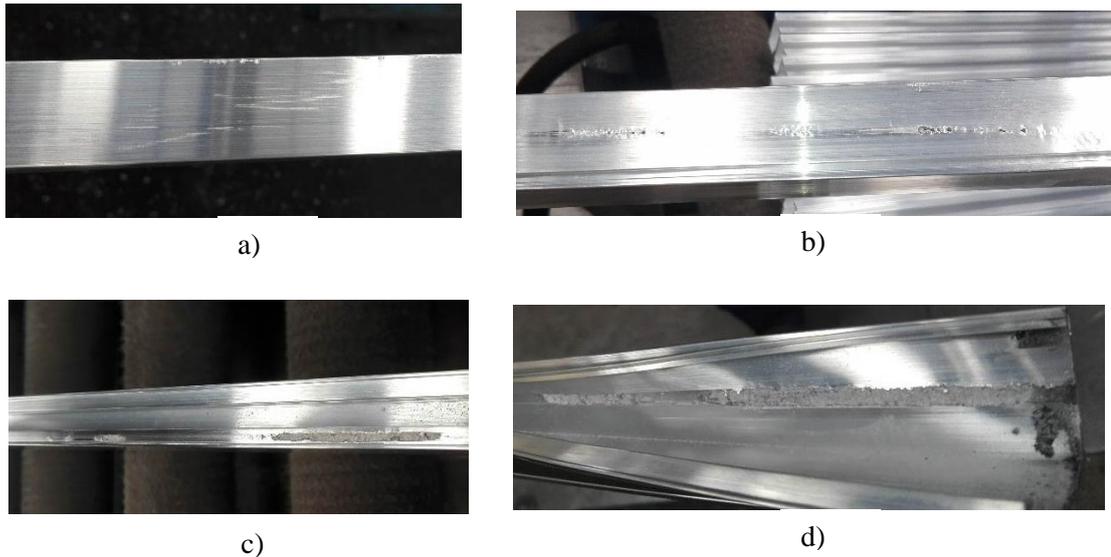


Figura 4.5. Defectos de extrusión. a) Rayones tocho número 4, 4 horas homogenizado; b) Fisura tocho número 11, 5 horas homogenizado; c) Fisura tocho número 1, 6 horas homogenizado; d) Fisura tocho número 10, 6 horas homogenizado.

Fuente: El Autor

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.2.1 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

El análisis que se muestra en la Tabla 4.8. indica que la aleación se encuentra dentro de lo establecido Asociación Internacional de Aluminio, con niveles de silicio, manganeso y hierro dentro de los parámetros establecidos.

Tabla 4.8. Valores promedio de la aleación utilizada para la experimentación

Lote	ELEMENTOS ALEANTES									
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ni	Ti
050422	96,6	0,491	0,211	0,1	0,0123	0,504	0,0241	0,004	0,0037	0,0098
060421	98,5	0,494	0,237	0,101	0,0130	0,499	0,0260	0	0,0093	0,063
070525	98,6	0,505	0,208	0,104	0,0125	0,487	0,0232	0	0,045	0,0064
		0,20-0,60	0,35	0,1	0,15	0,6 - 0,9	0,15	0,1	0	0,10
Límites de composición química de la aleación 6063 según la Asociación Internacional de Aluminio										

Fuente: El Autor

4.2.2 ANÁLISIS DE OBTENCIÓN DE TESTIGOS

La determinación de la temperatura de acuerdo a lo establecido en el procedimiento muestra que los mismos alcanzan la temperatura promedio de 565° C por el tiempo requerido en la experimentación.

MEDICIÓN DE TEMPERATURA LINGOTES 4 HORAS DE HOMOGENIZACIÓN

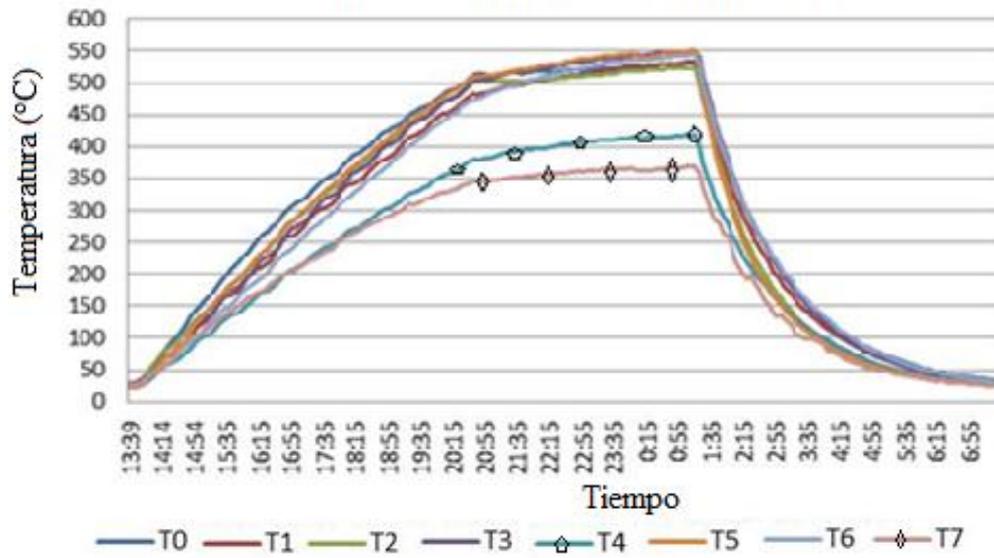


Figura 4.6. Control de temperatura en los lingotes dentro del horno 4 horas de homogenizado
Fuente: El Autor

El control de temperatura en el ambiente del horno para el proceso de 4 horas sufrió un daño al momento de la experimentación, por tanto, el registro para este intervalo no se presenta en el trabajo.

MEDICIÓN DE TEMPERATURA LINGOTES 5 HORAS DE HOMOGENIZACIÓN

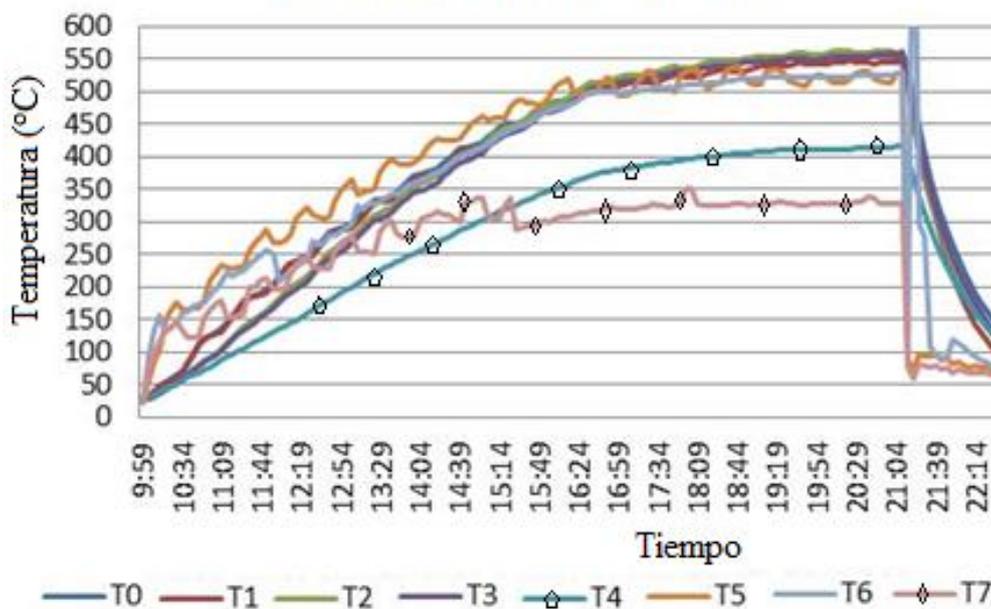


Figura 4.7. Control de temperatura en los lingotes dentro del horno, 5 horas de homogenizado
Fuente: El Autor

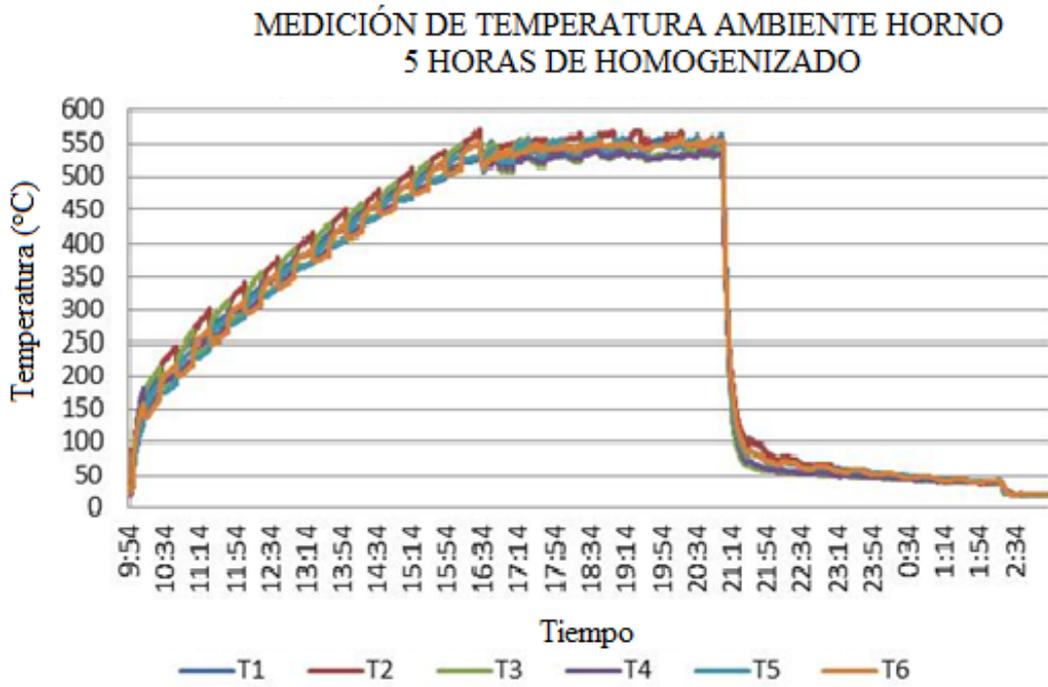


Figura 4.8. Control de temperatura del ambiente dentro del horno, 5 horas de homogenizado
Fuente: El Autor

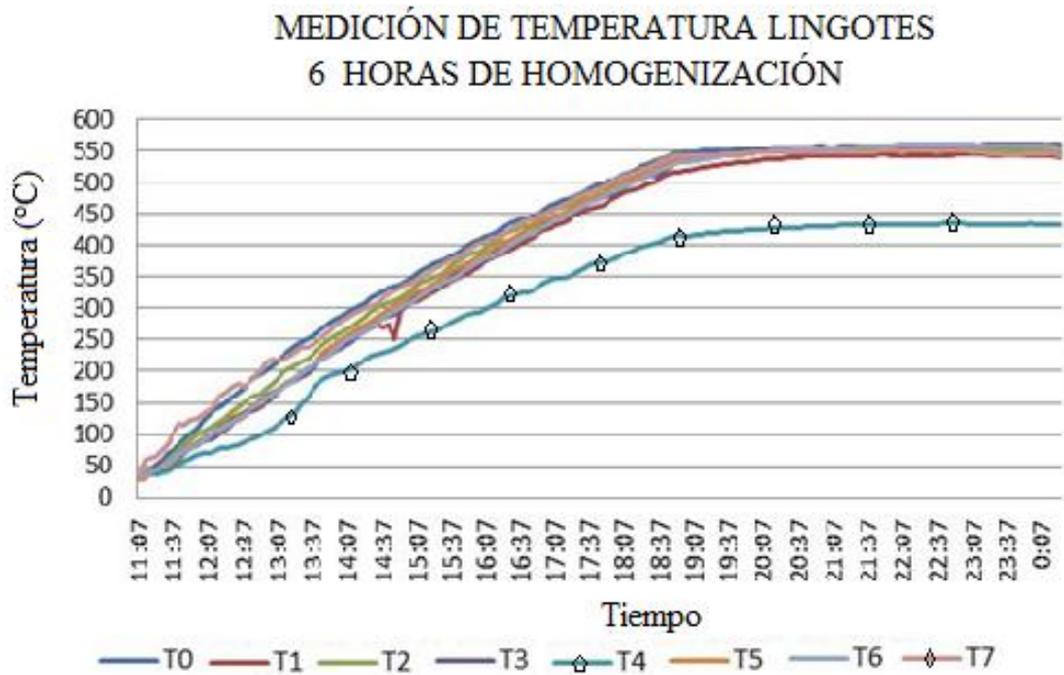


Figura 4.9. Control de temperatura en los lingotes dentro del horno, 6 horas de homogenizado
Fuente: El Autor

MEDICIÓN DE TEMPERATURA AMBIENTE HORNO 6 HORAS DE HOMOGENIZADO

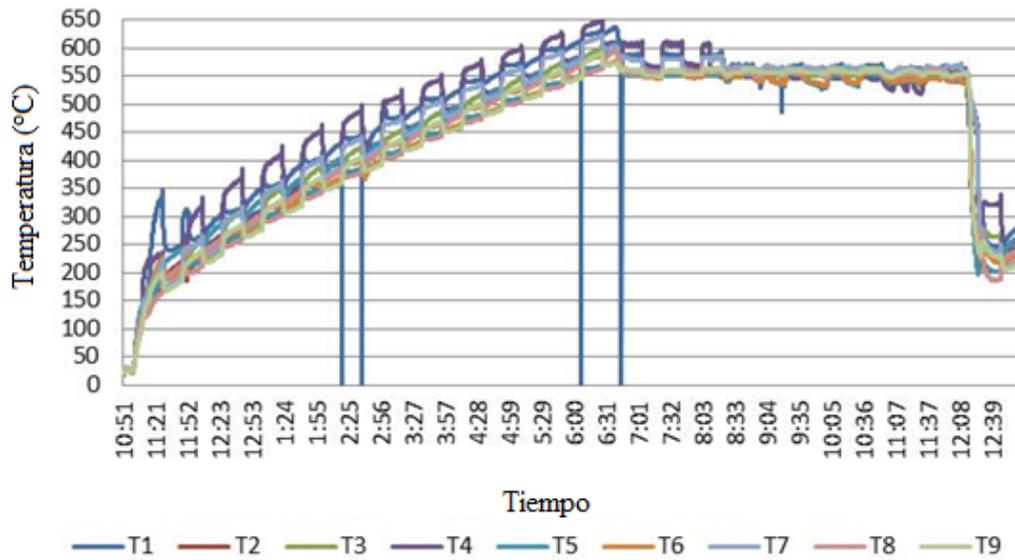


Figura 4.10 Control de temperatura del ambiente dentro del horno, 5 horas de homogenizado
Fuente: El Autor

4.2.3 ANÁLISIS DE ENSAYOS DE TENSIÓN

Las propiedades mecánicas del material reflejan una variación de la resistencia a la tensión y a su vez escalado el mismo comportamiento en su punto de fluencia al variar la temperatura de homogenización como se muestra en la Figura 4.11.

ANÁLISIS PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN Y LÍMITE DE FLUENCIA

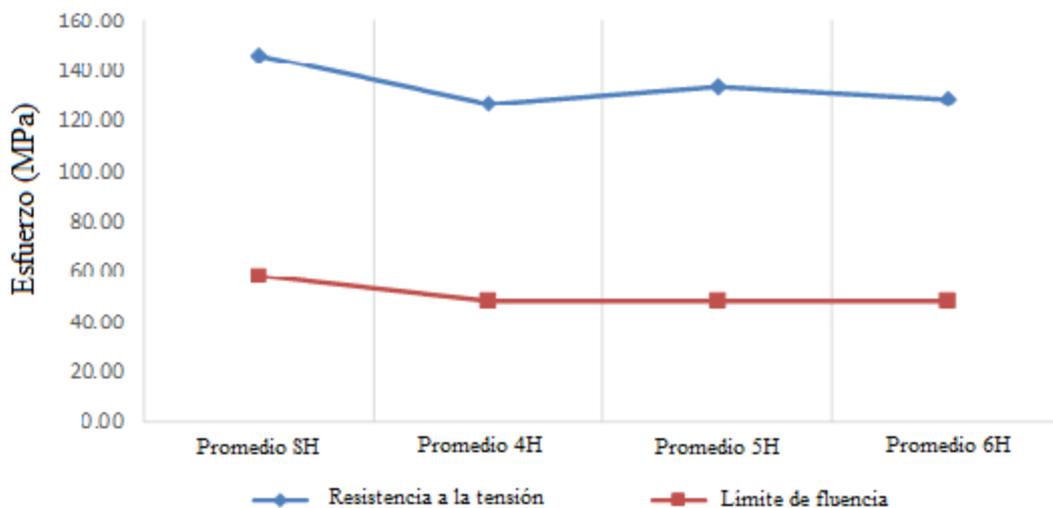


Figura 4.11. Análisis promedio de la resistencia a la tensión y límite a la fluencia
Fuente: El Autor

Tabla 4.9 Resultados de los ensayos de tensión

Lingote	Probeta	Ancho promedio (mm)	Espesor promedio (mm)	Area calibrada (mm ²)	Carga máxima registrada (Kg)	Resistencia a la tensión (MPa)	Carga de fluencia (Kg)	Limite de fluencia (MPa)	Elongación (%)
Sin Homogenizar									
050422 - 1 S - HT2	SH 1	12.6	12.7	159	2440	150	986	60.8	26.2
050422 - 2 S - HT2	SH 2	12.4	12.6	156	2390	150	995	62.4	29.5
050422 - 3 S - HT2	SH 3	12.5	12.5	155	2380	147	930	62.3	28.3
060421 - 4 S - HT1	SH 4	12.7	12.5	159	2320	143	880	54.3	25.6
060421 - 5 S - HT1	SH 5	12.7	12.5	159	2360	146	920	56.8	35
060421 - 6 S - HT1	SH 6	12.8	12.6	161	2430	148	935	56.8	33
070425 - 7 S - HT5	SH 7	12.6	13	164	2420	145	954	57.1	32.4
070425 - 8 S - HT5	SH 8	12.5	12.9	161	2340	142	900	54.8	30.1
070425 - 9 S - HT5	SH 9	11.9	13	154	2230	142	920	58.4	33.7
PROMEDIO		12.52	12.70	158.67	2367.78	145.89	935.56	58.19	30.42
4 horas de Hogenizado									
050422 - 1 4H T2 TC1	4H T1	12.7	11.9	150	1830	120	664	43.3	36.1
050422 - 2 4H T2 TC2	4H T2	12.6	12.6	159	1910	118	734	45.2	31.9
050422 - 3 4H T2 TC3	4H T3	12.5	12.6	157	1980	123	767	47.7	32
050422 - 3 4H T2 TC4-5	4H T4-5	12.5	12.8	160	2020	124	747	45.8	36.2
050422 - 3 4H T2 TC6	4H T6	13	12.1	157	2090	130	804	50.3	25.4
050422 - 2 4H T2 TC7	4H T7	12.5	11.7	146	1850	124	668	44.9	36.9
050422 - 1 4H T2 TC8	4H T8	12.3	12.3	151	1970	128	708	45.9	35.4
PROMEDIO		12.59	12.29	154.29	1950.00	123.86	727.43	46.16	33.41
5 horas de Homogenizado									
060421 - 4 5H T1 TC1	5H T1	12.7	12.2	155	2170	137	821	51.9	35.3
060421 - 5 5H T1 TC2	5H T2	12.8	12.2	156	2210	130	421	26.5	34.8
060421 - 6 5H T1 TC3	5H T3	12.4	12.7	157	2240	139	859	53.5	33.7
060421 - 6 5H T1 TC4-5	5H T4-5	12.6	12.7	160	2210	135	829	50.8	33.1
060421 - 6 5H T1 TC6	5H T6	12.2	12.5	152	1940	125	748	48.1	
060421 - 5 5H T1 TC7	5H T7	12.5	12.4	154	2060	131	798	50.8	33.1
060421 - 4 5H T1 TC8	5H T8	12.9	12.4	160	2010	124	758	46.5	30.9
PROMEDIO		12.59	12.44	156.29	2120.00	131.57	747.71	46.87	33.48
6 horas de Homogenizado									
070425 - 9 6H T5 TC1	6H T1	12.5	12.8	160	2050	126	758	46.5	28.3
070425 - 8 6H T5 TC2	6H T2	12.3	12.7	160	2080	127	740	46	32.2
070425 - 7 6H T5 TC3	6H T3	12.7	12.8	163	2100	126	787	47.4	33.5
070425 - 7 6H T5 TC4-5	6H T4-5	12.4	12.3	153	1960	126	718	46.1	32.2
070425 - 7 6H T5 TC6	6H T6	12.7	12.7	162	2100	127	734	44.4	33.1
070425 - 8 6H T5 TC7	6H T7	12.6	12.4	156	2040	128	765	48.1	34.4
070425 - 9 6H T5 TC8	6H T8	12.8	12.9	164	2130	127	797	47.6	24.7
PROMEDIO		12.57	12.66	159.71	2065.71	126.71	757.00	46.59	31.20

Fuente: El Autor

La Tabla 4.9. sintetiza los resultados obtenidos en la experimentación durante el ensayo de tensión, en el análisis es posible evidenciar que el promedio de la elongación incrementa al aumentar el número de horas de homogenizado debido a una reorganización molecular, sin embargo se puede notar que para el tiempo de 6 horas el porcentaje de elongación

disminuye concluyéndose que el material reduce su ductilidad como se muestra en la Figura 4.12.

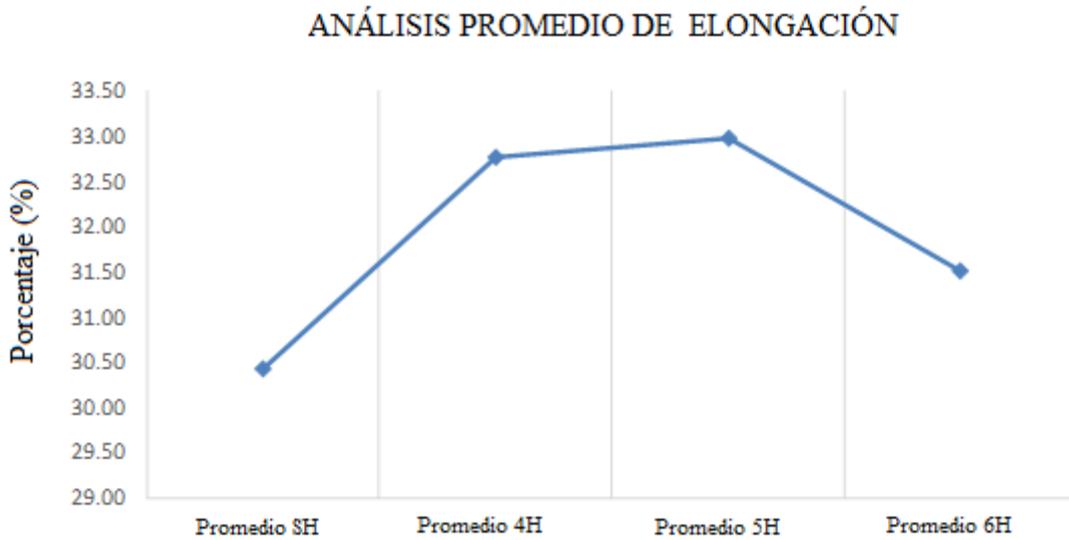


Figura 4.12. Análisis promedio de la elongación de las probetas
Fuente: El Autor

4.2.4 ANÁLISIS DEL ENSAYO DE DUREZA

Los resultados se presentan en la Tabla 4.10., los mismos indican una disminución del 9% de la dureza después de 4 horas de homogenización, sin embargo al incrementar las horas de sostenibilidad en el tratamiento la misma incrementa en un promedio de 1,7% por hora como se puede observar en la Figura 4.13.

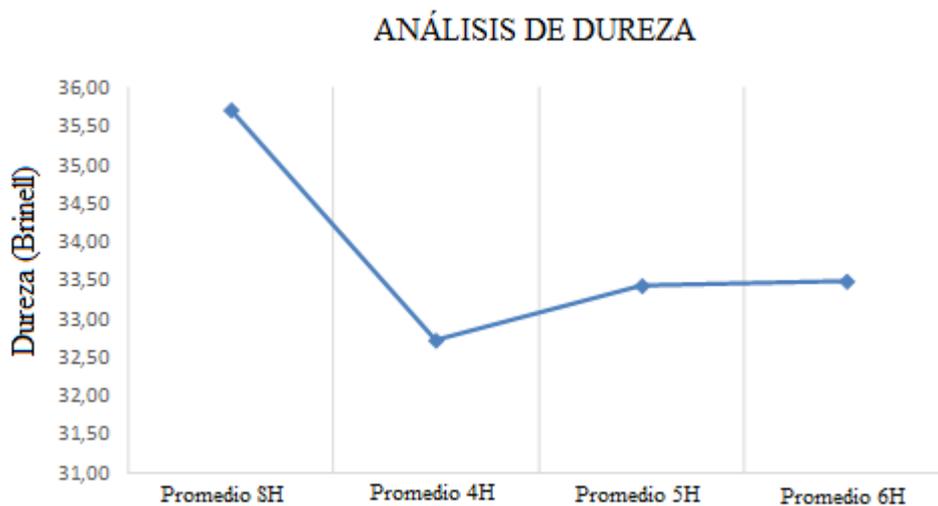


Figura 4.13. Análisis promedio de dureza
Fuente: El Autor

Tabla 4.10. Resultados de ensayo de dureza

Lingote	Probeta	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Promedio (mm)	Dureza (Brinell)
Sin Homogenizar					
050422 - 1 S - H T2	SH 1	1,410	1,420	1,415	36.3
050422 - 2 S - H T2	SH 2	1,405	1,435	1,420	35.9
050422 - 3 S - H T2	SH 3	1,500	1,440	1,470	33.3
060421 - 4 S - H T1	SH 4	1,405	1,415	1,410	36.6
060421 - 5 S - H T1	SH 5	1,405	1,405	1,405	36.9
060421 - 6 S - H T1	SH 6	1,420	1,410	1,415	36.3
070425 - 7 S - H T5	SH 7	1,390	1,475	1,433	35.3
070425 - 8 S - H T5	SH 8	1,380	1,420	1,400	37.1
070425 - 9 S - H T5	SH 9	1,460	1,465	1,463	33.7
PROMEDIO					35.71
4 horas de Hogenizado					
050422 - 1 4H T2 TC1	4H T1	1,550	1,575	1,563	31.7
050422 - 2 4H T2 TC2	4H T2	1,535	1,530	1,533	32.1
050422 - 3 4H T2 TC3	4H T3	1,545	1,535	1,540	32.7
050422 - 3 4H T2 TC4-5	4H T4-5	1,560	1,515	1,538	32.7
050422 - 3 4H T2 TC6	4H T6	1,510	1,535	1,523	33.4
050422 - 2 4H T2 TC7	4H T7	1,530	1,535	1,533	33
050422 - 1 4H T2 TC8	4H T8	1,515	1,530	1,523	33.4
PROMEDIO					32.71
5 horas de Homogenizado					
060421 - 4 5H T1 TC1	5H T1	1,500	1,510	1,505	33.4
060421 - 5 5H T1 TC2	5H T2	1,460	1,540	1,500	34.6
060421 - 6 5H T1 TC3	5H T3	1,420	1,385	1,403	
060421 - 6 5H T1 TC4-5	5H T4-5	1,565	1,530	1,548	32.3
060421 - 6 5H T1 TC6	5H T6	1,500	1,515	1,508	34.1
060421 - 5 5H T1 TC7	5H T7	1,535	1,500	1,518	33.6
060421 - 4 5H T1 TC8	5H T8	1,555	1,415	1,485	32.6
PROMEDIO					33.43
6 horas de Homogenizado					
070425 - 9 6H T5 TC1	6H T1	1,510	1,510	1,510	34.1
070425 - 8 6H T5 TC2	6H T2	1,520	1,520	1,520	33.6
070425 - 7 6H T5 TC3	6H T3	1,520	1,535	1,528	33.2
070425 - 7 6H T5 TC4-5	6H T4-5	1,545	1,525	1,535	33
070425 - 7 6H T5 TC6	6H T6	1,530	1,530	1,530	33.2
070425 - 8 6H T5 TC7	6H T7	1,525	1,565	1,545	32.5
070425 - 9 6H T5 TC8	6H T8	1,500	1,489	1,495	34.8
PROMEDIO					33.49

Fuente: El Autor

4.2.5 ANÁLISIS METALOGRAFICO

Según [9] se definen características de una estructura de colada para considerarla como aceptable, de acuerdo a los resultados metalográfico mostrado en la Tabla 4.11 realizado en los lingotes sin homogenizar muestran características como: a) No se evidencia en las muestras tomadas fisuras internas; b) Existe presencia de la fase α -AlFeSi en la fundición, existe la presencia de intermetálicos y componentes aleantes grandes; c) Los tamaños de

grano promedio son moderados antes del proceso de homogenizado (3,56 μmm); por tanto los lingotes analizados son aceptables.

De igual manera el análisis de los efectos de la homogenización comparativamente entre las 4, 5 y 6 horas de permanencia existe una disminución del tamaño de grano en la evolución del proceso de homogenizado, los cuales disminuyen su tamaño a 2,27 μmm en 4 horas de homogenizado y se evidencia un crecimiento del mismo en función del tiempo llegando a un tamaño de 3,17 μmm . como se muestra en la Figura 4.15.

La trasformaciones microestructurales presentes en los testigos que fueron sometidos a 4, 5 y 6 horas de homogenización se describe en la Tabla 4.11. y se muestran en la Figura 4.16., en los mismos se presenta una evolución y transformación de la fase $\beta\text{-AlFeSi}$ en $\alpha\text{-AlFeSi}$, sin embargo, en el tiempo de 6 horas se puede visualizar en escala x100 la presencia en mínimas cantidades de la fase $\alpha\text{-AlFeSi}$ el cual puede ser perjudicial en procesos posteriores de acabado del material. La evolución del proceso de homogenizado muestra que existe fragmentación y esferoidización de la fase $\alpha\text{-AlFeSi}$.

Tabla 4.11 Análisis cualitativo del ensayo metalográfico

Sin Homogenizar	
	Se visualiza un alto contenido de Magnesio y silanuro de magnesio sin disolver, existe buena dispersión de partículas. Se evidencia una alta presencia de fase $\beta\text{-AlFeSi}$ (característico en formas de aguja), sin embargo es evidenciable (Figura 3.9) indicios de la fase $\alpha\text{-AlFeSi}$.
4 horas de Homogenizado	
	Se visualiza un alto contenido de Magnesio y silanuro de magnesio sin disolver, al verificar la evolución del proceso (de acuerdo a las muestras disponibles sin homogenizar) se evidencia una buena dispersión de partículas, una alta presencia de fase $\beta\text{-AlFeSi}$ (característico en formas de aguja), es evidenciable (Figura 3.10) indicios de la fase $\alpha\text{-AlFeSi}$. Comienza a existir esferoidización en las muestras (Figura 3.11)
5 horas de Homogenizado	
	Se visualiza una buena distribución y disolución de los componentes aleantes, al verificar la evolución del proceso (de acuerdo a las muestras disponibles sin homogenizar y 4 horas) se evidencia una buena dispersión de partículas, disminución de la presencia de la fase $\beta\text{-AlFeSi}$ (característico en formas de aguja), es evidenciable una mayor distribución característica de la esferoidización de la fase $\alpha\text{-AlFeSi}$ (Figura 3.12).
6 horas de Homogenizado	
	Se visualiza un alto contenido de Magnesio y silanuro de magnesio sin disolver, se muestra impurezas de hierro, al verificar la evolución del proceso (de acuerdo a las muestras disponibles sin homogenizar, 4 y 5 horas de homogenización) se evidencia un proceso de transformación de fase $\beta\text{-AlFeSi}$ a la fase $\alpha\text{-AlFeSi}$ y esferoidización en las muestras que se han seleccionado, sin embargo es necesario incrementar el tiempo de homogenizado para que la transformación estructural sea óptimo (Figura 3.13).

Fuente: El Autor

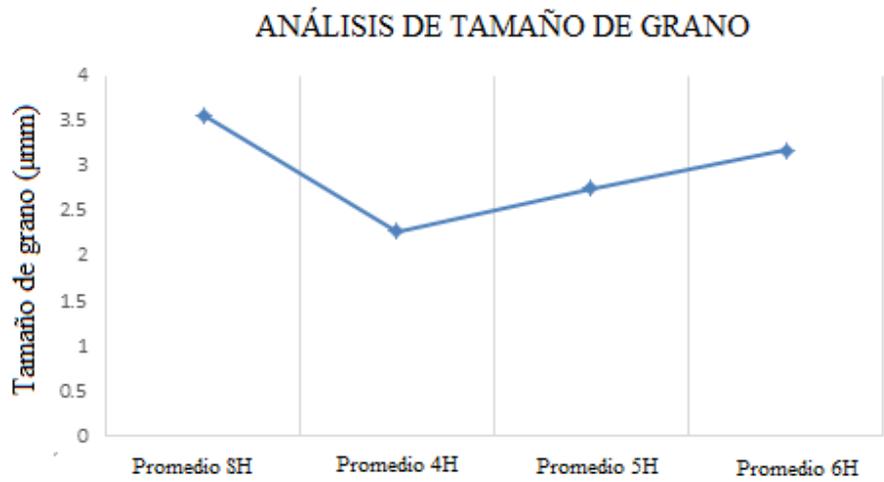


Figura 4.14. Tamaño de grano promedio
Fuente: El Autor

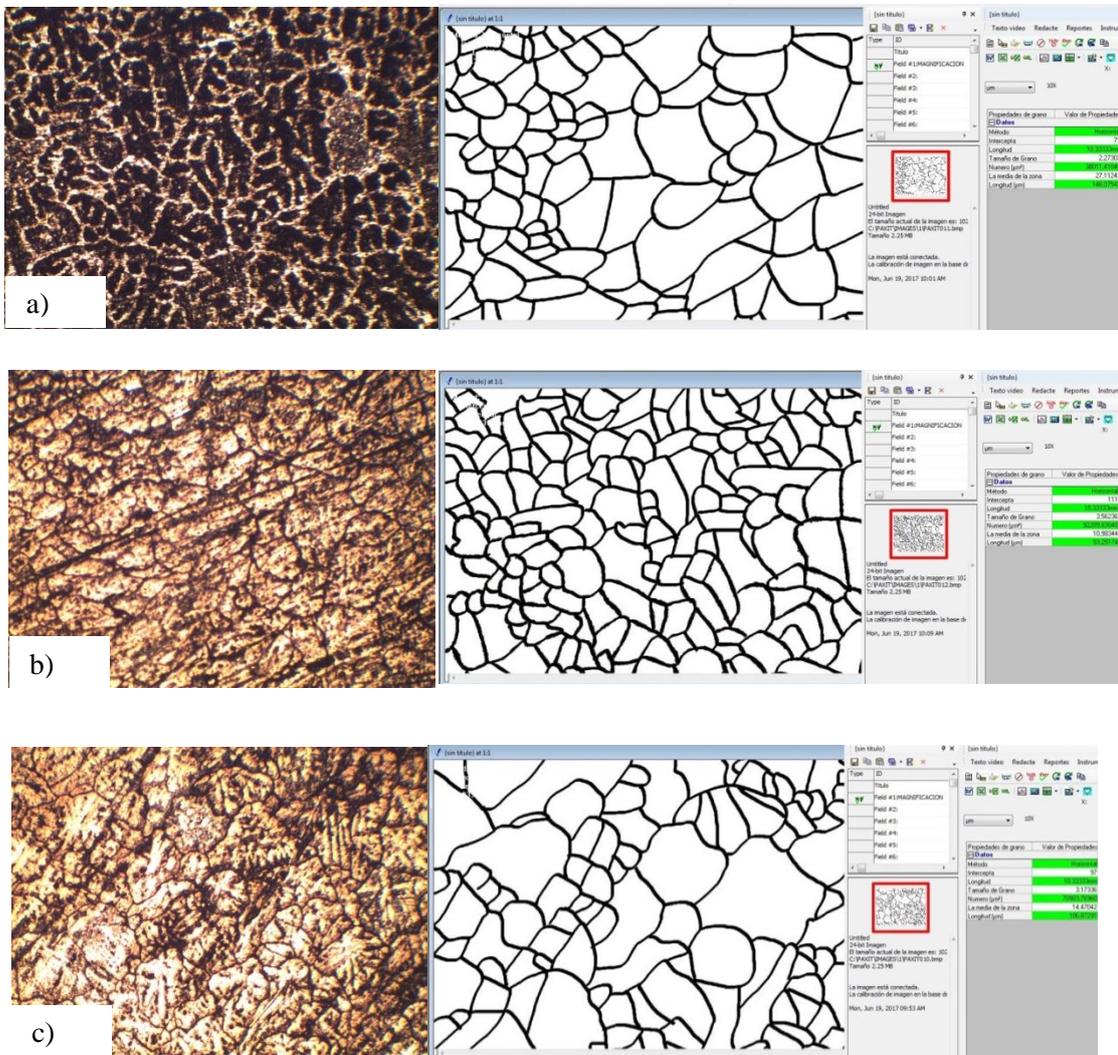
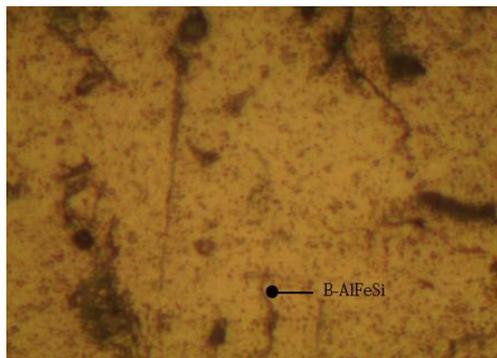
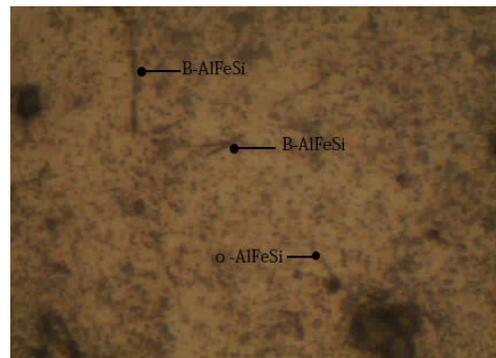


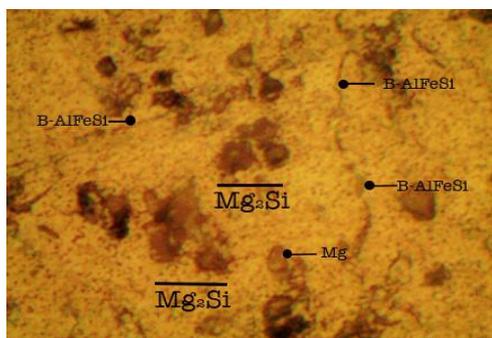
Figura 4.15. Determinación del tamaño de grano x 5; a) Probeta sin homogenización; b) Probeta con 4 horas de homogenización; c) Probeta con 5 horas de homogenización.



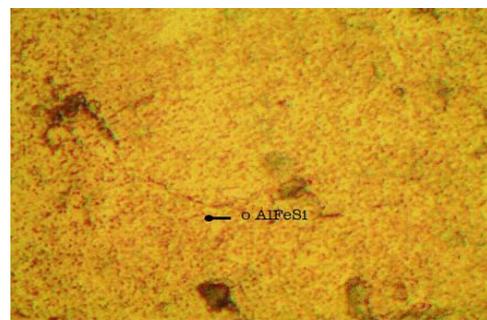
a)



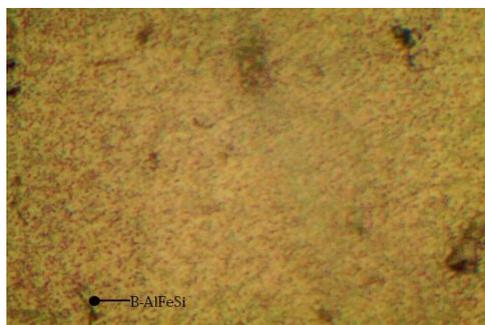
b)



c)



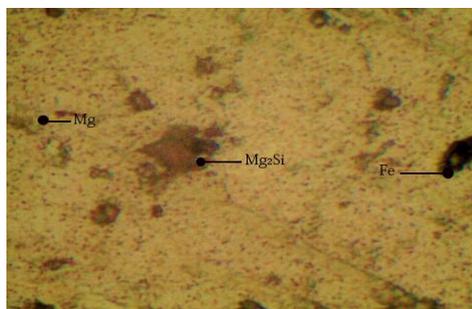
d)



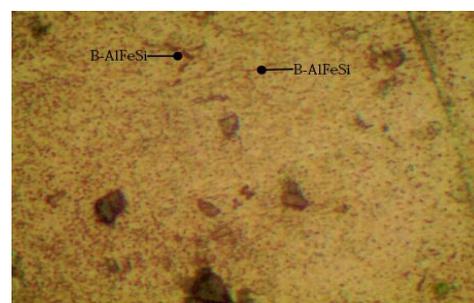
e)



f)



g)



h)

Figura 4.16. Análisis metalográfico x 100; a) b) Probeta sin homogenización; c) d) Probeta con 4 horas de homogenización; e) f) Probeta con 5 horas de homogenización; g) h) Probeta con 6 horas de homogenización

Fuente: El Autor

4.2.6 ANÁLISIS DE DEFECTOS DE CALIDAD

El análisis permite identificar que los principales defectos producidos son las fisuras y las rayaduras, las últimas que pueden tener relación con defectos en la matriz, sin embargo, la fisura tiene injerencia directa con la fundición de material ya que un análisis espectrométrico realizada a la rayadura en la cual existía la presencia de un polvo blanquecino, se comprueba que existe altos porcentajes de Magnesio no disueltos.

Tabla 4.12. Análisis de defectos de calidad en la extrusión del material

Número de tocho por lote	Tiempo de homogenizado (horas)	Referencia / matriz	Velocidad de extrusión	Presión de rompimiento (PSI)	Defecto de calidad
5	4	1283LY	7.4	2300	Rayas
9	4	1283LY	7	2586	Fisuras
11	4	1283LY	6.7	2560	Rayas
1	5	1283LY	6.4	2773	Rayas
5	5	1283LY	6.2	2767	Fisuras
11	5	1283LY	6.4	2779	Fisuras
1	6	1283LY	6.9	2723	Fisuras
10	6	1283LY	6.4	2880	Fisuras
22	6	1283LY	6.2	2685	Rayas

Fuente: El Autor

La productividad de la prensa de acuerdo los resultados obtenidos mostrados en la Tabla 4.13., Tabla 4.14. y Tabla 4.15., evidencian un decrecimiento en la velocidad de extrusión de los lingotes con tiempos de homogenizado de 5 y 6 horas en relación a los de 4 horas como se puede observar en la Figura 4.17., además se incrementa la presión de rompimiento para lingotes de 5 y 6 horas como se muestra en la Figura 4.18. La disminución de la velocidad de extrusión del lingote disminuye la productividad de la prensa; de igual forma un crecimiento en la presión de rompimiento incrementa el consumo energético de la prensa [15].

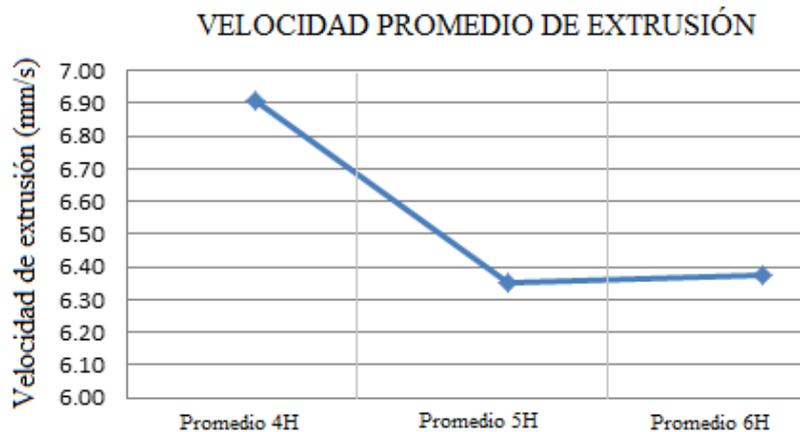


Figura 4.17. Velocidad promedio de extrusión

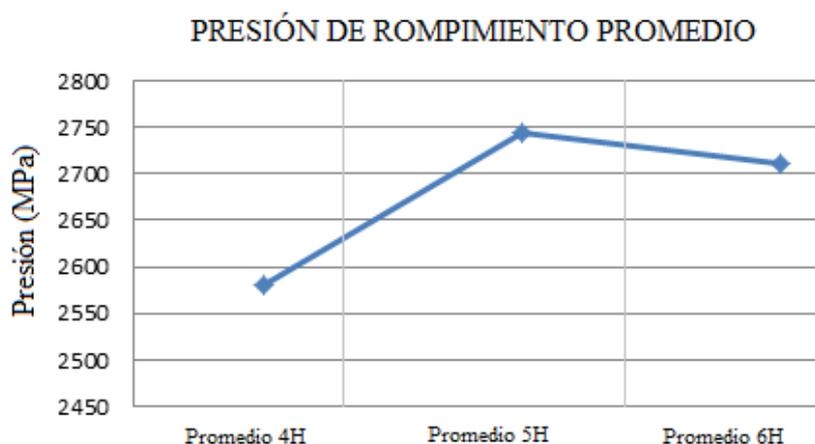


Figura 4.18. Presión de rompimiento promedio
Fuente: El Autor

Tabla 4.13 Velocidad y Presión de extrusión con lingotes homogenizados 4 horas

Número de lingote extruido	Velocidad de Extrusión (mm/s)	Presión de Rompimiento (PSI)	Número de lingote extruido	Velocidad de Extrusión (mm/s)	Presión de Rompimiento (PSI)	Número de lingote extruido	Velocidad de Extrusión (mm/s)	Presión de Rompimiento (PSI)
1	7.7	2725	11	6.7	2560	21	6.8	2704
2	7.7	2340	12	6.8	2460	22	6.9	2610
3	7.6	2783	13	6.6	2432	23	6.8	2598
4	7.4	2640	14	7	2536	24	6.9	2619
5	7.4	2300	15	6.7	2545	25	6.9	2769
6	7.4	2538	16	7	2575			
7	7.1	2583	17	7.3	2602			
8	7.1	2580	18	6.8	2538			
9	7	2586	19	6.9	2719			
10	6.8	2581	20	7.4	2608			
PROMEDIO							6.91	2,581.24

Fuente: El Autor

Tabla 4.14 Velocidad y Presión de extrusión con lingotes homogenizados 5 horas

Número de lingote extruido	Velocidad de Extrusión (mm/s)	Presión de Rompimiento (PSI)	Número de lingote extruido	Velocidad de Extrusión (mm/s)	Presión de Rompimiento (PSI)	Número de lingote extruido	Velocidad de Extrusión (mm/s)	Presión de Rompimiento (PSI)
1	6.4	2773	11	6.4	2779	21	6.3	2721
2	6.3	2718	12	6.4	2777	22	6.4	2705
3	6.2	2738	13	6.4	2791	23	6.4	2749
4	6.3	2788	14	6.4	2759	24	6.4	2732
5	6.2	2767	15	6.3	2743	25	6.3	2709
6	6.3	2750	16	6.4	2728			
7	6.3	2785	17	6.5	2728			
8	6.3	2765	18	6.4	2726			
9	6.3	2698	19	6.3	2724			
10	6.5	2763	20	6.4	2715			
PROMEDIO							6.91	2,745.24

Fuente: El Autor

Tabla 4.15 Velocidad y Presión de extrusión con lingotes homogenizados 6 horas

Número de lingote extruido	Velocidad de Extrusión (mm/s)	Presión de Rompimiento (PSI)	Número de lingote extruido	Velocidad de Extrusión (mm/s)	Presión de Rompimiento (PSI)	Número de lingote extruido	Velocidad de Extrusión (mm/s)	Presión de Rompimiento (PSI)
1	6.4	2710	11	6.4	2680	21	6.5	2697
2	6.9	2723	12	6.4	2729	22	6.5	2669
3	6.3	2699	13	6.4	2700	23	6.2	2685
4	6.4	2690	14	6.4	2736	24	6.2	2695
5	6.4	2708	15	6.4	2700	25	6.2	2706
6	6.5	2735	16	6.3	2689			
7	6.4	2802	17	6.4	2687			
8	6.4	2699	18	6.3	2703			
9	6.4	2728	19	6.3	2792			
10	6.4	2702	20	6.1	2708			
PROMEDIO							6.37	2,710.88

Fuente: El Autor

4.3 ANÁLISIS GLOBALES DE RESULTADOS

El análisis de los resultados se basa a través de los criterios requeridos y los rangos sugeridos por los especialistas en la planta industrial y de diversos laboratorios con los cuales la empresa tiene contacto.

Tabla 4.16 Análisis global de resultados de la variación de la temperatura en el proceso de homogenizado en la extrubilidad de la aleación 6063

Caracterización	4 horas promedio de homogenización	5 horas promedio de homogenización	6 horas promedio de homogenización	Rangos Sugerido	Criterio
Tensión (MPa)	123.86	131.57	126.71	125 - 140	El más alto
Elongación (%)	33.41	33.48	31.2	30 - 35	El más alto
Dureza (Brinell)	32.71	33.43	33.49	32 - 35	El más alto
Esferoidización	Heterogénea	Homogénea con muy buena dispersión de fases	Homogénea con presencia de esferoidización y dispersión de fases		
Tamaño de grano (µmm)	2.27	2.76	3.17	2,5 - 4	El más bajo
Defectos de extrusión	3	3	3	0	El mas bajo
Velocidad de extrusión (mm/s)	6.9	6.37	6.4	6,1 - 7,2 (matriz de referencia 1283 LY)	El más alto

Fuente: El Autor.

La Tabla 4.16. permite identificar de acuerdo con los criterios y rangos sugeridos la mejor opción por repetitividad, para la investigación propuesta realizar la homogenización con

un tiempo de 5 horas representa la mejor opción, sin embargo cabe indicar que aunque el promedio de los tochos con 4 horas de homogenizado tienen una mayor velocidad de extrusión lo que representaría un incremento de la productividad la misma tiene un tamaño de grano fuera de los rangos sugeridos lo que puede producir defectos posteriores en el proceso de anodizado, además a pesar que el promedio de tochos con 6 horas de homogenizado tiene la más alta dureza la misma no es significativa en relación al valor del promedio de los tochos de 5 horas.

4.4 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

4.4.1 COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DE DUREZA, RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y ELONGACIÓN

De acuerdo al número de probetas que se trabajaron para los ensayos: 9 sin homogenizar, 7 para 4 horas de homogenizado, 7 para 5 horas de homogenizado y 7 para 6 horas de homogenizado se realizó la comparación entre los resultados obtenidos de acuerdo a la Tabla 4.9. y Tabla 4.10., las probetas sin homogenizar y las probetas con 4 y 6 horas de homogenización. No se consideran las probetas con 5 horas de homogenización ya que la diferencia en promedio con relación a los datos de las probetas sin homogenizar es el menor que los otros dos datos, por tanto se considera que la comparación realizada con los datos de 4 y 6 horas concluirán la validación de la hipótesis al ser rangos mayores.

A fin de determinar si existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos en cuanto a dureza, resistencia a la tracción y elongación a medida que se realiza la homogenización, y dado que el número de probetas es inferior a las 30 (suma entre probetas sin homogenizar y probetas con 4 horas de homogenización para la primera comparación) se empleó la metodología de contraste de hipótesis de diferencias de medias [19]. Partiendo de la comparación de los resultados obtenidos, se estimó la diferencia de medias para cada una de las variables indicadas, así como el error estándar de dichos valores, para el contraste de hipótesis se empleó como estadísticos los obtenidos a partir de la distribución t-student, y no la distribución normal pues no puede aplicarse la Ley de los grandes números. Se utiliza para la verificación de la hipótesis nula el contraste de hipótesis de dos colas como se muestra en la Figura 4.19; la región crítica estará situada a ambos lados del espacio muestral, es decir el valor de la diferencia de las medias deben estar contenidos entre algunos de los valores h_1 y h_2 calculados con referencias de significancia de 1% (99% de confianza), 5% (95% de confianza) o 10% (90% de

confianza). En los dos casos y las tres variables (resistencia a la tensión, dureza y elongación) se consideró por tanto la hipótesis nula de igualdad de medias, de manera que:

$$H_0: \mu_x = \mu_y \quad \text{Ec. 4.1}$$

Donde:

H_0 : Hipótesis nula

μ_A : Media de una muestra

μ_B : Media de otra muestra

Los valores críticos fueron calculados en cada caso de acuerdo a lo planteado en la siguiente expresión:

$$h_1 = -t_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{n_x} + \frac{\sigma_y^2}{n_y}} \quad \text{y} \quad h_2 = t_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{n_x} + \frac{\sigma_y^2}{n_y}} \quad \text{Ec. 4.2}$$

Donde:

h_1 y h_2 : Valores críticos para aceptar o rechazar la hipótesis nula

$t_{\alpha/2}$: Valores en la tabla de la distribución t de student con los grados de libertad respectivos y el nivel de significancia determinado

σ_x^2 y σ_y^2 : Varianza de ambas muestras

n_x y n_y : Tamaños de cada muestra

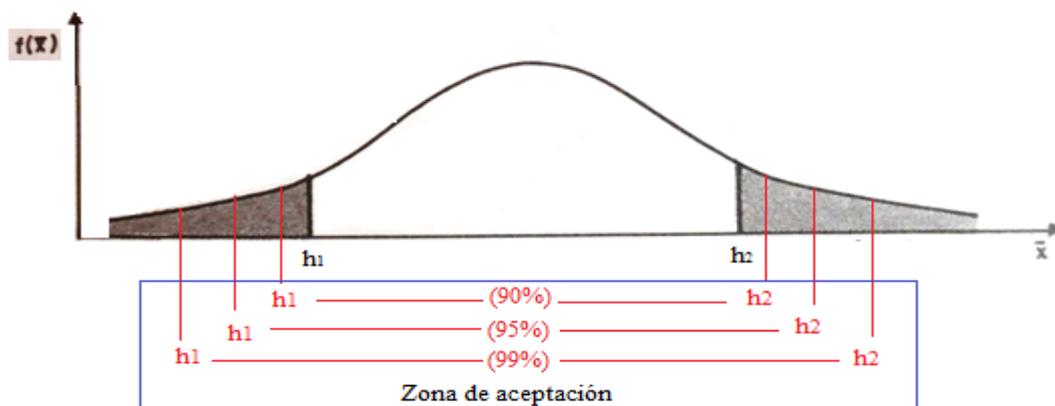


Figura 4.19 Contraste de hipótesis de dos colas
Fuente: El Autor.

En cuanto al nivel de significación para la determinación de las diferencias de medias se los calculó a partir de la distribución t-student con 14 grados de libertad ($GL = n_A + n_B - 2$; $GL = 9 + 7 - 2 = 14$; $n_A + n_B$ de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 4.15.).

Con los resultados mostrados en la Tabla 4.9 y 4.10. se determina la diferencia de medias promedio obtenidos de resistencia a la tensión, elongación y dureza de las probetas sin homogeneizar con 4 horas (Tabla 4.17.) y 6 horas de homogenización (Tabla 4.18.), se toma como hipótesis nula las siguientes:

Ho: El incremento del tiempo de homogenizado no afecta la dureza.

Ho: El incremento del tiempo de homogenizado no afecta la resistencia a la tensión.

Ho: El incremento del tiempo de homogenizado no afecta la elongación.

Se comprueba las relaciones inversas entre dureza y resistencia con respecto a las horas de homogenización y la relación directa entre ellas y la elongación. De esta forma, si se observa las medias en cuanto a dureza el resultado alcanzado sin homogenización es de 35,71 brinell, mientras que con 4 horas es 32,71 brinell, mostrando una reducción de 3,00 brinell en la escala, diferencia que es significativa al 1%, rechazando la hipótesis nula de igualdad de valores medios en la dureza.

Con respecto a la resistencia su comportamiento en cuanto a mayor cantidad de horas de homogenización menor es la resistencia a la tensión pasando de 145,89 a 123,86 unidades (4 horas de homogenización) y a 126,67 (6 horas de homogenización), de tal manera se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias ya que presentan una diferencia de -22,03 (reducción) para el análisis en 4 horas de homogenizado y de -19,22 para el análisis de 6 horas de homogenizado, diferencias que permiten rechazar la hipótesis con un error al 1%.

En cuanto a la elongación, teóricamente se espera que a medida que se produzca el proceso de homogenización la elongación aumente, los datos mostrados en la Tabla 4.14. ponen en evidencia que la media obtenida sin homogeneizar es de 30,10 mientras que la resultante de homogenizar 4 horas es de 33,41, generando una diferencia positiva de 3,31, al analizar esta diferencia en cuanto a los valores críticos se observa que es posible rechazar la hipótesis de igualdad de medias de elongación al menos al 10%, sin embargo al analizar las diferencias entre medias de 6 horas y sin homogenizar (0,93) y las diferencias entre medias entre 4 horas y 5 horas (-0,44) se acepta la hipótesis nula.

Tabla 4.17. Diferencia de medias entre variables obtenidas sin homogeneizar y con 4 horas de homogeneizado

	Sin homogeneizar	4 horas de homogeneizado	Diferencia	Valor crítico (h1; h2)	
Tamaño de la muestra (unidad)	9.00	7.00			
Dureza (Brinell)	35.71	32.71	(3.00)	(-1,45 ; 1,45)	***
	(1.2944)	(0.5890)	(0.4855)		
Resistencia a la tensión (MPa)	145.89	123.86	(22.03)	(-5,25 ; 5,25)	***
	(2.9606)	(3.8703)	(1.7646)		
Elongación (%)	30.10	33.41	3.31	(-3,13 ; 3,13)	*
	(3.1883)	(3.7719)	(1.7782)		

Significativo al: 1% (***), 5% (**), 10% (*).

Los valores entre paréntesis representan los errores estándar.

Fuente: El Autor

Al realizar un procedimiento similar pero mediante la comparación entre los resultados obtenidos sin homogeneizado y 6 horas de homogeneizado (se muestra en la Tabla 4.18), que las hipótesis de relación entre las variables se corroboran. Los valores de dureza y resistencia a la tensión son menores con 6 horas de homogeneizado que sin el proceso, mientras que la elongación en el primer caso es mayor que en el segundo.

Tabla 4.18. Diferencia de medias entre variables obtenidas sin homogeneizado y 6 horas de homogeneizado

	Sin homogeneizar	6 horas de homogeneizado	Diferencia	Valor crítico (h1; h2)	
Tamaño de la muestra (unidad)	9.00	7.00			
Dureza (Brinell)	35.71	33.49	(2.22)	(-1,51 ; 1,51)	***
	(1.2944)	-	(0.4892)		
Resistencia a la tensión (MPa)	145.89	126.67	(19.22)	(-3,06 ; 3,06)	***
	(2.9606)	(0.2217)	(1.1222)		
Elongación (%)	30.10	31.03	0.93	(-4,99 ; 4,99)	*
	(3.1883)	(0.7454)	(1.2375)		

Significativo al: 1% (***), 5% (**), 10% (*).

Los valores entre paréntesis representan los errores estándar.

Fuente: El Autor

Se completa el análisis comparando entre dos procesos de homogeneización (4 y 5 horas), en cuyos resultados obtenidos no presentan mayores conclusiones. Tal como se muestra en la Tabla 4-19 no es posible corroborar las hipótesis nula, en el sentido que comparando las medias de dureza y resistencia a la tracción, los resultados muestran que un hora adicional de homogeneizado eleva ambas variables, en contraposición a lo que se espera teóricamente; de manera similar se invierte la relación esperada de elongación.

Tabla 4.19. Diferencia de medias entre variables obtenidas con 4 horas y 5 horas de homogeneizado

	4 horas de homogenizado	5 horas de homogenizado	Diferencia	Valor crítico (h1; h2)	
Tamaño de la muestra (unidad)	7.00	7.00			
Dureza (Brinell)	32.71	33.43	0.72	(-0,67 ; 0,67)	***
	(0.5890)	(0.7972)	(0.3746)		
Resistencia a la tensión (MPa)	123.86	131.57	7.71	(-5,43 ; 5,43)	***
	(3.8703)	(5.3414)	(2.4931)		
Elongación (%)	33.41	33.48	0.07	(-4,83; 4,83)	*
	(3.7719)	(1.8148)	(1.5821)		

Significativo al: 1% (***), 5% (**), 10% (*).

Los valores entre paréntesis representan los errores estándar.

Fuente: El Autor

Pareciera, por tanto, que si bien al comparar los resultados sin homogenización y con al menos 4 horas de tratamiento térmico, las relaciones teóricas de comportamiento se corroboran y adicionalmente las diferencias reportadas son significativas al menos al 10%; no así si se compara entre diferentes cantidades de horas de homogenizado. Valdría la pena preguntarse entonces si es necesario someter al material a mayor cantidad de horas de homogeneizado si no mejoran los resultados, la respuesta debe ser complementada con el análisis de la velocidad de extrusión y los defectos de calidad.

4.4.2 COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DE VELOCIDAD DE EXTRUSIÓN Y DEFECTOS DE CALIDAD

Con el objeto de determinar si existen diferencias significativas entre los resultados mostrados en las Tablas 4.13, Tabla 4.14 y Tabla 4.15 en cuanto a la velocidad de extrusión comparando procesos de 4 horas, 5 horas y 6 horas de homogenizado, se siguió una metodología similar a la propuesta en la sección anterior, salvo que dado que el número de observación superan las 30, según el teorema de límite central se empleó la distribución normal para la estimación de los estadísticos del contraste [19] (Grados de Libertad $GL = n_x + n_y - 2$; $GL = 25 + 25 - 2 = 48$; n_x y n_y de acuerdo a valores mostrados en la Tabla 4.17.).

Partiendo de la hipótesis nula de igualdad de medias mostrada en la ecuación 4.1, los valores críticos fueron calculados en cada caso de acuerdo a lo planteado utilizando la ecuación 4.2., con lo cual se plantea la siguiente hipótesis nula:

H_0 : El incremento del tiempo de homogenización no afecta la velocidad de extrusión.

Se puede esperar teóricamente que a mayor cantidad de horas de homogeneizado la velocidad de extrusión aumente, lo cual contradice lo sucedido ya que se reduce de 6,91 a

6,37 (mm/s) a medida que se elevan las horas de homogenizado de 4 a 6 horas como se puede observar en la Tabla 4.20.

Tabla 4.20. Diferencia de medias en la velocidad de extrusión obtenidas con 4 horas y 6 horas de homogeneizado

	4 horas de homogenizado	6 horas de homogenizado	Diferencia	Valor crítico (h1; h2)	
Tamaño de la muestra (unidad)	25.00	25.00			
Velocidad de extrusión (mm/s)	6.91	6.37	(0.54)	(-0,37 ; 0,37)	***
	(0.78)	(0.15)	(0.16)		

Significativo al: 1% (***), 5% (**), 10% (*).

Los valores entre paréntesis representan los errores estándar.

Fuente: El Autor

En cuanto a la diferencia en las medias de velocidad de extrusión, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias al 1%, con lo cual se corrobora no solo la caída en la velocidad al elevar las horas de homogenizado, sino que dicha diferencia es significativa. Resultados similares en cuando al rechazo de la igualdad de medias y la comprobación de la relación teórica se presentan al comparar los procesos de 4 horas y 5 horas de homogenizado.

Con respecto a la proporción de defectos registrados entre las horas de homogenizado, se empleó para el análisis la diferencia de proporciones, partiendo de la hipótesis nula:

$$H_0: p_x = p_y \quad \text{Ec. 4.3}$$

Los valores críticos bajo la distribución normal fueron calculados en cada caso de acuerdo a lo planteado en la siguiente expresión:

$$h_1 = -k_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{p_A(1-p_A)}{n_A} + \frac{p_B(1-p_B)}{n_B}} \quad \text{y} \quad h_2 = k_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{p_A(1-p_A)}{n_A} + \frac{p_B(1-p_B)}{n_B}} \quad \text{Ec. 4.4}$$

Donde:

h_1 y h_2 : son los valores críticos para aceptar o rechazar la hipótesis nula

$k_{\alpha/2}$: Los valores en la tabla de la distribución normal con los grados de libertad respectivos y el nivel de significancia determinado

p_A y p_B : La probabilidad de éxito en cada muestra

n_A y n_B : Los tamaños de cada muestra

Para la validación de la hipótesis se considera la siguiente hipótesis nula:

H_0 : El incremento del tiempo de homogenización no afecta las proporciones de defectos.

Tal como se muestra en la Tabla 4.21, la proporción defectos totales (de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 4.12, 3 para cada caso) encontrados a diferentes horas de homogeneizado son iguales entre sí (razón entre el número de defectos dividido al número total de la muestra para cada tiempo de homogenización, 3/25), por lo cual se acepta la hipótesis nula de igualdad de proporciones. Mientras que si se observa el tipo de defecto se encuentra que, si bien existen diferencias en las proporciones, éstas no son significativas ni al 10%.

A medida que se elevan las horas de homogeneizado cabría esperar que se reduzcan los defectos o en todo caso los de mayor relevancia como son las fisuras. Los resultados a diferencia de lo propuesto muestran una reducción en la proporción de rayas pasando de 3/25 a 2/25, pero no así en las fisuras, que se elevan de 2/25 a 3/25. Los datos recolectados se los detalla en el ANEXO IV.

Tabla 4.21. Diferencia de proporciones de defectos de calidad obtenidas con 4 horas y 6 horas de homogeneizado

	4 horas de homogeneizado	6 horas de homogeneizado	Diferencia
Tamaño de la muestra (unidad)	25.00	25.00	
Número total de defectos (unidad)	3.00	3.00	
Proporción de defectos totales (Número total de defectos / Tamaño de la muestra)	0.12	0.12	-
Número total de rayas de la muestra (unidad)	2.00	1.00	
Proporción de rayas (Número total de rayas / Tamaño de la muestra) (unidad)	0.080	0.040	0.04
Número total de fisuras de la muestra (unidad)	1.00	2.00	
Proporción de rayas (Número total de rayas / Tamaño de la muestra) (unidad)	0.040	0.080	(0.04)

Significativo al: 1% (***), 5% (**), 10% (*).

Los valores entre paréntesis representan los errores estándar.

Fuente: El Autor.

A pesar de estos resultados, se corroboran las relaciones y la existencia de diferencias significativas en variables como la dureza, la resistencia a la tracción y la elongación, además de la reducción en la velocidad de extrusión a medida que se elevan las horas de homogeneizado. Esto permite pensar, que podría generarse una mejora del proceso si se considera elevar las horas de homogeneizado. Adicionalmente, en términos de costos, la

reducción de la velocidad implicaría un incremento en la estructura de costos si es comparada con la inversión requerida para el homogeneizado.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El control realizado por la empresa CEDAL para asegurar la calidad de la aleación 6063 es satisfactorio, los porcentajes de los elementos aleantes de la colada medidos a través del análisis espectrométrico se encuentran dentro de los rangos establecidos por la Aluminium Association mostrados en la Tabla 2.2.
- EL horno de homogenizado alcanza la temperatura de 565°C en el ambiente de acuerdo a las nueve termocuplas instaladas en las zonas baja, media y alta en el interior del horno, además de acuerdo a las curvas de temperatura obtenida en el interior de los lingotes se evidencia que los mismos en su zona central alcanzan la misma temperatura del ambiente existiendo garantía para que suceda transformación de fase β -AlFeSi en α -AlFeSi.
- Las propiedades mecánicas tanto de resistencia a la tensión como las de dureza varían en función del tiempo en relación a las probetas sin homogenizar. La disminución de la resistencia a la tensión constituye el 17% comparado con las probetas que tuvieron 4 horas de homogenización, sin embargo la variación de las propiedades en análisis progresivo disminuye en su rata, 6,2% entre 4 y 5 horas y 3,8% entre 5 y 6 horas. Para el caso de la dureza ocurre algo similar, la disminución constituye el 9,2% entre los lingotes sin homogenizar y 4 horas, 2,20% entre 4 y 5 horas y de 0,16% entre 5 y 6 horas, este efecto es el resultante del proceso térmico que reorganiza la estructura de grano y distribuye de mejor manera los elementos aleantes.
- La presión de rompimiento entre los lingotes de 5 y 6 horas aumenta significativamente (aproximadamente de 180 a 200 psi), sin incrementar significativamente la velocidad de extrusión (menos del 1%), por tanto no se mejora la productividad de la prensa.
- La metalografía mostrada en la Figura 4.16, c); muestra partículas grandes de material no disuelto, lo cual se evidencia en los defectos de calidad, en cuyas fisuras existen restos de polvo blanquecino y al realizar un ensayo espectro métrico confirmó el exceso de magnesio en esa zona.
- El efecto de homogenización de 4, 5 y 6 horas muestra a través de la metalografía una evolución en el cambio de fase β -AlFeSi en α -AlFeSi, esferoidización y fragmentación,

se evidencia una disminución en el tamaño del grano y una mejor reorganización de los granos en función del tiempo.

- Para la validación de la hipótesis se empleó la metodología de contraste de hipótesis de diferencias de medias con la cual se comprueba que existen relaciones inversas entre dureza y resistencia a la tensión con respecto a las horas de homogenización y la relación directa entre estas propiedades y la elongación, existiendo una diferencia significativa entre ellas al comparar el lingote sin homogeneizar con cualquier tiempo de homogenización, sin embargo la diferencia no es significativa cuando se compara la variación entre horas de homogenización (4 y 5 horas). Se comprueba además que a mayor cantidad de horas de homogeneizado la velocidad de extrusión disminuya y que dicha diferencia es significativa, sin embargo el número de defectos totales no disminuye en relación al incremento de horas de homogenización si bien existen diferencias en las proporciones estas no son significativas, es decir no existe beneficio productivo al incrementar el tiempo de homogenización ya que el número total de defectos en 4, 5 y 6 horas no tienen variaciones significativas y además disminuye la velocidad de extrusión y directamente baja la productividad de la prensa.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es necesario el control adecuado y verificación de temperatura en el proceso de homogeneizado ya que si la temperatura no alcanza los 565°C no se precipitarán las fases que contengan hierro
- Es necesario utilizar adecuadamente los reactivos y tiempos de aplicación para el revelado metalográfico y para tamaño de grano ya que el exceso o defecto causa una mala visualización en el microscopio.
- Es necesaria la utilización de todos los equipos de seguridad y normas establecidas por la empresa ya que los riesgos son altos especialmente en la planta de fundición y extrusión.
- Garantizar la trazabilidad y continuidad de los análisis de los lingotes en toda la cadena de la producción permitirá pulir el tiempo de homogeneizado definido en esta propuesta, ya que es necesario controlar las variables que existen (tiempo y temperatura) y no son objeto de estudio de este trabajo, pero que sin embargo definen la calidad de la materia prima en el proceso de fundición, extrusión y anodizado.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

“PROCEDIMIENTO PARA GARANTIZAR EL TIEMPO DE HOMOGENIZACIÓN EN LOS LINGOTES DE ALUMINIO EN LA ALEACIÓN 6063 Y SUS DEFECTOS EN LA EXTRUSIÓN”

6.1 DATOS INFORMATIVOS

La empresa CEDAL oferta al mercado de la metalmecánica perfilería de diversos tipos con los cuales aporta al crecimiento del país. La dinámica de producción abarca desde la fundición del aluminio, extrusión, envejecimiento, anodizado y/o pintura, teniendo gran importancia la calidad de la materia prima (denominada así al producto de ingreso en cada proceso) para poder disminuir pérdidas económicas en la empresa.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

La aleación 6063 dadas sus propiedades mecánicas es especialmente utilizada en el proceso de extrusión. Sus principales elementos aleantes como son el Mg y el Si le permiten ser tratadas térmicamente, permiten en la aleación una alta formabilidad, buen acabado superficial, entre otros. Es por tanto prescindible garantizar a través de los procesos térmicos y mecánicos que establecen condiciones microestructurales y de deformación que permitan optimizar y controlar la productividad en la empresa.

Actualmente la empresa no ha determinado el tiempo óptimo para la homogenización, siendo empírico el criterio para el mismo, basados expresamente en condiciones experimentales en función de los resultados de productividad en el proceso de extrusión el que ha definido los tiempos que han sido variables que han cambiado desde tiempos de 5 a 10 horas de homogenizado.

6.3 JUSTIFICACIÓN

El tiempo de homogenización es crucial para optimizar recursos económicos (considerando el costo de operación, insumos y materiales requeridos), así como para garantizar las características microestructurales y propiedades mecánicas que afectan la

extrubilidad del material, definiendo así un criterio lógico científico que identifique el tiempo óptimo de homogenizado.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 GENERAL

Determinar un procedimiento que permita controlar en el proceso de homogenización cinco horas de sostenimiento en la aleación 6063 y sus defectos en la extrusión.

6.4.2 ESPECIFICOS

- Compilar los registros espectrométricos que garanticen el cumplimiento de los rangos aleantes de la aleación 6063 antes del proceso de homogenizado
- Definir el control en los lingotes de aluminio que garanticen el alcance de la temperatura de sostenimiento durante de 5 horas.
- Establecer características en las propiedades mecánicas y defectos de extrusión en el proceso de homogenización.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

La implementación de un procedimiento que garantice el tiempo de homogenización de cinco horas en los lingotes de aluminio es factible, ya que la empresa cuenta con la predisposición de invertir y controlar sus procesos buscando cumplir su política de mejora continua, además eliminar los rechazos de materia prima en el proceso de extrusión.

La medición de las propiedades mecánicas y de control de calidad no generaría costo ya que la empresa dispone del laboratorio certificado y personal capacitado en la línea de extrusión para la determinación de defectos. Se considera necesaria únicamente una reorganización de las actividades para la realización de las pruebas en las probetas.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

La presente propuesta se basa en la información recopilada en el capítulo II que corresponde al marco teórico que contrastado con los resultados obtenidos en el capítulo IV que corresponde al análisis e interpretación de resultados han permitido determinar un marco procedimental en el proceso de homogenizado durante cinco horas de sostenimiento para garantizar que la materia prima que se entrega al proceso de extrusión cumpla los requerimientos mínimos exigidos.

El procedimiento propuesto establece una estructura secuencial cumpliendo actividades que permitan la verificación, control y validación de la calidad de la materia prima, así como para garantizar su trazabilidad y relación en la extrusión del mismo. El procedimiento define los siguientes pasos a seguir:

1. Verificación de elementos aleantes de la aleación 6063 antes del proceso de homogenizado.
2. Control de temperatura y tiempo en los lingotes durante el proceso de homogenizado.
3. Validación de las propiedades de la aleación después del proceso de homogenizado.
4. Relación de defectos en la extrusión con las variables involucradas en el proceso de homogenizado.

6.6.1 VERIFICACIÓN DE ELEMENTOS ALEANTES DE LA ALEACIÓN 6063 ANTES DEL PROCESO DE HOMOGENIZADO

La aleación 6063 debe cumplir parámetros mínimos y máximos de elementos aleantes de acuerdo a la Aluminium Association para garantizar su comportamiento en la transformación térmica, así como en la extrusión del material, por tanto se establece el siguiente procedimiento para verificar la toma de las muestras y análisis espectrométrico de la aleación antes del tratamiento térmico de homogenizado.

1. Tomar la muestra del tundish retirando la capa superficial de aluminio solidificada y verter en el molde tipo B.
2. Desmontar el molde en el banco de chill-cast.
3. Marcar la muestra e identificar al lote al cual pertenece la muestra.
4. Realizar el chispeo en el espectrómetro e imprimir el registro de la composición.
5. Repetir el procedimiento para cada lote con el cual se va a trabajar

Es necesario considerar el alto riesgo que constituye trabajar a altas temperaturas y con metales fundidos, por tanto es necesario siempre el cumplir rigurosamente las exigencias de seguridad industrial y conocer los procedimientos en caso de incidentes o accidentes.



a)

b)

c)

Figura 6.1. Toma de muestras a) Molde tipo B; b) Vertiendo metal fundido en banco chill cast; c) Muestras desmontadas

Fuente: Navas Hernán, 2016

Resultados Químicos

Número de Muestra:	050422	Proveedor :	CEDAL
Cliente :	CEDAL	Hora de chispeo:	08H15
Turno :	EP	Fecha de chispeo:	2017/04/05
Jefe de Turno:	L.PILA	Fecha de colada :	2017/04/05
Aleación :	6063	Nombre Colada :	TUNDISH

Análisis espectrométrico Foundry-MASTER Grado :

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn
1	98,6	0,504	0,213	0,0957	0,0120	0,510	0,0241
2	98,6	0,489	0,206	0,102	0,0131	0,498	0,0238
3	98,6	0,480	0,214	0,103	0,0118	0,503	0,0245
Ave	98,6	0,491	0,211	0,100	0,0123	0,504	0,0241
	Ni	Ti	Be	Ca	Li	Sn	V
1	< 0,0025	0,0097	< 0,0001	0,0006	0,0004	< 0,0075	0,0082
2	0,0034	0,0101	< 0,0001	0,0006	0,0004	< 0,0075	0,0080
3	0,0067	0,0097	< 0,0001	0,0005	0,0004	< 0,0075	0,0077
Ave	0,0037	0,0098	< 0,0001	0,0006	0,0004	< 0,0075	0,0080
	Zr	B	Cd	Co	Ag	Hg	
1	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0025	
2	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0025	
3	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0025	
Ave	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0025	

Figura 6.2. Registro espectrométrico

Fuente: Laboratorio de control de calidad Planta Fundición CEDAL

6.6.2 CONTROL DE TEMPERATURA Y TIEMPO EN LOS LINGOTES DURANTE EL PROCESO DE HOMOGENIZADO.

Es necesario que la aleación 6063 tenga un control adecuado del tiempo durante el cual permanece a una temperatura promedio de 565°C durante cinco horas, por tanto la medición del ambiente del horno no garantiza en totalidad que la temperatura sea alcanzada en el núcleo del lingote, por tanto se establece el siguiente procedimiento para controlar durante el proceso de homogenizado.

1. Se carga el carro del horno de homogenizado con el lote dispuesto, para el cual se considera una configuración matricial (columnas x filas) 10 x 7.
2. Considerando la base inferior izquierda del coche de homogenizado como referencia se toma bajo configuración matricial tres lingotes (5 - 1, 5 - 3, 4 - 7) los cuales sirven para el control de temperatura y la obtención de testigos.
3. Sobre los lingotes escogidos se realiza perforaciones en el eje axial en los extremos de 5 cm de profundidad. Se insertan termocuplas tipo K para el control de temperatura interna en los lingotes (ubicación de lingote 5 - 1: termocupla T0 y T1; ubicación de lingote 5 - 3: termocupla T2 y T3; ubicación de lingote 4 - 7: termocupla T4 y T5).
4. Sobre la muestra de ubicación 4 - 7 se divide en tres segmentos iguales a lo largo del lingote, se realiza perforaciones de 5 cm en dirección radial en los segmentos medios para insertar las termocuplas de control de temperatura interna (T6 y T7).
5. Se introduce la carga y se programa el horno elevando la temperatura hasta llegar a 565 C y se mantiene a esta temperatura durante 5 horas.
6. Se saca la carga y se enfría a través de ventiladores durante 2 horas.

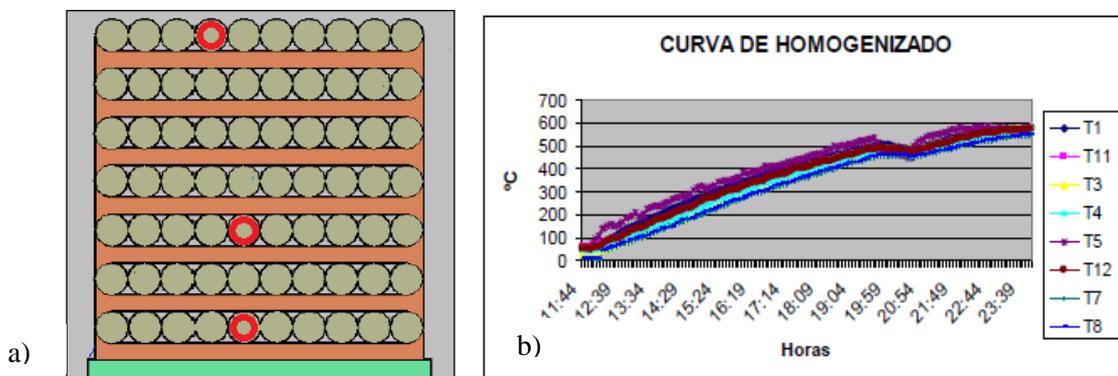


Figura 6.3. a) Ordenamiento matricial; b) Curvas de control de temperatura
Fuente: Toapanta Nelson, 2011

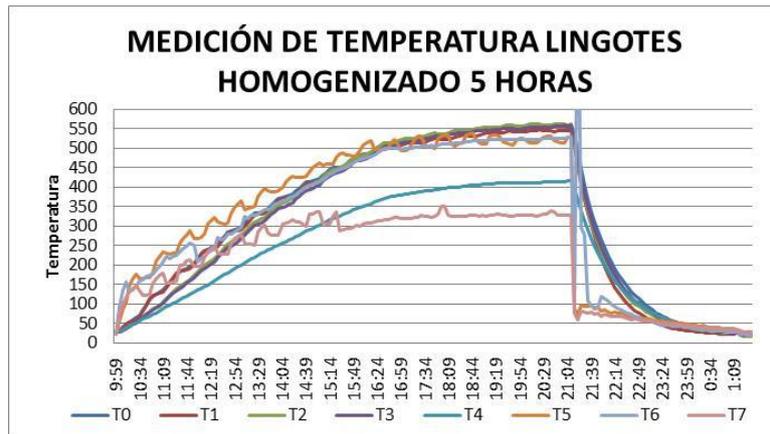


Figura 6.4. Control de temperatura con 5 horas de homogenización
Fuente: El Autor

6.6.3 VALIDACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA ALEACIÓN DESPUÉS DEL PROCESO DE HOMOGENIZADO

Las propiedades de la aleación determinan la calidad de la aleación posterior al proceso de homogenizado, las mismas garantizaran que exista un mínimo de defectos en el proceso de extrusión, por tanto se establece el siguiente procedimiento para validar el proceso de homogenizado durante 5 horas de sostenimiento a temperatura promedio de 565°C.

Obtención de testigos y probetas

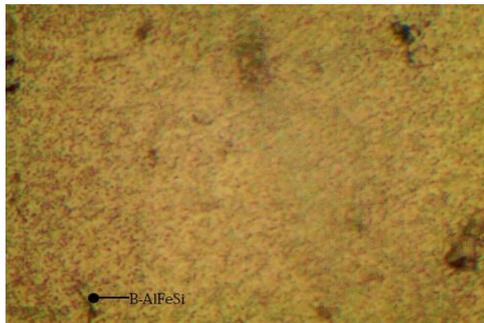
1. De acuerdo a los tres lingotes tomados como muestra (5 -1, 5 - 3, 4 - 7) se obtendrán siete testigos para la elaboración de las probetas para ensayos de tensión, dureza y metalografía. Se traza distancias de 10 pulgadas desde cada extremo del lingote (para la obtención de dos testigos por cada lingote, en total se obtienen 6 testigos) en todos los lingotes que son definidos en la muestra.
2. En el lingote de ubicación 4 -7 se traza desde la mitad de la longitud total del lingote 5 pulgadas a cada lado para la obtención del séptimo testigo.
3. Se realiza los cortes en la sierra loma para disponer de los testigos.
4. Cada testigo es maquinado según ASTM E8M para obtener del núcleo la probeta para ensayo de tensión según ASTM B557M.
5. De cada testigo se obtiene una probeta de 50 mm x 50 mm x 10 mm para ensayo de dureza según ASTM E10.
6. De cada testigo se obtiene una probeta de 25 mm x 25 mm x 10 mm para ensayo metalográfico según ASTM E3 y ASTM E112.

7. Síntesis de resultados de pruebas de tensión, dureza y metalográficos.

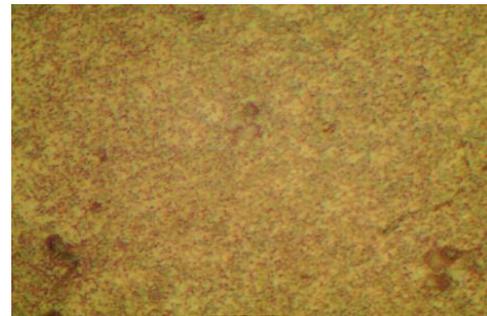
Tabla 6.1. Resumen de propiedades mecánicas 5 horas de homogenización

Lingote	Probeta	Resistencia a la tensión (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Elongación (%)	Referencia/ Matriz:	Velocidad de Extrucción (mm/s):	Presion de Rompimiento:	Dureza (Brinell)	Tamaño de grano (µmm)
5 horas de Homogenizado									
060421 - 4 5H T1 TC1	5H T1	137	51.9	35.3	1283LY	6.3	2765	33.4	2.55
060421 - 5 5H T1 TC2	5H T2	130	26.5	34.8	1283LY	6.2	2698	34.6	2.97
060421 - 6 5H T1 TC3	5H T3	139	53.5	33.7	1283LY	6.3	2763		2.73
060421 - 6 5H T1 TC4-5	5H T4-5	135	50.8	33.1	1283LY	6.2	2779	32.3	2.65
060421 - 6 5H T1 TC6	5H T6	125	48.1		1283LY	6.3	2777	34.1	2.87
060421 - 5 5H T1 TC7	5H T7	131	50.8	33.1	1283LY	6.3	2791	33.6	2.55
060421 - 4 5H T1 TC8	5H T8	124	46.5	30.9	1283LY	6.5	0	32.6	3
PROMEDIO		131.57	46.87	33.48		6.30	2367.57	33.43	2.76

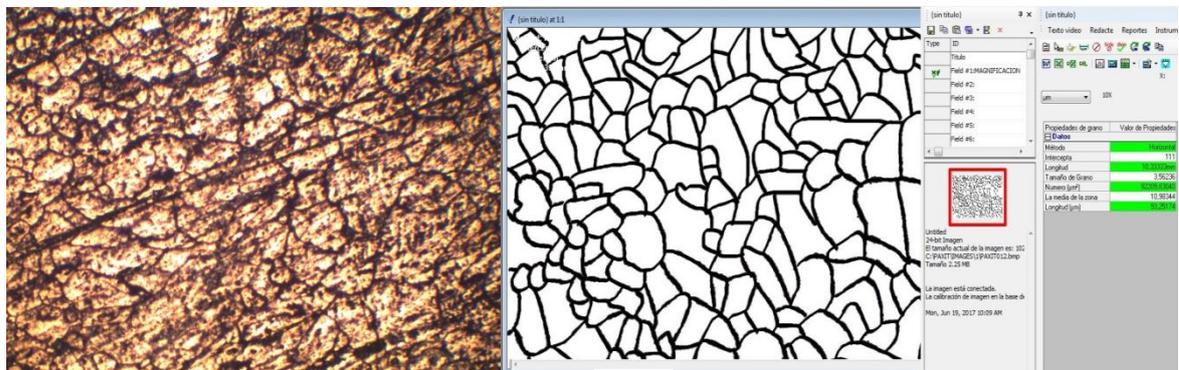
Fuente: El Autor



a)



b)



c)

Figura 6.5. Análisis metalográfico; a) b) Metalografía a probetas con 5 horas de homogenización; c) Medición de tamaño de grano a probetas de 5 horas de homogenización

Fuente: El Autor

6.6.4 RELACIÓN DE DEFECTOS EN LA EXTRUSIÓN CON LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO.

La trazabilidad de los lotes de producción permite identificar los defectos de calidad presentes en la extrusión de la aleación, por tanto es posible identificarlos y relacionarlos con las propiedades del material posterior al homogenizado (en aquellos casos que correspondan), esta dinámica pretende continuar con la política de mejora continua y minimizar los efectos producidos por calidad de materia prima.

Tabla 6.2. Trazabilidad de defectos de extrusión

Número de tocho por lote	Tiempo de homogenizado (horas)	Referencia / matriz	Velocidad de extrusión (mm/s)	Presión de rompimiento (PSI)	Defecto de calidad
1	5	1283LY	6.4	2773	Rayas
5	5	1283LY	6.2	2767	Fisuras
11	5	1283LY	6.4	2779	Fisuras

Fuente: El Autor

6.7 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Concluida la presente investigación, la misma que fue realizada en la empresa CEDAL se sugiere tomar en cuenta la misma como base para futuras investigaciones de pre grado y post grado relacionadas a materiales metálicos no ferrosos, el trabajo determina el efecto del tiempo en el proceso de homogenizado en la extrubilidad del aluminio 6063 al comparar las variaciones en las propiedades mecánicas, cambios microestructurales y defectos finales en la extrusión del material.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MIPRO, «Ministerio de Industrias y Productividad,» 12 01 2016. [En línea]. Available: (<http://www.industrias.gob.ec/sector-metalurgico-del-pais-tiene-buenas-perspectivas-de-expandir-su-produccion/>).
- [2] S. Otera, «Ingeniería de Materiales,» 2009. [En línea]. Available: <https://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>.
- [3] AluminiumAssociation, «The Aluminium Association,» junary 2016. [En línea]. Available: <http://www.aluminum.org/resources/industry-standards>.
- [4] T. Sheppard, Extrusion of Aluminium Alloys, Bounemouth: Springer, 1999.
- [5] H. A. Navas, «Análisis cuantitativo de los elementos aleantes principales pricipitados en billets de aluminio de aleacion 6063 en equipo de funición horizontal,» Ingenius, pp. 42 - 50, 2017.
- [6] M. Palas, «Reconocimeinto de fases en aleaciones de aluminio en estado de modelado,» Piura, 2012.
- [7] J. Cabazos, Tratamiento térmico de una aleación de aluminio 6063, México, 1998.
- [8] L. Gil, «Ninth LACCEI Latin American and Caribbean,» de Engineering for smart planet, Medellin, Colombia, 2011.
- [9] J. S. y. o. Echarri Juan, «Efectos del tratamiento de homogenizado en la extrudabilidad de la aleación 6063,» de Segundas jornadas de Investigación y transferencia , Argentina , 2013.
- [10] M. Garcia, «Estudio del efecto de la temperatura aplicada en la superficie de perfiles de aluminio extruido en aleación AA6061 T6, en la variación del porcentaje de elongación,» Universidad de Antioquía, Antioquía, 2016.
- [11] J. Lozano, «Análisis cuantitativo y caracterización morfológica de la aleación 6063. Diferencias microestructurales y mecánicas entre la superficie del núcleo de barras cilindricas de colada semicontinua,» REVISTA DE METALURGIA, n° 48, pp. 199 - 212, 2012.
- [12] Z. P. Pando F., «Análisis del proceso de fundición de aluminio y propuesta de

mejoras en la eficiencia de producción de bases dentadas en la empresa PRESS FORJA S.A.,» Cuenca, 2012.

- [13] Y. Díaz, «Cambios microestructurales en la reacción 6063 durante el homogenizado,» de CIENCIA Y TECNOLOGIA, 1998, pp. 29 - 34.
- [14] Aluminium Association, «Aluminium Standards and Data,» 1976.
- [15] P. Vega, Interviewee, Jefe de producción planta de extrusión CEDAL. [Entrevista]. 15 Marzo 2017.
- [16] M. P. y. o. Rivas A., «Effect of the microstructure on the mechanical properties and surface finish of an extruded AA-6063 aluminum alloy,» Advanced Materials Science & Technology, p. 24, 1999.
- [17] M. Wilson, Desarrollo de un modelo para gestión de inventarios de productos terminados caso: Distribuidora de aluminio arquitectónico UNITRAL, Latacunga, 2007.
- [18] J. Guamanquishpe, Interviewee, Correo electrónico Coordinación Postgrado UTA. [Entrevista]. 16 Marzo 2016.
- [19] R. López, Cálculo de Probabilidades e Inferencia Estadística con tópicos de Econometría, Caracas, Venezuela: Publicaciones UCAB, 1996.
- [20] T. A. Association, «International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminium and Wrought Aluminium Alloys,» USA, 2015.
- [21] INEN, «NTE INEN 2250: Aluminio, barras, varillas y tubos elaborados por extrusión,» Quito, 2013.
- [22] Secowarwick, «Secowarwick,» 12 01 2017. [En línea]. Available: <https://www.secowarwick.com/assets/Documents/Brochures/AP-Aluminium-Homogenizing-Furnaces5.pdf>.
- [23] J. Van de Langkruis, «Modelling Mg₂Si dissolution in a AA6063 alloy during pre-heating to extrusion temperature,» Netherlands.
- [24] W. Callister, Ciencia e ingeniería de los Materiales, Reverté, 2012.
- [25] MINER, «Metalurgia del Aluminio,» 15 10 2016. [En línea]. Available: <https://www.uniovi.es/sid-met-mat/TECNOLOGIASIDEROMETALURGICA/La%20Metalurgia%20del%20Aluminio%20%28web%29.pdf>.

- [26] ASMHandbookvolume2, VOLUME 2: Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials, USA, 1997.
- [27] ASMHandbookvolume3, VOLUME3: Alloy phase diagrams, USA, 1999.
- [28] ASMHandbookvolume4, VOLUME4: Heat treating, USA, 1999.
- [29] F. Milan, «Fabricación y caracterización de la aleación de aluminio reciclado con adición de silicio particulado,» Bogotá, 2016.
- [30] H. W. Navas, Interviewee, Proceso de Fundición con chatarra de aluminio y producción de aluminio secundario para el proceso de extrusión. [Entrevista]. 18 Diciembre 2016.
- [31] L. Herrera, Tutoria de la investigación científica, Ambato, 2003.
- [32] R. Sampieri, Metodología de la investigación, México: Mc. Graw Hill, 2010.

ANEXOS

Anexo I. Análisis de espectrometría de colada en el tundish

- a) Análisis espectral de colada para testigos en lingotes que serán homogenizados 4 horas

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A
FO-FN-06 - Resultado de Análisis de Espectrómetro
NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013



Resultados Químicos

Número de Muestra: 050422	Proveedor:	CEDAL
Cliente: CEDAL	Hora de chispeo:	08H15
Turno: EP	Fecha de chispeo:	2017/04/05
Jefe de Turno: L.PILA	Fecha de colada:	2017/04/05
Aleación: 6063	Nombre Colada:	TUNDISH

Análisis espectrométrico Foundry-MASTER Grado :

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn
1	98,6	0,504	0,213	0,0957	0,0120	0,510	0,0241
2	98,6	0,489	0,206	0,102	0,0131	0,498	0,0238
3	98,6	0,480	0,214	0,103	0,0118	0,503	0,0245
Ave	98,6	0,491	0,211	0,100	0,0123	0,504	0,0241
	Ni	Ti	Be	Ca	Li	Sn	V
1	< 0,0025	0,0097	< 0,0001	0,0006	0,0004	< 0,0075	0,0082
2	0,0034	0,0101	< 0,0001	0,0006	0,0004	< 0,0075	0,0080
3	0,0067	0,0097	< 0,0001	0,0005	0,0004	< 0,0075	0,0077
Ave	0,0037	0,0098	< 0,0001	0,0006	0,0004	< 0,0075	0,0080
	Zr	B	Cd	Co	Ag	Hg	
1	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0025	
2	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0025	
3	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0025	
Ave	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0025	

- b) Análisis espectrométrico de colada para testigos en lingotes que serán homogenizados 5 horas

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A
FO-FN-06 - Resultado de Análisis de Espectrómetro
NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013



Resultados Químicos

Número de Muestra: 060421	Proveedor: CEDAL
Cliente: CEDAL	Hora de chispeo: 07H15
Turno: SEGUNDO	Fecha de chispeo: 2017/04/06
Jefe de Turno: L PILA	Fecha de colada: 2017/04/06
Aleación: 6063	Nombre Colada: TUNDISH

Análisis espectrométrico Foundry-MASTER Grado:

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr
1	98,5	0,503	0,239	0,101	0,0132	0,493	0,0264	< 0,0010
2	98,6	0,493	0,228	0,100	0,0132	0,501	0,0248	< 0,0010
3	98,5	0,485	0,246	0,103	0,0127	0,503	0,0267	< 0,0010
Ave	98,5	0,494	0,237	0,101	0,0130	0,499	0,0260	< 0,0010

	Ni	Ti	Be	Ca	Li	Sn	V	Na
1	0,0096	0,0065	< 0,0001	0,0005	0,0004	< 0,0075	0,0052	0,0010
2	0,0085	0,0064	< 0,0001	0,0006	0,0004	< 0,0075	0,0066	0,0009
3	0,0097	0,0059	< 0,0001	0,0006	0,0004	< 0,0075	0,0068	0,0008
Ave	0,0093	0,0063	< 0,0001	0,0005	0,0004	< 0,0075	0,0062	0,0009

	Zr	B	Cd	Co	Ag	Hg
1	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0025
2	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0025
3	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0025
Ave	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0025

Fecha

Jefe de Turno

Jefe de Fundición

- c) Análisis espectral para colada para testigos en lingotes que serán homogenizados 5 horas

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A
FO-FN-06 - Resultado de Análisis de Espectrómetro
NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013



Resultados Químicos

Número de Muestra:	070425	Proveedor :	CEDAL
Cliente :	CEDAL	Hora de chispeo:	11H20
Turno :	SEGUNDO	Fecha de chispeo:	2017/04/07
Jefe de Turno:	L PILA	Fecha de colada :	2017/04/07
Alación :	6063	Nombre Colada :	TUNDISH

Análisis espectral Foundry-MASTER Grado :

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr
1	98,6	0,503	0,204	0,100	0,0126	0,496	0,0234	< 0,0010
2	98,6	0,513	0,209	0,107	0,0124	0,481	0,0233	0,0022
3	98,6	0,500	0,210	0,104	0,0124	0,484	0,0225	< 0,0010
Ave	98,6	0,505	0,208	0,104	0,0125	0,487	0,0231	< 0,0010
	Ni	Ti	Be	Ca	Li	Sn	V	Na
1	0,0045	0,0064	< 0,0001	0,0006	0,0004	< 0,0075	0,0086	0,0011
2	< 0,0025	0,0061	< 0,0001	< 0,0005	0,0004	< 0,0075	0,0076	0,0009
3	0,0065	0,0067	< 0,0001	< 0,0005	0,0004	< 0,0075	0,0075	0,0009
Ave	0,0045	0,0064	< 0,0001	0,0005	0,0004	< 0,0075	0,0079	0,0010
	Zr	B	Cd	Co	Ag	Hg		
1	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0025		
2	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0025		
3	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0025		
Ave	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0025		

Fecha

Jefe de Turno

Jefe de Fundición

Anexo II Reportes de ensayos a tracción

a) Probetas sin homogenización

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

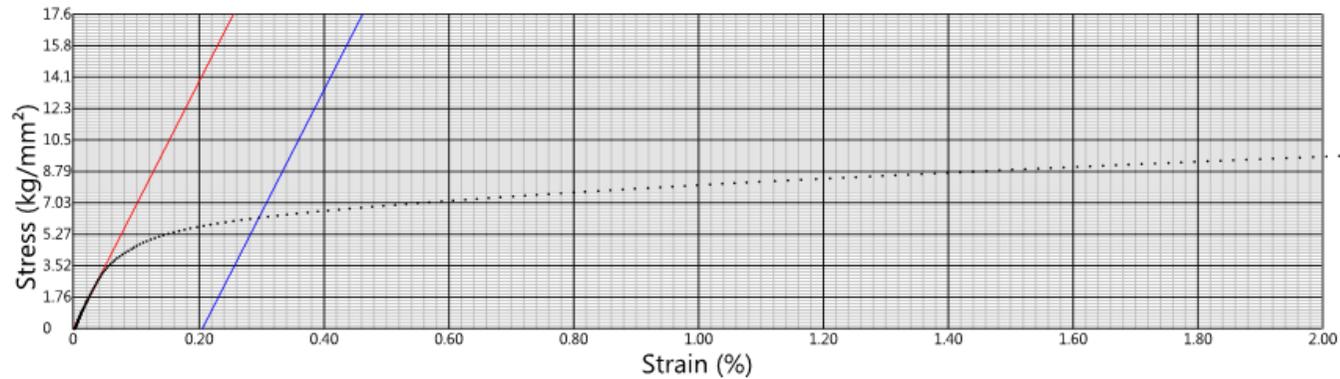
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	45
Lote de ensayo:	SH1	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
SH1	12.6	12.7	159	2440	150	986	60.8	26.2



CRITERIO DE ACEPTACION 6063	CRITERIO DE ACEPTACION 6005
LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa	LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa	RESISTENCIA A LA TRACCION: 260MPa

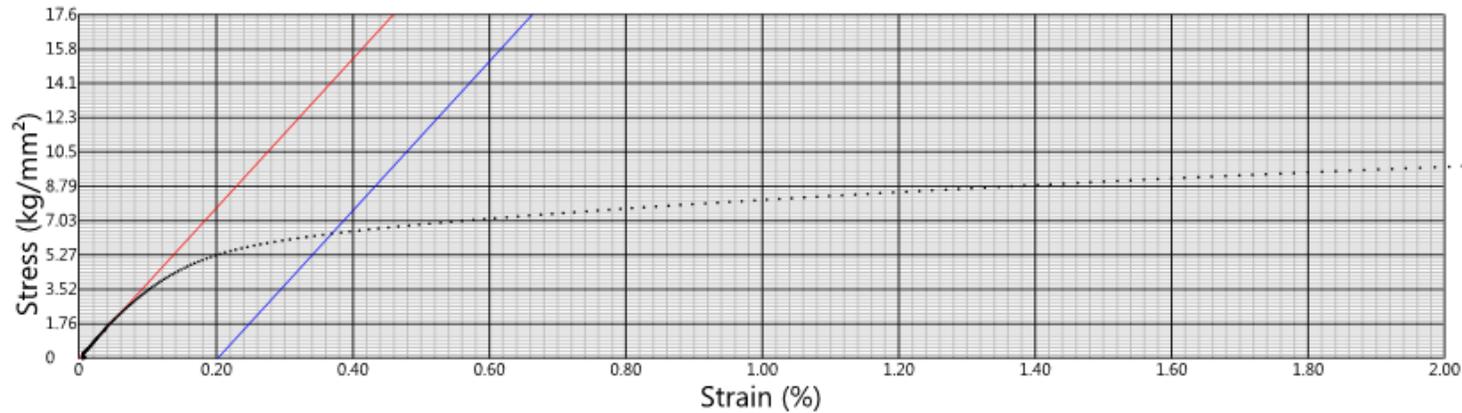
CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS
 NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
 FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	05/02/2017	Humedad Relativa (%):	45
Lote de ensayo:	SH2	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
SH2	12.4	12.6	156	2390	150	995	62.4	29.5



CRITERIO DE ACEPTACION 6063	CRITERIO DE ACEPTACION 6005
LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa	LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa	RESISTENCIA A LA TRACCION: 260MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

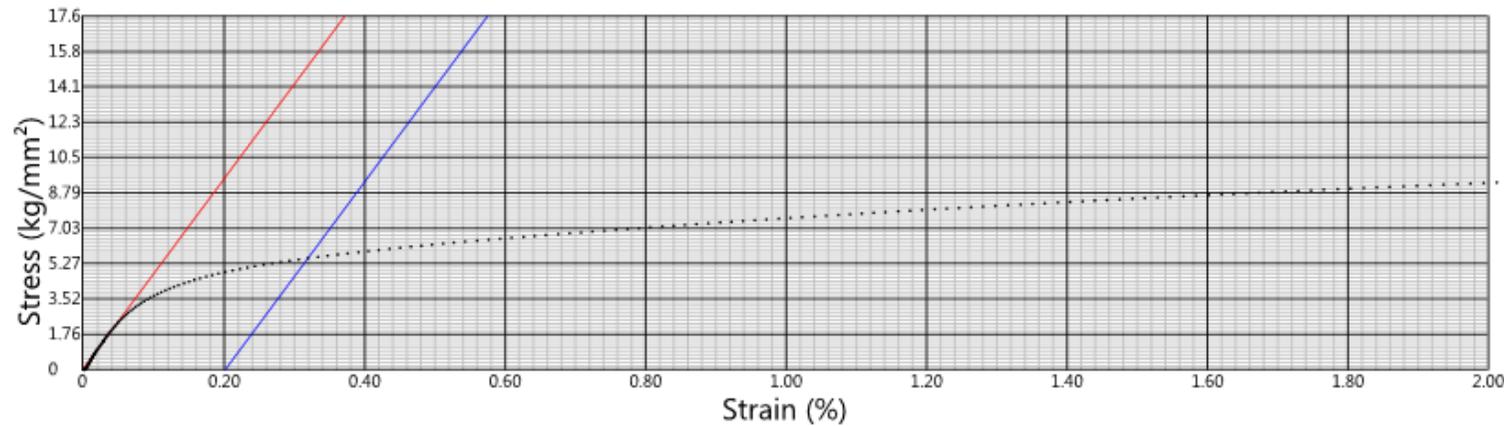
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	45
Lote de ensayo:	SH4	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
SH4	12.7	12.5	159	2320	143	880	54.3	25.6



CRITERIO DE ACEPTACION 6063
 LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa
 RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa

CRITERIO DE ACEPTACION 6005
 LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa
 RESISTENCIA A LA TRACCION: 260MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

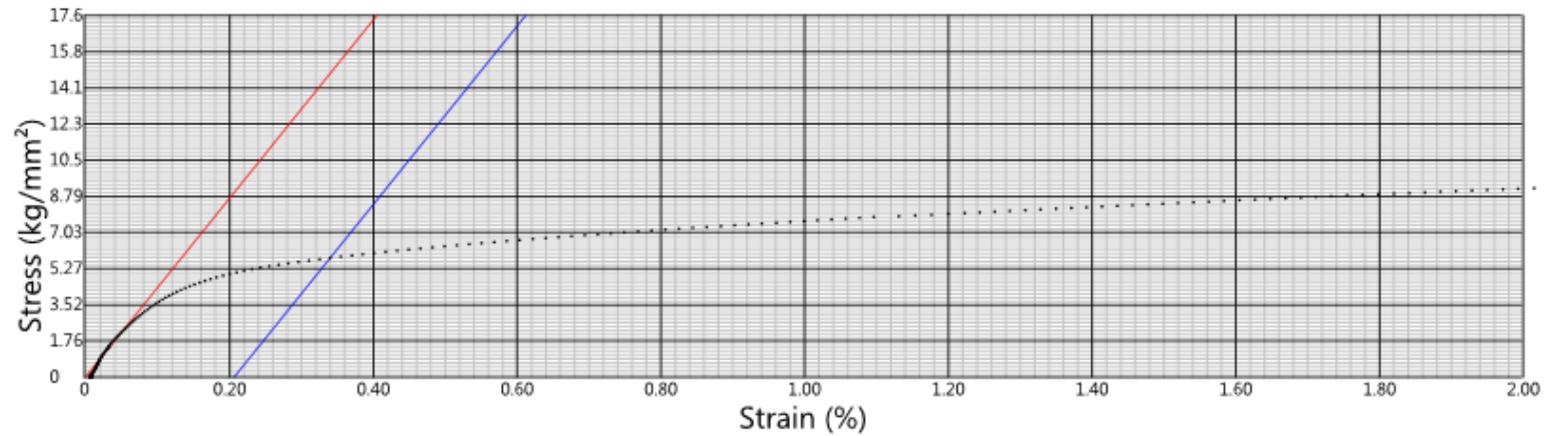
NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name: Generic Metals Tensile with Ext. Cedral ME
Test Start Date and Time: 06/02/2017
Lote de ensayo: 24
Nombre Operador: SH5

Temperatura (°C): 24
Humedad Relativa (%): 46
Numero de Probetas ensayadas: 1
Aleación: 6063
Temple: NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
SH5	12.7	12.5	159	2360	146	920	56.8	35.0



CRITERIO DE ACEPTACION 6063

LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa

CRITERIO DE ACEPTACION 6005

LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: 260MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

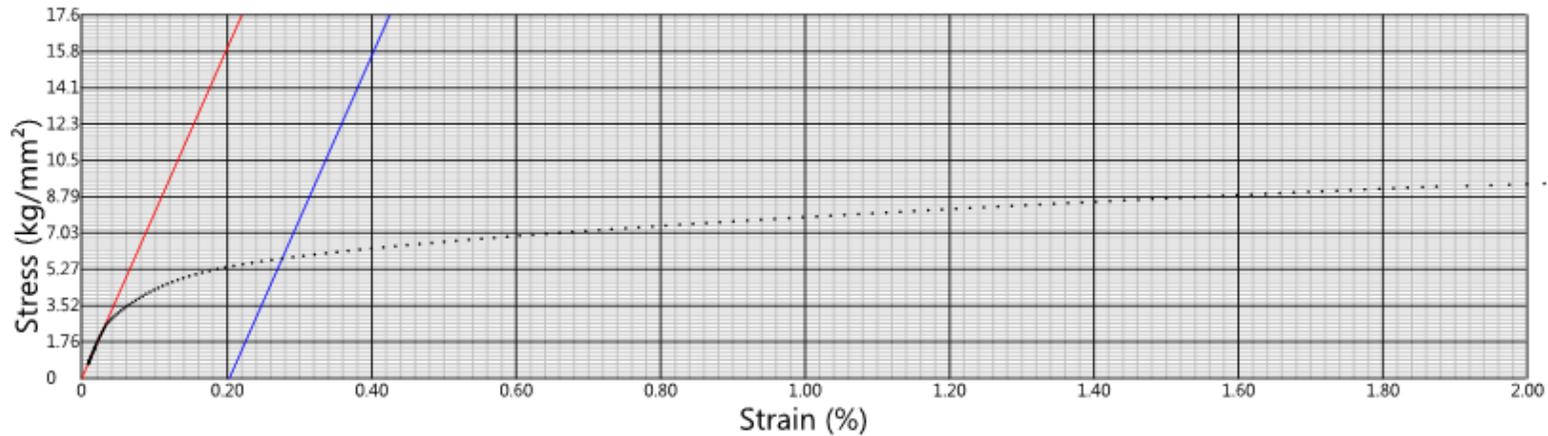
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TÉCNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	46
Lote de ensayo:	SH6	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
SH6	12.6	12.6	161	2430	148	935	56.8	136000



CRITERIO DE ACEPTACION 6063

LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa

CRITERIO DE ACEPTACION 6005

LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: 260MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

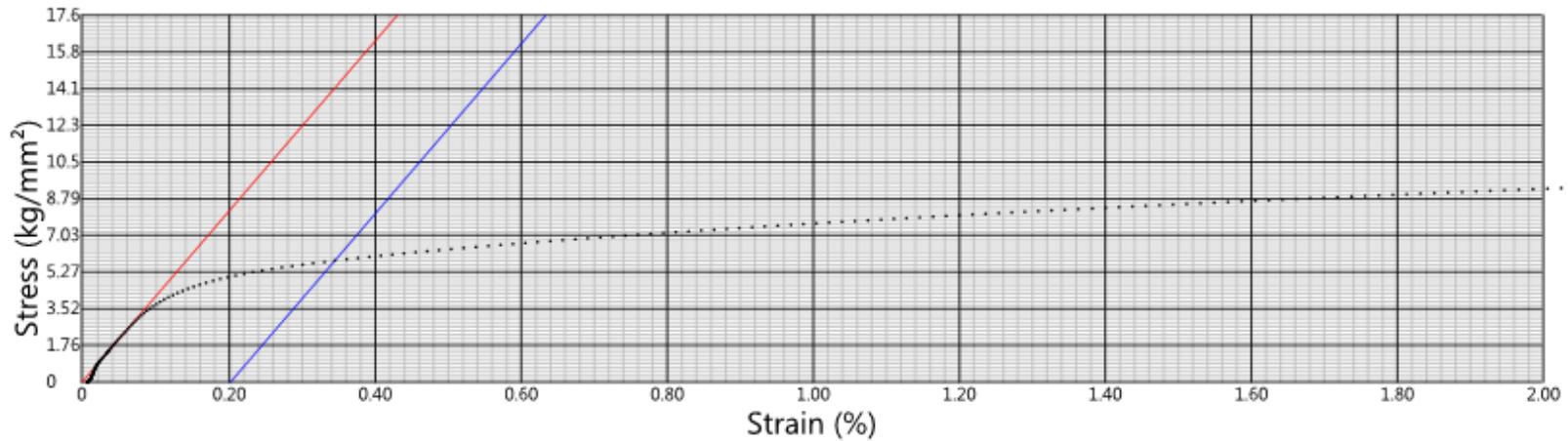
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	46
Lote de ensayo:	SH7	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	RG	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
SH7	12.6	13.0	164	2420	145	954	57.1	32.4



CRITERIO DE ACEPTACION 6063

LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa

RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa

CRITERIO DE ACEPTACION 6005

LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa

RESISTENCIA A LA TRACCION: 260MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

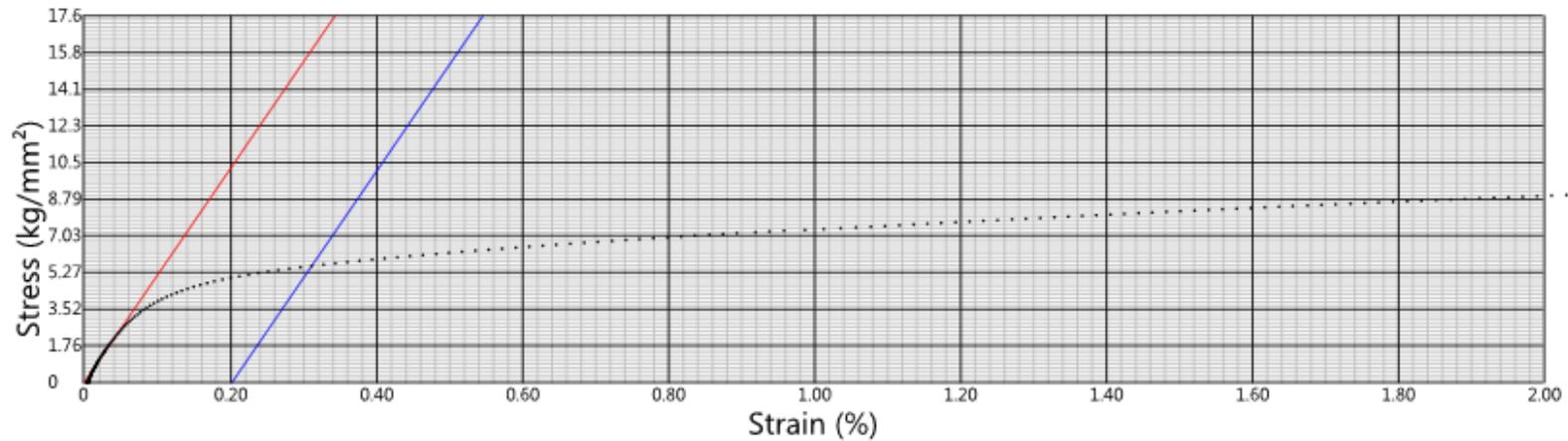
NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name: Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME
Test Start Date and Time: 06/02/2017
Lote de ensayo: SH8
Nombre Operador: ER

Temperatura (°C): 23
Humedad Relativa (%): 47
Numero de Probetas ensayadas: 1
Aleación: 6063
Temple: NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
SH8	12.5	12.9	161	2340	142	900	54.8	30.1



CRITERIO DE ACEPTACION 6063

LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa

RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa

CRITERIO DE ACEPTACION 6005

LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa

RESISTENCIA A LA TRACCION: 260MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

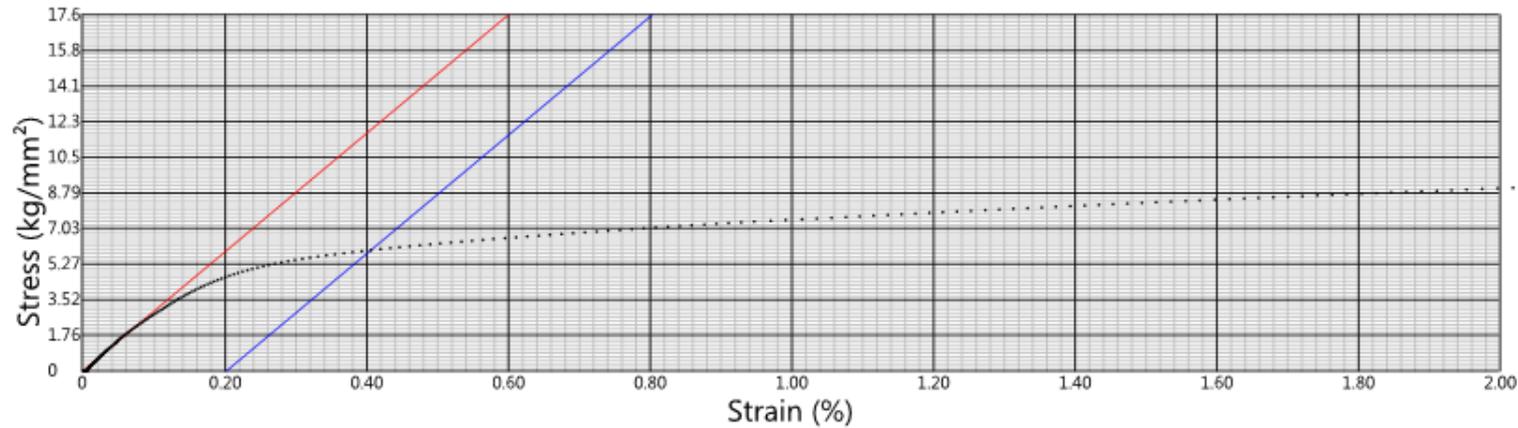
NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name: Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME
Test Start Date and Time: 06/02/2017
Lote de ensayo: SH9
Nombre Operador: RG

Temperatura (°C): 23
Humedad Relativa (%): 48
Numero de Probetas ensayadas: 1
Aleación: 6063
Temple: NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
SH 9	11.9	13.0	154	2230	142	920	58.4	33.7



CRITERIO DE ACEPTACION 6063

LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa

CRITERIO DE ACEPTACION 6005

LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: 260MPa

b) Probetas con tiempo de homogenización promedio de 4 horas

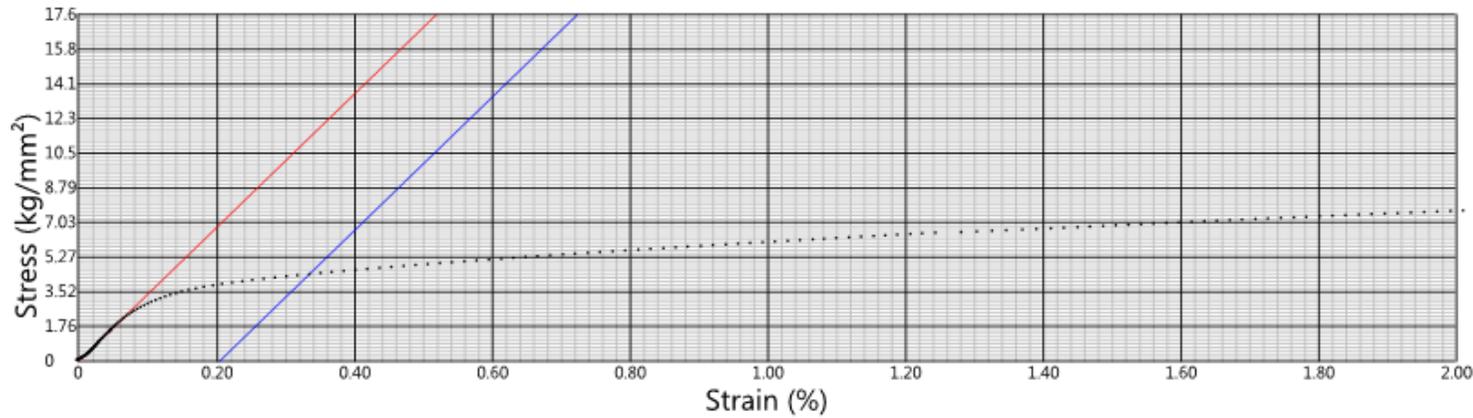
CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS
NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
 FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	44
Lote de ensayo:	4HTC1	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
4HTC1	12.7	11.9	150	1830	120	664	43.3	36.1



CRITERIO DE ACEPTACION 6063		CRITERIO DE ACEPTACION 6005	
LIMITE DE FLUENCIA:	MIN 110 MPa	LIMITE DE FLUENCIA:	240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION:	MIN 150 MPa	RESISTENCIA A LA TRACCION:	260 MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

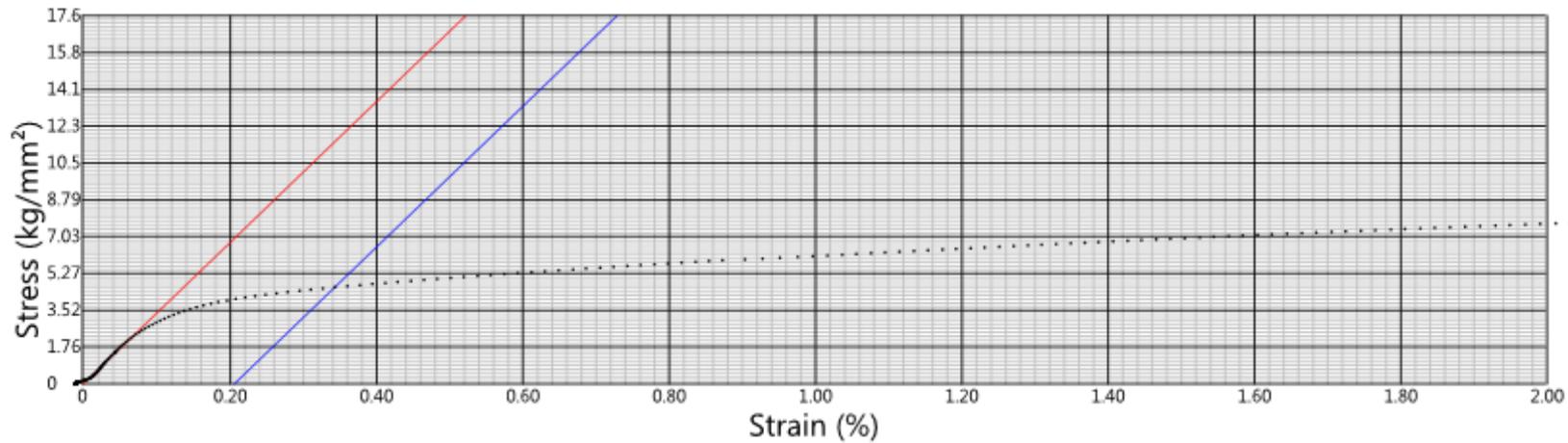
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generico Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	43
Lote de ensayo:	4HTC2	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
4HTC2	12.6	12.6	159	1910	118	734	45.2	31.9



CRITERIO DE ACEPTACION 6063	CRITERIO DE ACEPTACION 6005
LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa	LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa	RESISTENCIA A LA TRACCION: 260MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

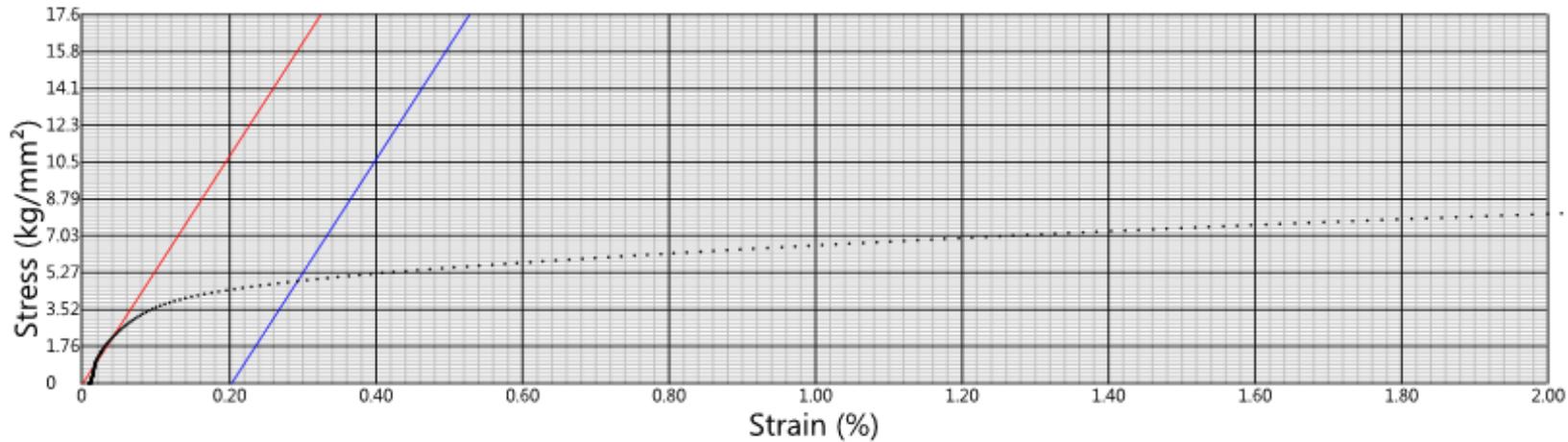
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	43
Lote de ensayo:	4HTC3	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
4HTC3	12.5	12.6	157	1980	123	767	47.7	32.0



CRITERIO DE ACEPTACION 6063
 LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa
 RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa

CRITERIO DE ACEPTACION 6005
 LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa
 RESISTENCIA A LA TRACCION: 260MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

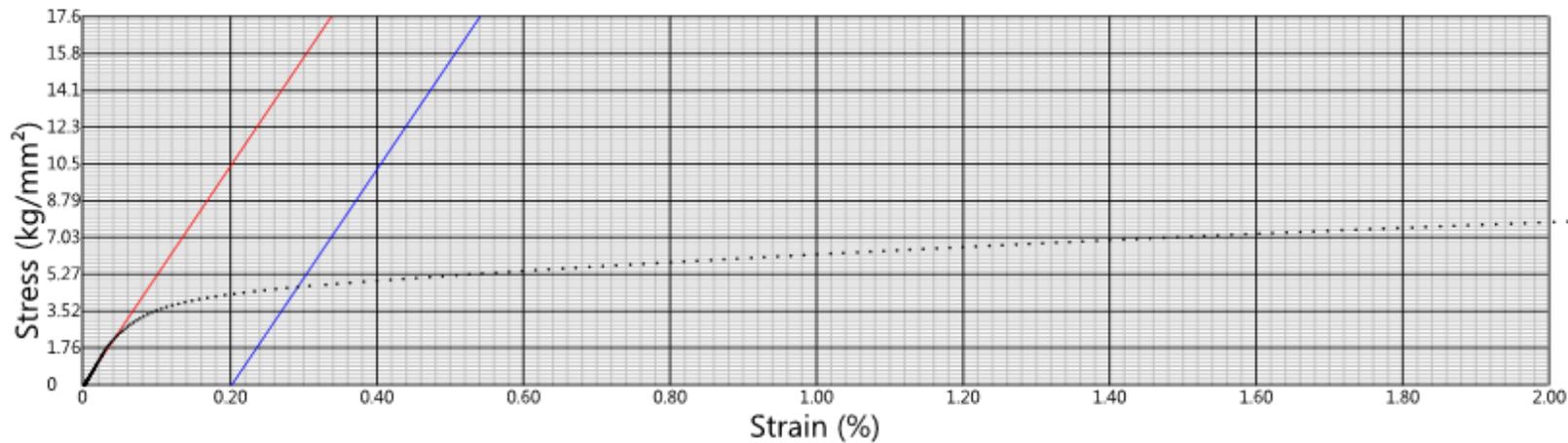
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Genero Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	45
Lote de ensayo:	4HTC4-5	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
4HTC4-5	12.5	12.8	160	2020	124	747	45.8	36.2



CRITERIO DE ACEPTACION 6063		CRITERIO DE ACEPTACION 6005	
LIMITE DE FLUENCIA:	MIN 110 MPa	LIMITE DE FLUENCIA:	240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION:	MIN 150 MPa	RESISTENCIA A LA TRACCION:	260MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

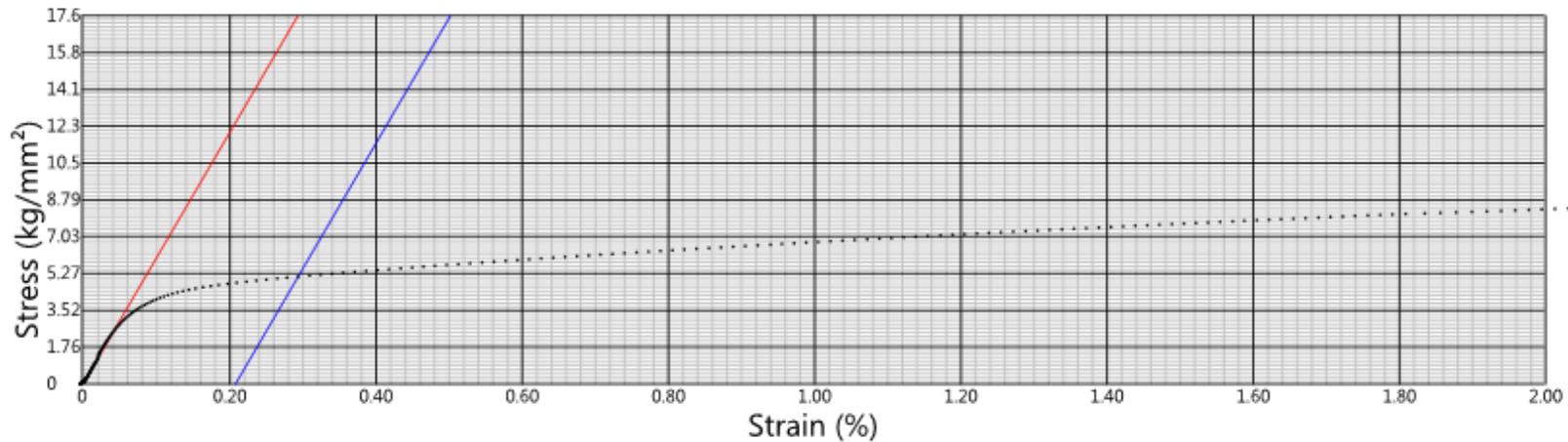
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generico Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	45
Lote de ensayo:	4HTC6	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
4HTC6	13.0	12.1	157	2090	130	804	50.3	25.4



CRITERIO DE ACEPTACION 6063		CRITERIO DE ACEPTACION 6005	
LIMITE DE FLUENCIA:	MIN 110 MPa	LIMITE DE FLUENCIA:	240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION:	MIN 150 MPa	RESISTENCIA A LA TRACCION:	260MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

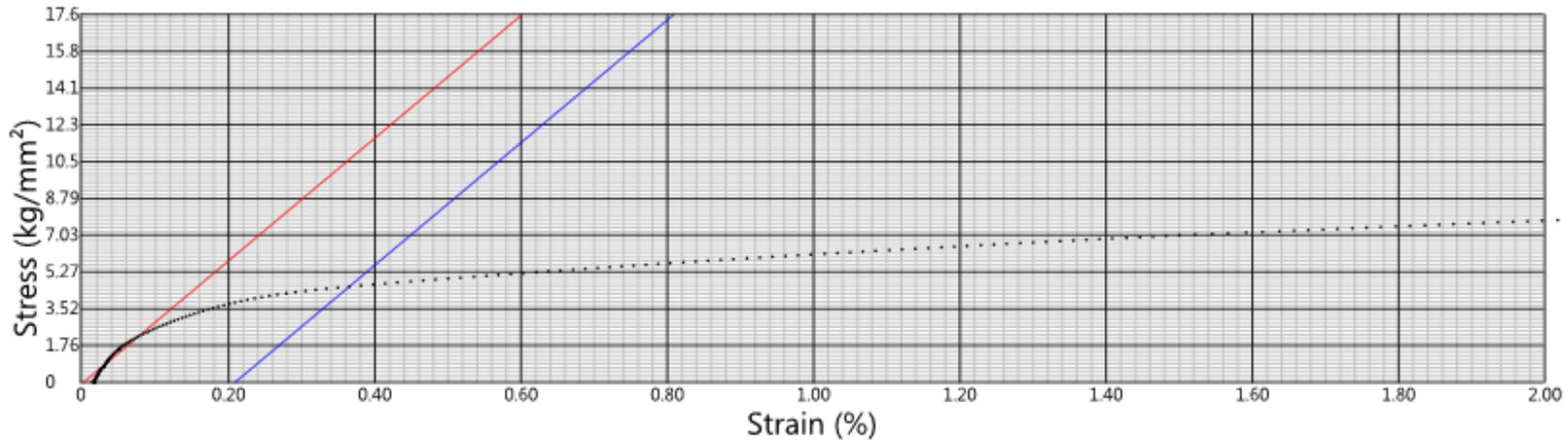
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	45
Lote de ensayo:	4HTC7	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
4HTC7	12.5	11.7	146	1850	124	668	44.9	36.9



CRITERIO DE ACEPTACION 6063

LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa

CRITERIO DE ACEPTACION 6005

LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: 260MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

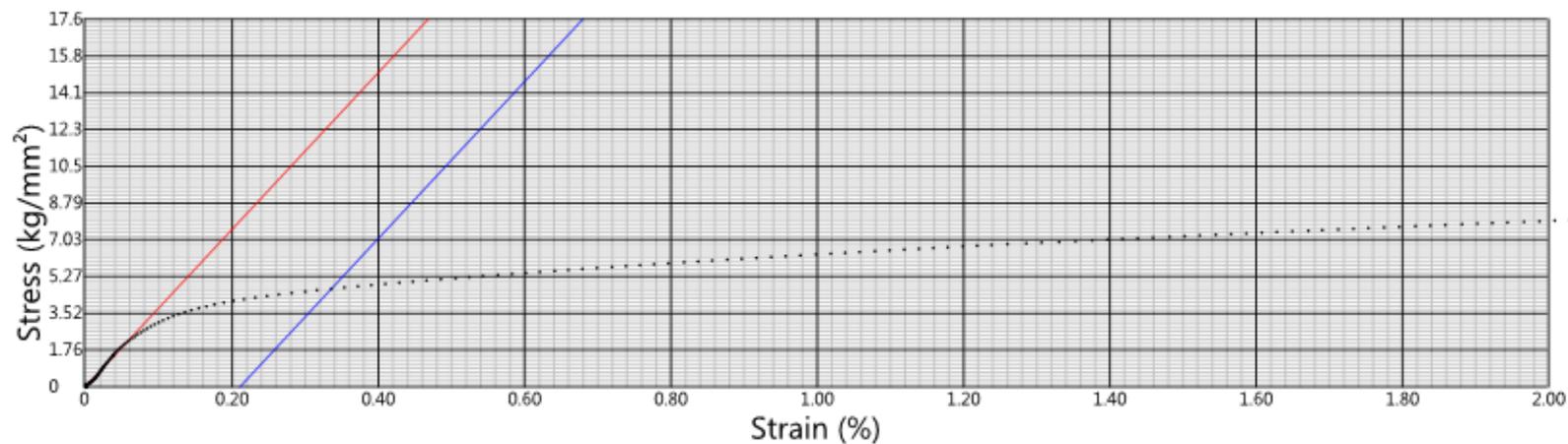
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	45
Lote de ensayo:	4HTC8	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
4HTC8	12.3	12.3	151	1970	128	708	45.9	34.5



CRITERIO DE ACEPTACION 6063		CRITERIO DE ACEPTACION 6005	
LIMITE DE FLUENCIA:	MIN 110 MPa	LIMITE DE FLUENCIA:	240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION:	MIN 150 MPa	RESISTENCIA A LA TRACCION:	260 MPa

b) Probetas con tiempo de homogenización promedio de 5 horas

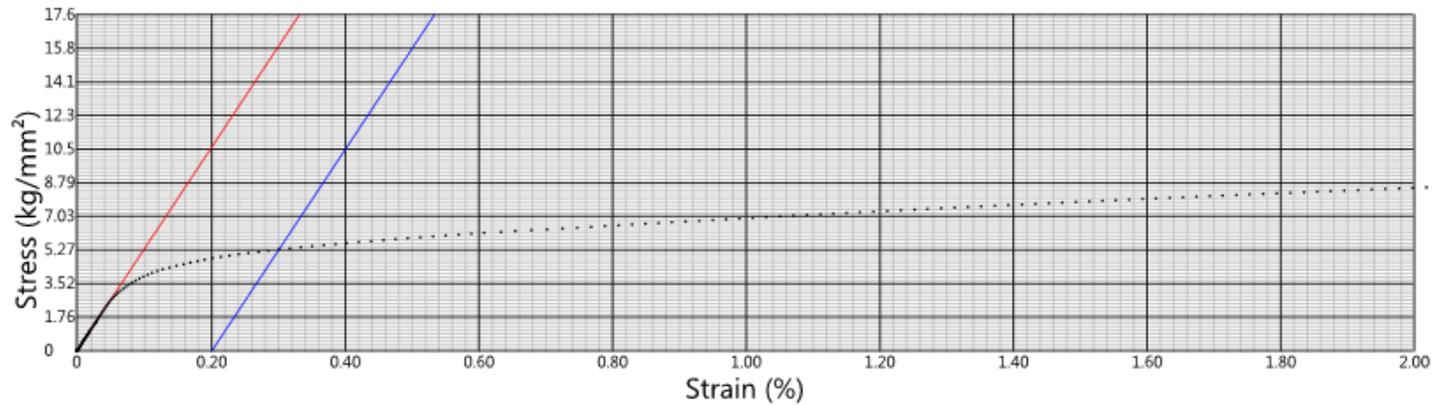
CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS
NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
 FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	46
Lote de ensayo:	SHTC1	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
SHTC1	12.7	12.2	155	2170	137	821	51.9	35.3



CRITERIO DE ACEPTACION 6063		CRITERIO DE ACEPTACION 6005	
LIMITE DE FLUENCIA:	MIN 110 MPa	LIMITE DE FLUENCIA:	240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION:	MIN 150 MPa	RESISTENCIA A LA TRACCION:	260MPa

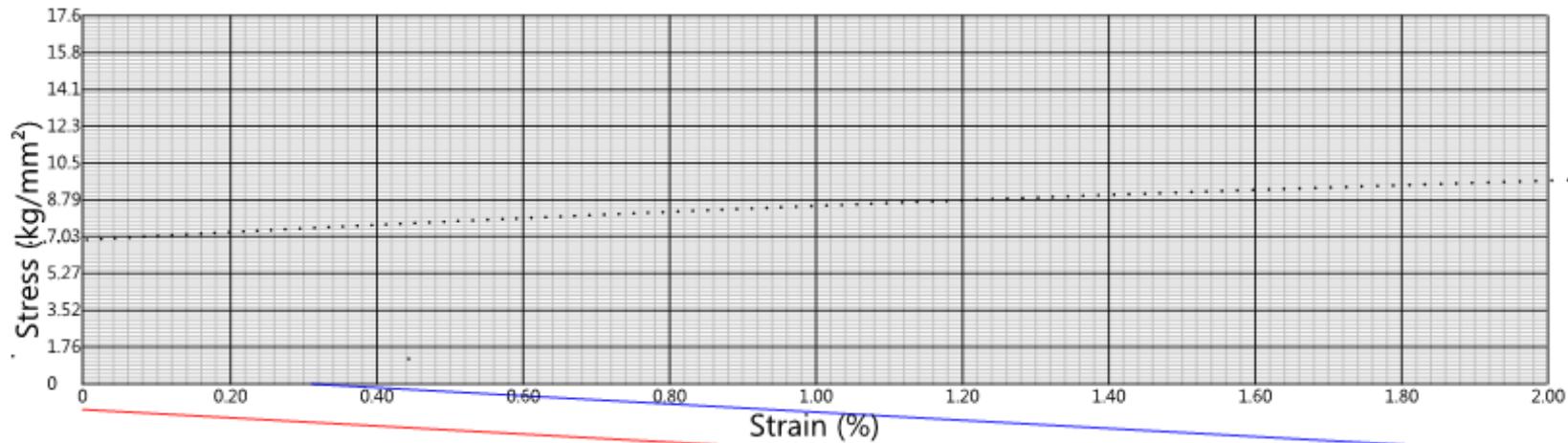
CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS
NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	45
Lote de ensayo:	5HTC2	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
5HTC2	12.8	12.2	156	2210	139	421	26.5	34.8



CRITERIO DE ACEPTACION 6063		CRITERIO DE ACEPTACION 6005	
LIMITE DE FLUENCIA:	MIN 110 MPa	LIMITE DE FLUENCIA:	240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION:	MIN 150 MPa	RESISTENCIA A LA TRACCION:	260MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

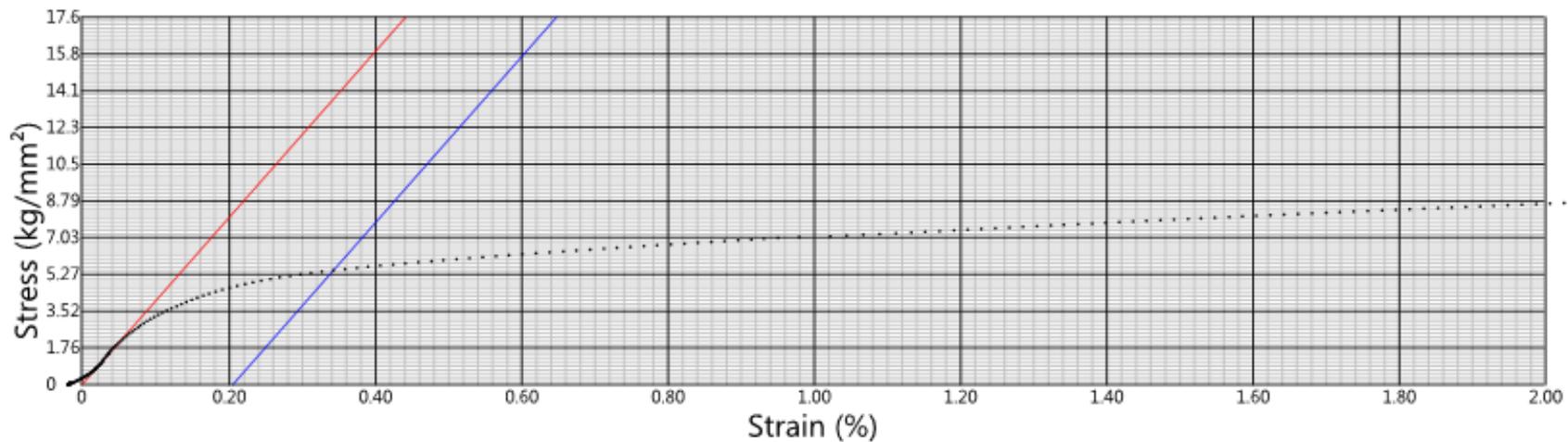
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	44
Lote de ensayo:	5HTC3	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
5HTC3	12.4	12.7	157	2240	139	859	53.5	33.7



CRITERIO DE ACEPTACION 6063

LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa

CRITERIO DE ACEPTACION 6005

LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: 260 MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

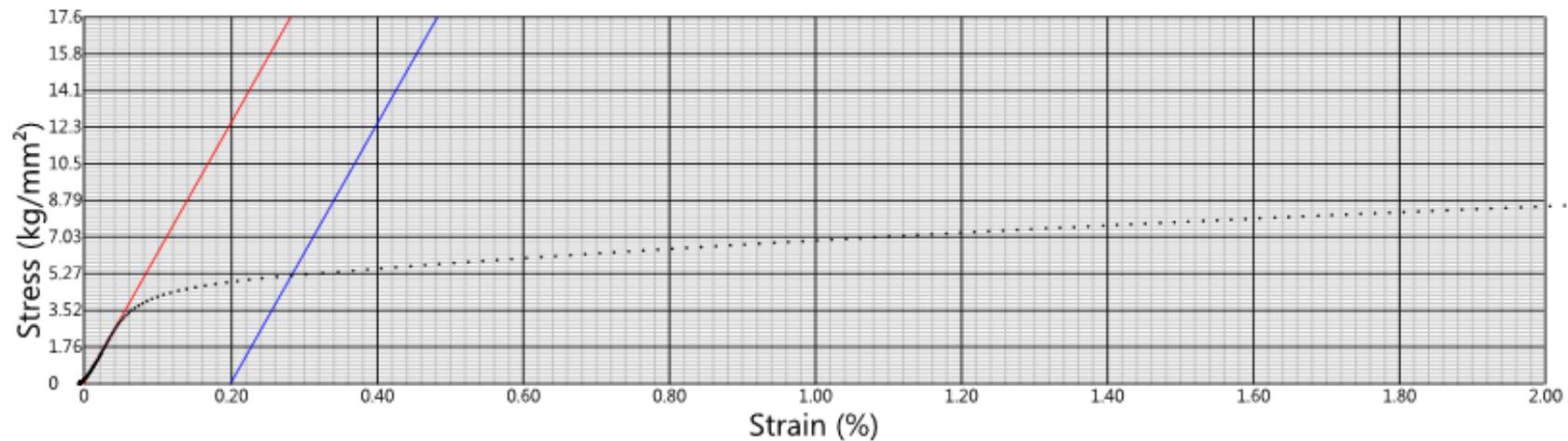
NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name: Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME
Test Start Date and Time: 06/02/2017
Lote de ensayo: 5HTC4-5
Nombre Operador: ER

Temperatura (°C): 24
Humedad Relativa (%): 45
Numero de Probetas ensayadas: 1
Aleación: 6063
Temple: NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
5HTC4-5	12.6	12.7	160	2210	135	829	50.8	33.1



CRITERIO DE ACEPTACION 6063

LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa

RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa

CRITERIO DE ACEPTACION 6005

LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa

RESISTENCIA A LA TRACCION: 260MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

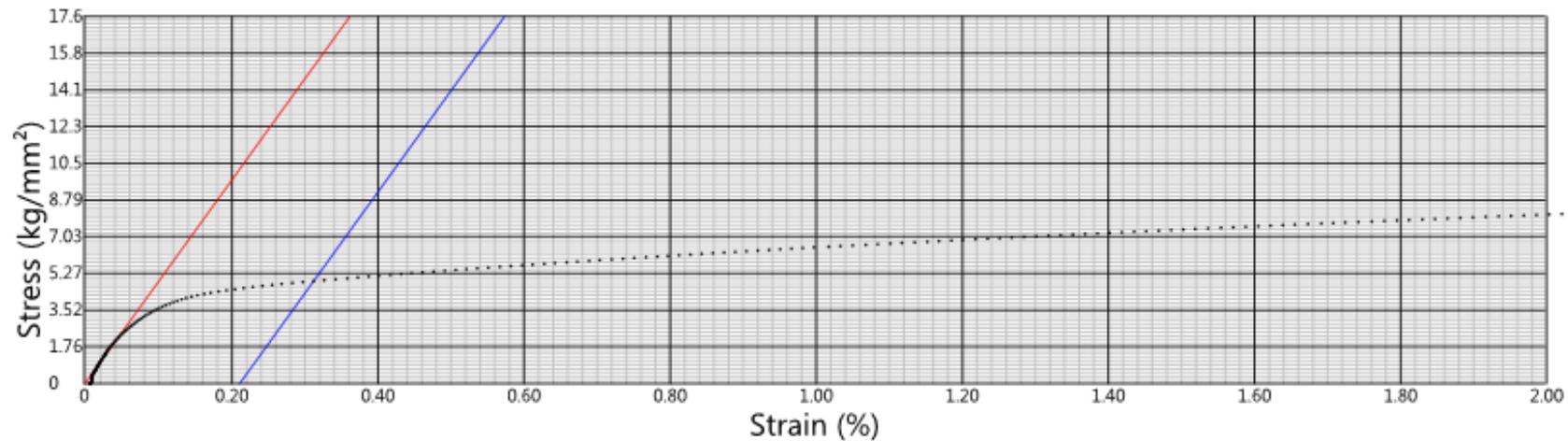
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	45
Lote de ensayo:	5HTC6	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Límite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
5HTC6	12.2	12.5	152	1940	125	748	48.1	29.9



CRITERIO DE ACEPTACION 6063

LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa

RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa

CRITERIO DE ACEPTACION 6005

LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa

RESISTENCIA A LA TRACCION: 260MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

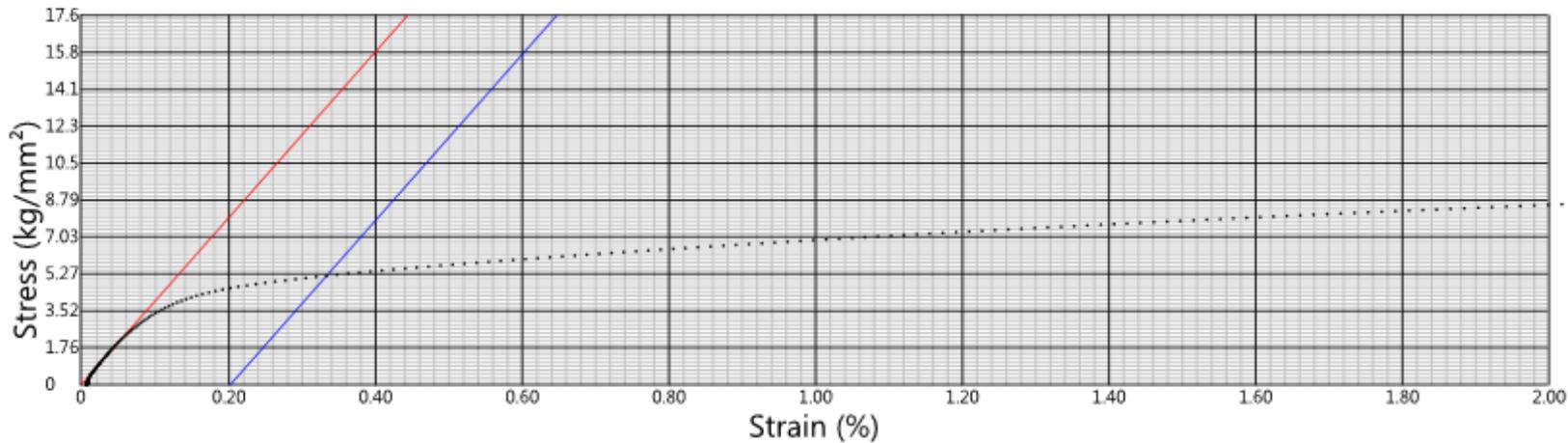
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	23
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	47
Lote de ensayo:	5HTC7	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	RG	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Límite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
5HTC7	12.5	12.4	154	2060	131	798	50.8	33.1



CRITERIO DE ACEPTACION 6063
 LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa
 RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa

CRITERIO DE ACEPTACION 6005
 LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa
 RESISTENCIA A LA TRACCION: 260MPa

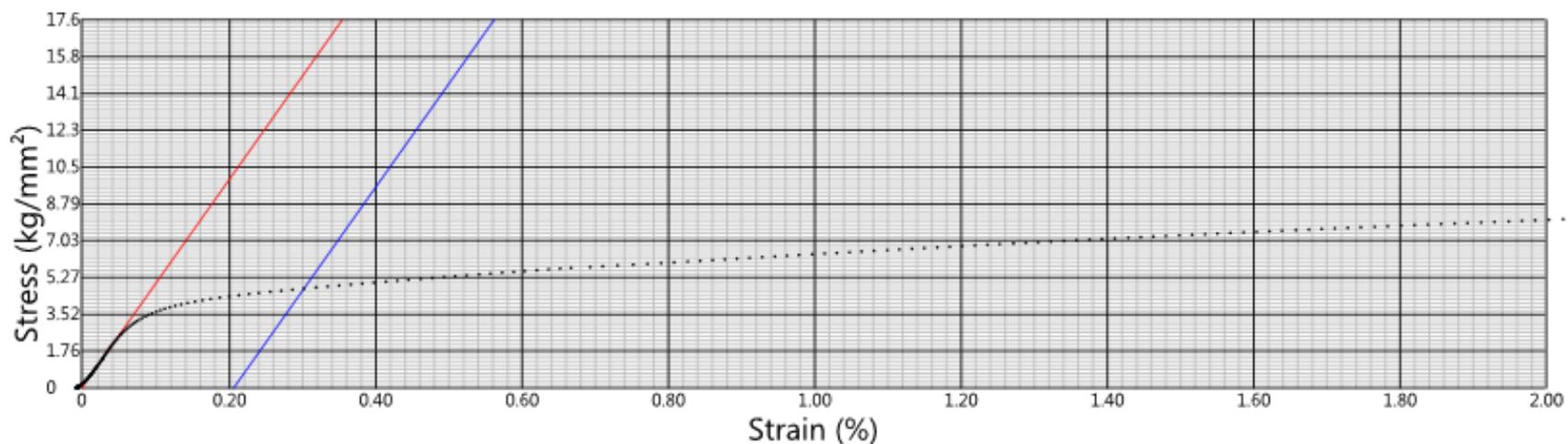
CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS
NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	45
Lote de ensayo:	5HTC8	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
5HTC8	12.9	12.4	160	2010	124	758	46.5	30.9



CRITERIO DE ACEPTACION 6063

LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa

CRITERIO DE ACEPTACION 6005

LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: 260 MPa

c) Probetas con tiempo de homogenización promedio de 6 horas

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

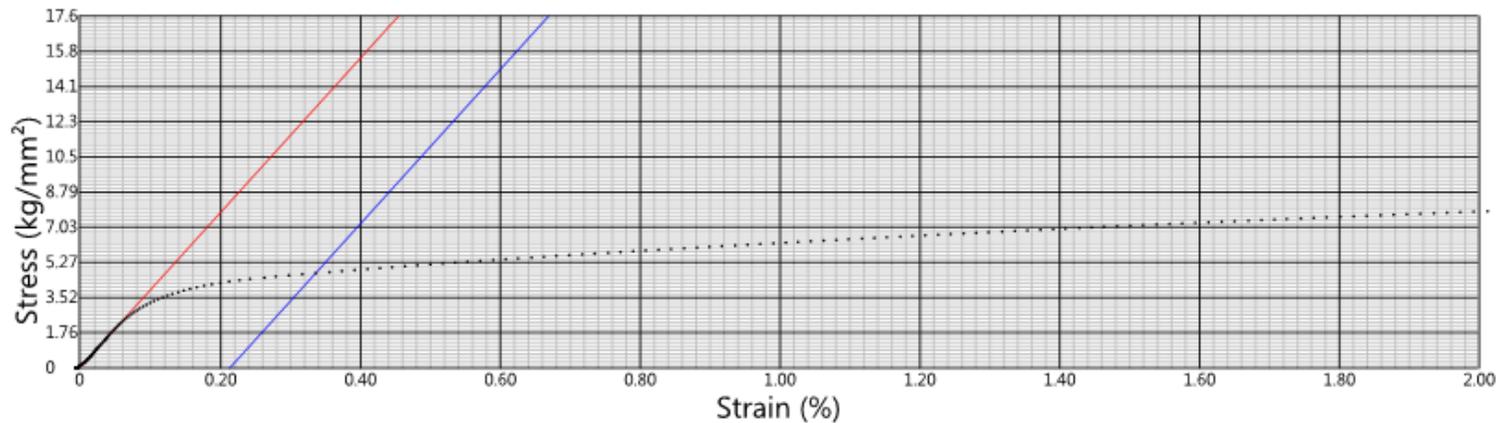
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Genero Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	42
Lote de ensayo:	6HTC2	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
6HTC2	12.5	12.8	160	2050	126	758	46.5	28.7



CRITERIO DE ACEPTACION 6063	CRITERIO DE ACEPTACION 6005
LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa	LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa	RESISTENCIA A LA TRACCION: 260 MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

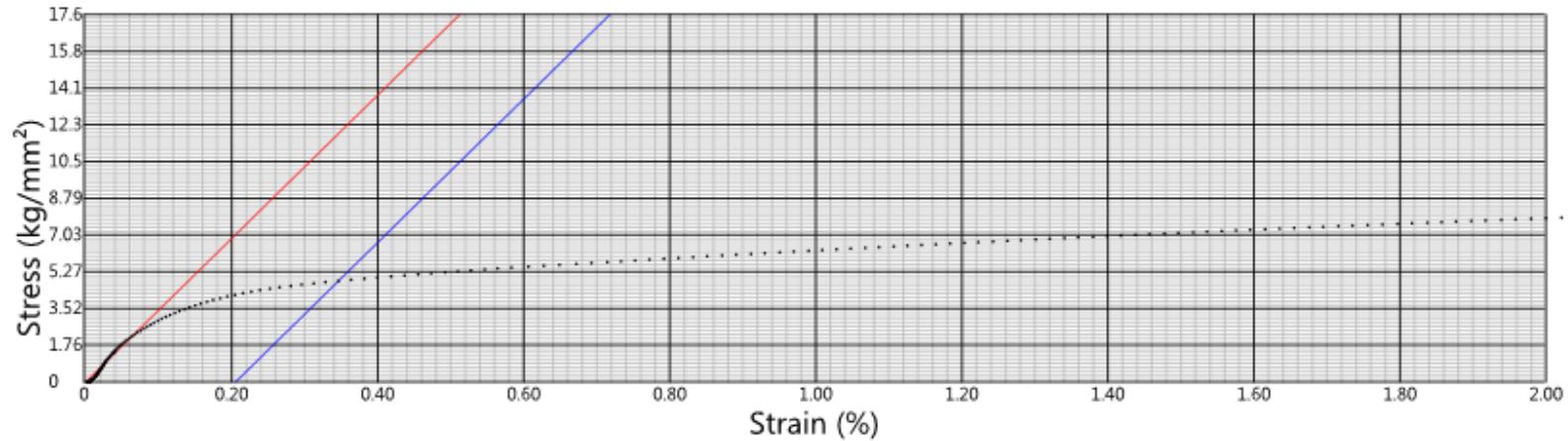
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	43
Lote de ensayo:	6HTC3	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Máxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Límite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
6HTC3	12.7	12.8	163	2100	126	787	47.4	33.5



CRITERIO DE ACEPTACION 6063	CRITERIO DE ACEPTACION 6005
LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa	LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa	RESISTENCIA A LA TRACCION: 260MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

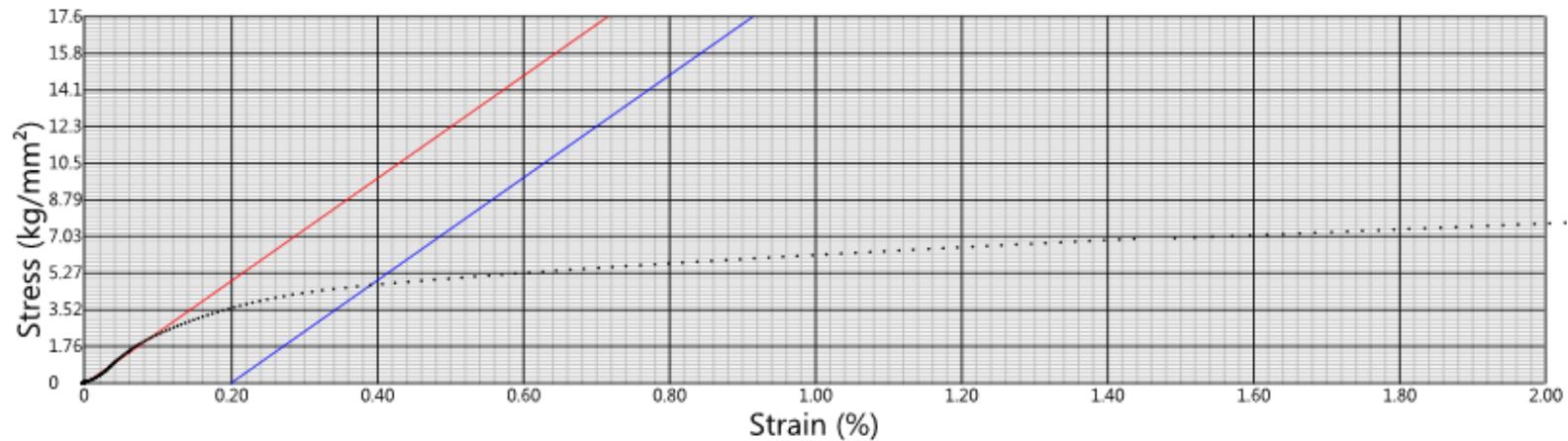
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TÉCNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	44
Lote de ensayo:	6HTC4-5	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
6HTC4-5	12.4	12.3	153	1960	126	718	46.1	32.2



CRITERIO DE ACEPTACION 6063		CRITERIO DE ACEPTACION 6005	
LIMITE DE FLUENCIA:	MIN 110 MPa	LIMITE DE FLUENCIA:	240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION:	MIN 150 MPa	RESISTENCIA A LA TRACCION:	260MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

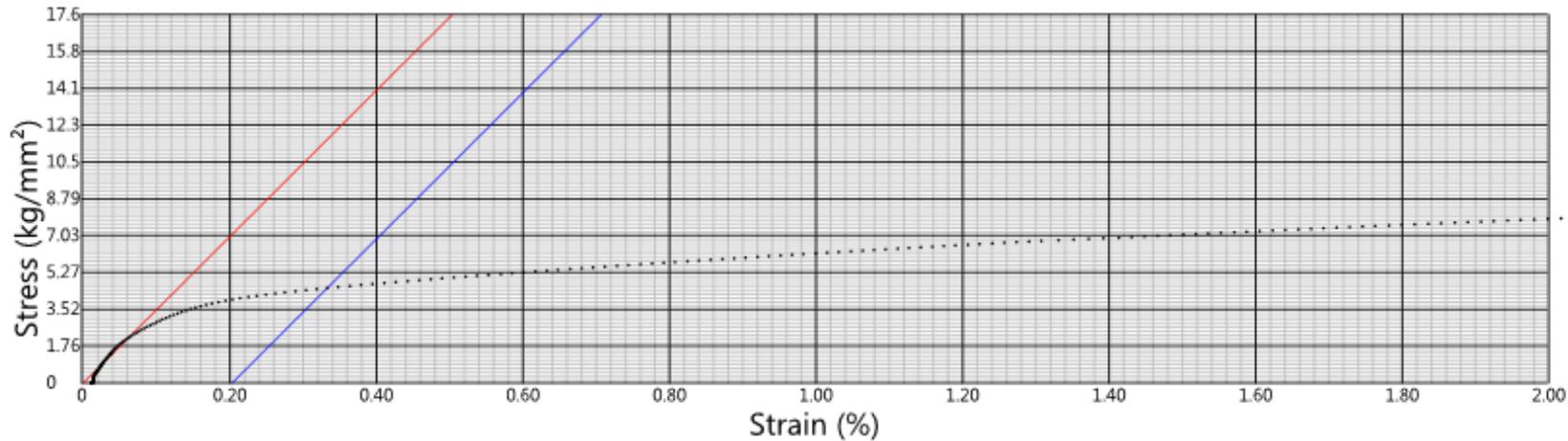
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TÉCNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	44
Lote de ensayo:	6HTC6	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
6HTC6	12.7	12.7	162	2100	127	734	44.4	33.1



CRITERIO DE ACEPTACION 6063

LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa

CRITERIO DE ACEPTACION 6005

LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: 260 MPa

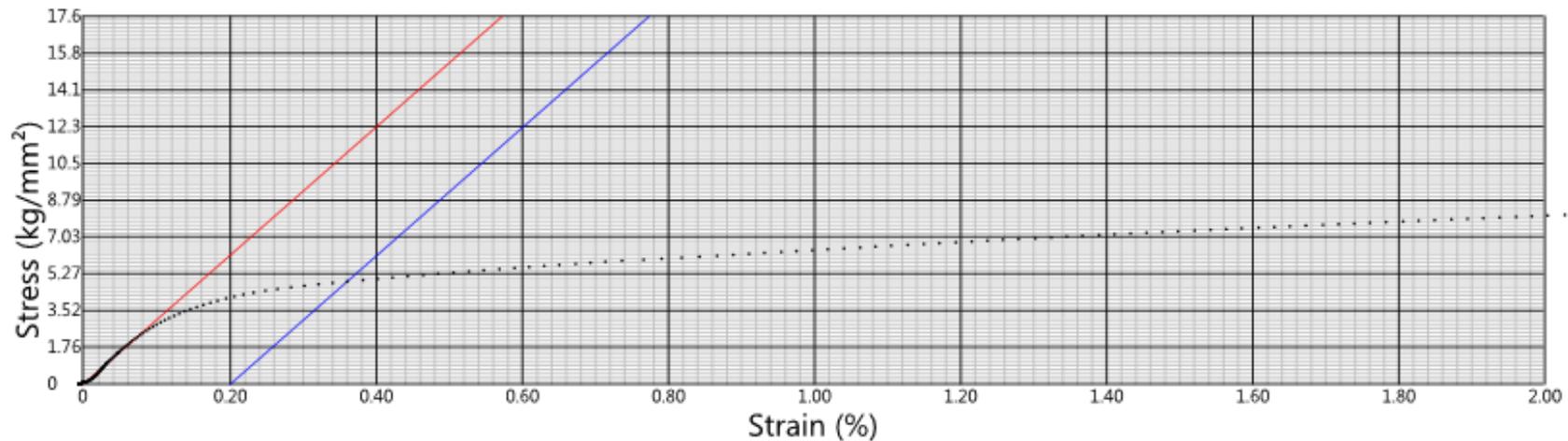
CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS
 NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
 FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	45
Lote de ensayo:	6HTC7	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
6HTC7	12.6	12.4	156	2040	128	765	48.1	34.4



CRITERIO DE ACEPTACION 6063	CRITERIO DE ACEPTACION 6005
LIMITE DE FLUENCIA: MIN 110 MPa	LIMITE DE FLUENCIA: 240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION: MIN 150 MPa	RESISTENCIA A LA TRACCION: 260 MPa

CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.

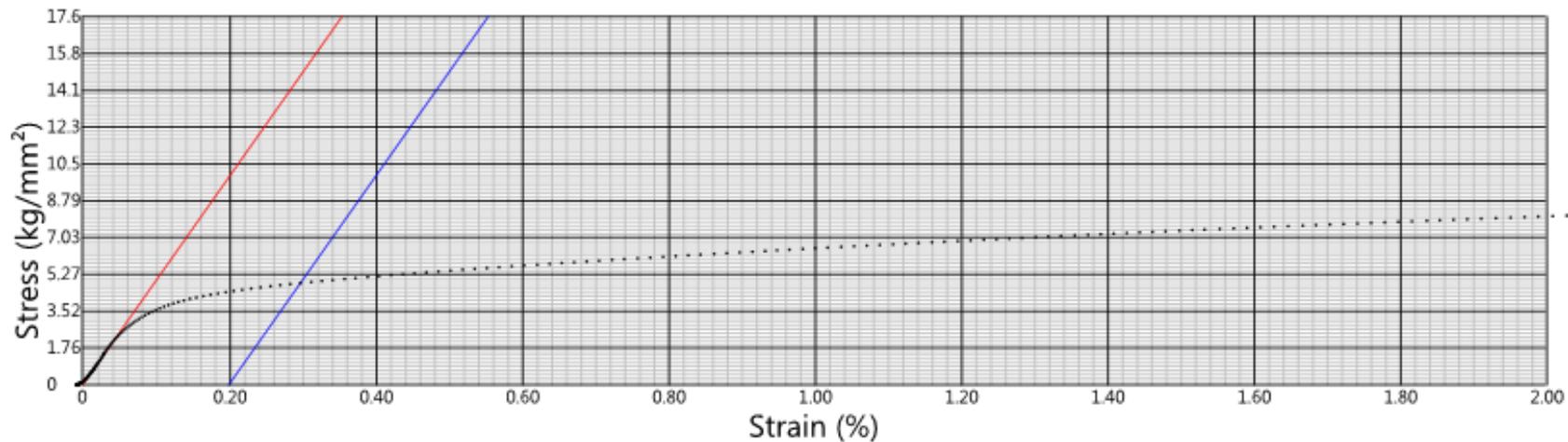
INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS

NORMA TECNICA NTE INEN 2250:2013
FT-SGL-004



Method Name:	Generic Metals Tensile with Ext. Cedal ME	Temperatura (°C):	24
Test Start Date and Time:	06/02/2017	Humedad Relativa (%):	45
Lote de ensayo:	6HTC8	Numero de Probetas ensayadas:	1
Nombre Operador:	ER	Aleación:	6063
		Temple:	NA

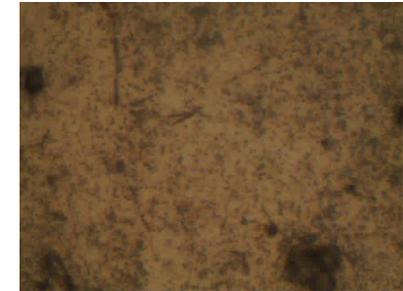
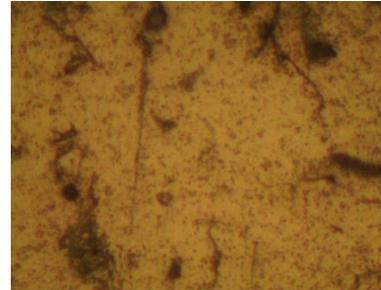
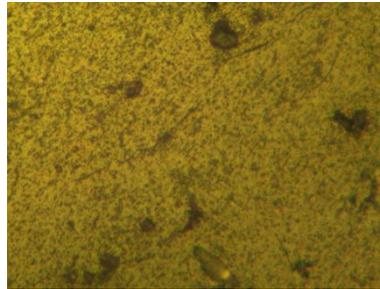
Identificación de la probeta o referencia	Ancho Promedio mm	Espesor Promedio mm	Area Calibrada mm ²	Carga Maxima registrada kg	Resistencia a la Tracción MPa	Carga de Fluencia kg	Limite de Fluencia MPa	Elongación en 50 mm %
6HTC8	12.8	12.9	164	2130	127	797	47.6	24.7



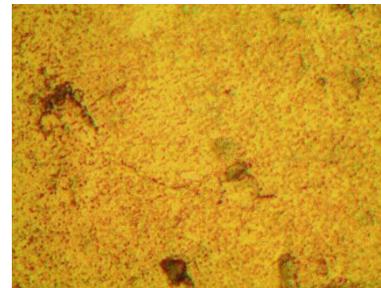
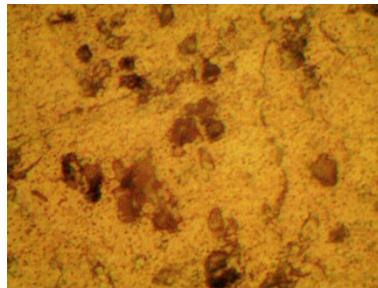
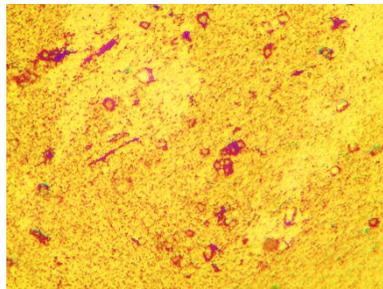
CRITERIO DE ACEPTACION 6063		CRITERIO DE ACEPTACION 6005	
LIMITE DE FLUENCIA:	MIN 110 MPa	LIMITE DE FLUENCIA:	240 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION:	MIN 150 MPa	RESISTENCIA A LA TRACCION:	260 MPa

Anexo III Análisis de micrografía

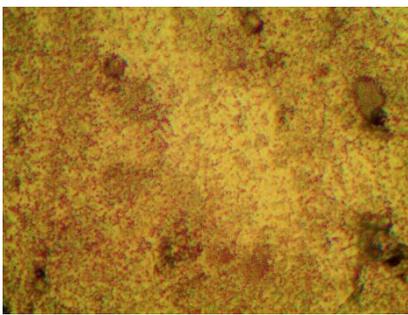
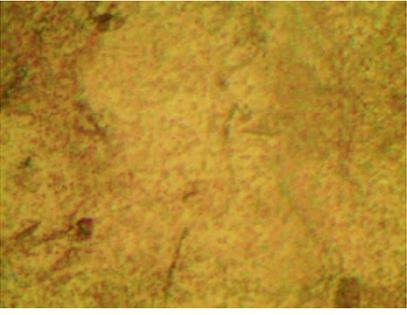
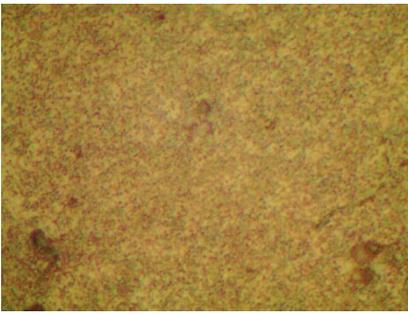
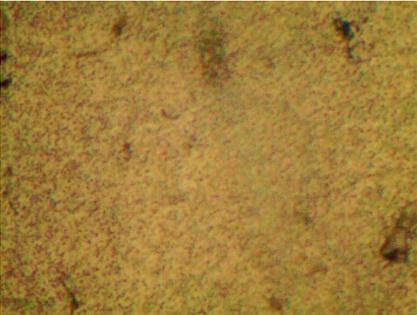
Sin Homogenizar: Fotografías micrografía X 100



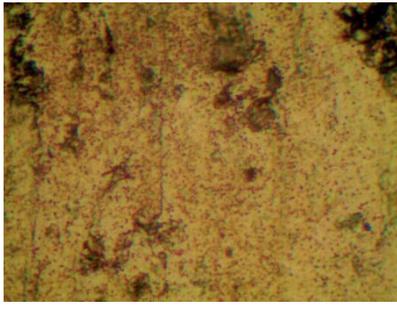
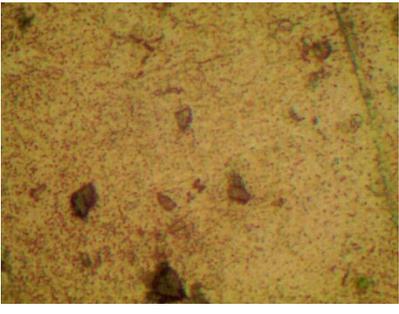
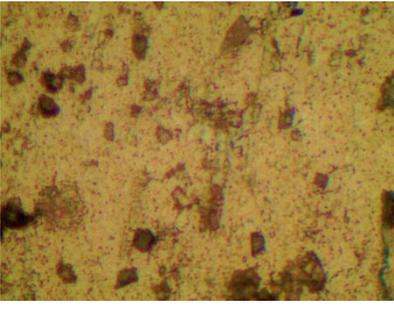
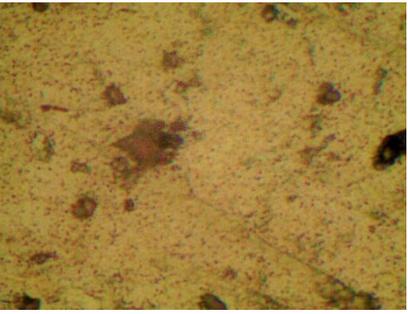
4 horas Homogenizado: Fotografías micrografía X 100



5 horas Homogenizado: Fotografías micrografía X 100



6 horas Homogenizado: Fotografías micrografía X 100



Anexo IV Datos y análisis para la validación de la hipótesis

Datos generales en la extrusión de los tochos

Horas de extrusion	Tocho por grupo	Hora	Número de lingote (ingresan)	Prensa N	Referencia/ Matriz	Soporte	Longitud Total (pulgadas)	Velocidad de Extrusión (mm/s)	Tensión del Puler	Aleación	Posición de Matriz en corredera	Longitud de Butt (mm)	Temperatura del 1er tocho	Temperatura de Corrida de tocho	Temperatura de Container	Presión de Rompimeto	Defectos de extrusión
4h	1	12:00	1	1	1283LY	9601	20	7.70	31	6063	Izquierda	8	470	470	401	2725	
4h	2	12:03	2	1	1283LY	9601	20	7.70	32	6063	Izquierda	8	470	470	398	2340	
4h	3	12:06	3	1	1283LY	9601	20	7.60	40	6063	Izquierda	15	470	470	397	2783	
4h	4	12:09	4	1	1283LY	9601	20	7.40	40	6063	Izquierda	12	470	470	398	2640	
4h	5	12:12	5	1	1283LY	9601	20	7.40	40	6063	Izquierda	7	470	470	398	2300	Rayas
4h	6	12:15	6	1	1283LY	9601	20	3.40	40	6063	Izquierda	10	470	460	397	2538	
4h	7	12:18	7	1	1283LY	9601	20	7.10	4.3	6063	Izquierda	10	470	460	397	2583	
4h	8	12:21	8	1	1283LY	9601	20	7.10	50	6063	Izquierda	7	470	460	397	2580	
4h	9	12:24	9	1	1283LY	9601	20	7.00	51	6063	Izquierda	7	470	460	398	2586	Fisuras
4h	10	12:27	10	1	1283LY	9601	20	6.80	51	6063	Izquierda	10	470	460	398	2581	
4h	11	12:30	11	1	1283LY	9601	20	6.70	51	6063	Izquierda	8	470	470	398	2560	Rayas
4h	12	12:33	12	1	1283LY	9601	20	6.80	51	6063	Izquierda	7	470	460	397	2460	
4h	13	12:36	13	1	1283LY	9601	20	6.60	51	6063	Izquierda	9	470	460	398	2432	
4h	14	12:39	14	1	1283LY	9601	20	7.00	51	6063	Izquierda	8	470	460	328	2536	
4h	15	12:42	15	1	1283LY	9601	20	6.70	51	6063	Izquierda	8	470	460	399	2545	
4h	16	12:45	16	1	1283LY	9601	20	7.00	51	6063	Izquierda	7	470	460	397	2575	
4h	17	12:48	17	1	1283LY	9601	20	7.30	51	6063	Izquierda	7	470	460	397	2602	
4h	18	12:51	18	1	1283LY	9601	20	6.80	51	6063	Izquierda	7	470	460	397	2538	
4h	19	12:54	19	1	1283LY	9601	20	6.90	50	6063	Izquierda	10	470	460	398	2719	
4h	20	12:57	20	1	1283LY	9601	20	7.40	50	6063	Izquierda	15	470	460	398	2608	
4h	21	13:00	21	1	1283LY	9601	20	6.80	50	6063	Izquierda	8	470	460	398	2704	
4h	22	13:03	22	1	1283LY	9601	20	6.90	50	6063	Izquierda	8	470	460	397	2610	

4h	23	13:06	23	1	1283LY	9601	20	6.80	50	6063	Izquierda	8	470	460	397	2598			
4h	24	13:09	24	1	1283LY	9601	20	6.90	50	6063	Izquierda	9	470	460	398	2619			
4h	25	13:12	25	1	1283LY	9601	20	6.90	50	6063	Izquierda	9	470	460	398	2769			
PROMEDIO								6.91											
VARIANZA								0.61											
5h	1	13:15	26	1	1283LY	9601	20	6.40	50	6063	Izquierda	8	470	460	398	2773	Rayas		
5h	2	13:18	27	1	1283LY	9601	20	6.30	50	6063	Izquierda	8	470	460	397	2718			
5h	3	13:21	28	1	1283LY	9601	20	6.20	50	6063	Izquierda	8	470	460	397	2738			
5h	4	13:24	29	1	1283LY	9601	20	6.30	50	6063	Izquierda	9	470	460	398	2788			
5h	5	13:27	30	1	1283LY	9601	20	6.20	50	6063	Izquierda	8	470	460	398	2767	Fisuras		
5h	6	13:30	31	1	1283LY	9601	20	6.30	50	6063	Izquierda	8	470	460	398	2750			
5h	7	13:33	32	1	1283LY	9601	20	6.30	50	6063	Izquierda	11	470	460	397	2785			
5h	8	13:36	33	1	1283LY	9601	20	6.30	50	6063	Izquierda	12	470	460	397	2765			
5h	9	13:39	34	1	1283LY	9601	20	6.30	50	6063	Izquierda	11	470	460	398	2698			
5h	10	13:42	35	1	1283LY	9601	20	6.50	50	6063	Izquierda	8	470	460	398	2763			
5h	11	13:45	36	1	1283LY	9601	20	6.40	50	6063	Izquierda	8	470	460	398	2779	Fisuras		
5h	12	13:48	37	1	1283LY	9601	20	6.40	50	6063	Izquierda	8	470	460	398	2777			
5h	13	13:51	38	1	1283LY	9601	20	6.40	50	6063	Izquierda	8	470	460	397	2791			
5h	14	13:54	39	1	1283LY	9601	20	6.40	50	6063	Izquierda	8	470	460	399	2759			
5h	15	13:57	40	1	1283LY	9601	20	6.30	50	6063	Izquierda	8	470	460	399	2743			
5h	16	14:00	41	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	8	470	460	399	2728			
5h	17	14:03	42	1	1283LY	9601	20	6.50	51	6063	Izquierda	8	475	460	398	2728			
5h	18	14:06	43	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	8	470	460	398	2726			
5h	19	14:09	44	1	1283LY	9601	20	6.30	51	6063	Izquierda	7	470	460	393	2724			
5h	20	14:12	45	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	7	470	460	400	2715			
5h	21	14:15	46	1	1283LY	9601	20	6.30	51	6063	Izquierda	8	470	460	399	2721			
5h	22	14:18	47	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	8	470	460	398	2705			
5h	23	14:21	48	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	8	464	460	398	2749			
5h	24	14:24	49	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	9	470	460	399	2732			
5h	25	14:27	50	1	1283LY	9601	20	6.30	51	6063	Izquierda	9	470	460	400	2709			
5h	26	14:30	51	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	10	470	460	393	2710			
PROMEDIO								6.35											
VARIANZA								0.01											
6h	1	14:33	52	1	1283LY	9601	20	6.90	51	6063	Izquierda	10	470	460	398	2723	Fisuras		

6h	2	14:36	1	1	1283LY	9601	20	6.30	51	6063	Izquierda	8	470	460	395	2699	
6h	3	14:39	2	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	10	470	460	399	2690	
6h	4	14:42	3	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	12	470	460	399	2708	
6h	5	14:45	4	1	1283LY	9601	20	6.50	51	6063	Izquierda	13	467	460	399	2735	
6h	6	14:48	5	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	13	471	460	398	2802	
6h	7	14:51	6	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	13	455	460	399	2699	
6h	8	14:54	7	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	13	464	460	400	2728	
6h	9	14:57	8	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	11	465	460	400	2702	
6h	10	15:00	9	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	10	473	460	399	2680	Fisuras
6h	11	15:03	10	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	11	480	460	398	2729	
6h	12	15:06	11	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	10	464	460	399	2700	
6h	13	15:09	12	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	10	464	460	400	2736	
6h	14	15:12	13	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	10	470	460	399	2700	
6h	15	15:15	14	1	1283LY	9601	20	6.30	51	6063	Izquierda	8	465	460	398	2689	
6h	16	15:18	15	1	1283LY	9601	20	6.40	51	6063	Izquierda	8	465	460	399	2687	
6h	17	15:21	16	1	1283LY	9601	20	6.30	51	6063	Izquierda	8	467	460	399	2703	
6h	18	15:24	17	1	1283LY	9601	20	6.30	51	6063	Izquierda	8	462	460	399	2792	
6h	19	15:27	18	1	1283LY	9601	20	6.10	51	6063	Izquierda	9	471	460	399	2708	
6h	20	15:30	19	1	1283LY	9601	20	6.50	51	6063	Izquierda	10	464	460	398	2697	
6h	21	15:33	20	1	1283LY	9601	20	6.50	51	6063	Izquierda	10	465	460	399	2669	
6h	22	15:36	21	1	1283LY	9601	20	6.20	51	6063	Izquierda	13	480	460	399	2685	Rayas
6h	23	15:39	22	1	1283LY	9601	20	6.20	51	6063	Izquierda	13	480	460	399	2695	
6h	24	15:42	23	1	1283LY	9601	20	6.20	51	6063	Izquierda	14	480	460	398	2706	
6h	25	15:45	24	1	1283LY	9601	20	6.20	51	6063	Izquierda	10	464	460	398	2700	
PROMEDIO								6.13									
VARIANZA								1.52									

Análisis de valores de h en relación al porcentaje de error

	Sin homogeneizar			4 horas homogeneizado			Diferencias de medias	grados libertad: n1+n2 -2			
	Media	Varianza	N° Probetas	Media	Varianza	N° Probetas		Estadístico t (1%)	Estadístico t (5%)	Estadístico t (10%)	
Dureza	35.71	1.68	9.00	32.71	0.35	7.00	-2.99	1.4453916	1.0414394	0.8549999	***
Ancho promedio mm	12.52	0.06	0.49	12.59	0.04	7.00	-0.06	1.0858016	0.7823461	0.6422898	
Espesor promedio mm	12.70	0.04	9.00	12.29	0.14	7.00	0.41	0.467108	0.3365625	0.2763108	**
Area calibrada mm2	158.67	9.11	9.00	154.29	23.92	7.00	4.38	6.2653335	4.5143232	3.7061647	**
Carga máxima registrada Kg	2367.78	3839.51	9.00	1950.00	7400.00	7.00	417.78	114.67266	82.624405	67.832903	***
Resistencia a la tracción	145.89	8.77	9.00	123.86	14.98	7.00	-22.03	5.2532694	3.7851068	3.1074932	***
Carga de fluencia Kg	935.56	1253.80	9.00	727.43	2255.39	7.00	208.13	63.954222	46.080553	37.831167	***
Limite de fluencia Mpa	58.19	8.13	9.00	46.16	4.34	7.00	12.03	3.6744219	2.6475093	2.1735496	**
Elongación	30.10	10.17	9.00	33.41	14.23	7.00	3.31	5.2935918	3.81416	3.1313453	*

	4horas			5 horas			Diferencias de medias	Estadístico t (1%)	Estadístico t (5%)	Estadístico t (10%)	
	Media	Varianza	N° Probetas	Media	Varianza	N° Probetas					
Dureza	32.71	0.35	7.00	33.43	0.64	7.00	0.72	1.1445301	0.8163441	0.6676113	*
Ancho promedio mm	12.59	0.04	7.00	12.59	0.05	7.00	0.00	0.3483626	0.2629539	0.2120964	
Espesor promedio mm	12.29	0.14	7.00	12.44	0.04	7.00	-0.16	0.4871048	0.3676804	0.2965679	
Area calibrada mm2	154.29	23.92	7.00	156.29	7.63	7.00	-2.00	6.4858799	4.8957247	3.9488499	
Carga máxima registrada Kg	1950.00	7400.00	7.00	2120.00	11600.00	7.00	-170.00	159.16186	120.13985	96.903781	
Resistencia a la tracción	123.86	14.98	7.00	131.57	28.53	7.00	7.71	7.6165405	5.4325505	4.4427742	**
Carga de fluencia Kg	727.43	2255.39	7.00	747.71	19105.63	7.00	-20.29	158.98376	127.38588	102.74837	
Limite de fluencia Mpa	46.16	4.34	7.00	46.87	73.82	7.00	-0.71	9.6169771	7.7056112	6.2152805	
Elongación	33.41	14.23	7.00	32.97	3.29	7.00	-0.44	4.8331949	3.4473098	2.8192318	

	Sin homogeneizar			6 horas homogeneizado			grados libertad: n1+n2 -2				
	Media	Varianza	N° Probetas	Media	Varianza	N° Probetas	Diferencias de medias	Estadístico t (1%)	Estadístico t (5%)	Estadístico t (10%)	
Dureza	35.71	1.68	9.00	33.49	0.50	7.00	-2.22	1.5102573	1.0881766	0.8933702	***
Ancho promedio mm	12.52	0.06	0.49	12.62	0.02	7.00	-0.09	1.0722087	0.7725521	0.6342491	
Espesor promedio mm	12.70	0.04	9.00	12.65	0.05	7.00	0.05	0.3188067	0.2297079	0.1885854	**
Area calibrada mm2	158.67	9.11	9.00	159.67	15.56	7.00	-1.00	5.3541061	3.857762	3.1671417	**
Carga máxima registrada Kg	2367.78	3839.51	9.00	2063.33	3088.89	7.00	304.44	87.701917	63.191337	51.878762	***
Resistencia a la tracción	145.89	8.77	9.00	126.67	0.56	7.00	-19.22	3.05531	2.2014243	1.8073231	***
Carga de fluencia Kg	935.56	1253.80	9.00	759.83	761.14	7.00	175.72	46.886145	33.782593	27.7348	***
Limite de fluencia Mpa	58.19	8.13	9.00	46.68	1.49	7.00	11.51	3.1451103	2.2661275	1.8604432	**
Elongación	30.10	10.17	9.00	31.03	11.77	7.00	0.93	4.9914183	3.5964368	2.9525992	