



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE LAS CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN ALUMINIO
AA6063 EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO EN
LA EMPRESA CEDAL S.A.**

Autores:

Hinojosa Iza Jorge Manuel

Raura Díaz Edgar Augusto

Tutor:

Ing.Reinoso Peñaherrera Héctor Raúl Msc.

Latacunga - Ecuador
2018



AVAL DE AUTORÍA

Nosotros Jorge Manuel Hinojosa Iza y Edgar Augusto Raura Díaz declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: siendo **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN ALUMINIO AA6063 EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO EN LA EMPRESA CEDAL S.A.”** siendo el Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera Msc. tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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



Jorge Manuel Hinojosa Iza
CC:1723170674



Edgar Augusto Raura Díaz
CC: 1718493164



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

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

“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN ALUMINIO AA6063 EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO EN LA EMPRESA CEDAL S.A.”, de los postulantes Jorge Manuel Hinojosa Iza y Edgar Augusto Raura Díaz, de la carrera de Ingeniería Electromecánica considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la FACULTAD de Ciencias de Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Febrero del 2018

Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera Msc.

El Tutor



AVAL DE APROBACION DEL TRIBUNAL DE TITULACION

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Jorge Manuel Hinojosa Iza con C.I. 1723170674 y Edgar Augusto Raura Díaz con C.I. 1718493164 con el título de Proyecto de titulación: “ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN ALUMINIO AA6063 EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO EN LA EMPRESA CEDAL S.A.” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, febrero 2018

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)
Mg. Héctor Laurencio Ph.D
CC:1742813

Lector 2
Mg. Mauro ALbarracin
CC:0503113730

Lector 3
Nombre: Mg. Luis Cruz
CC:0502595176



AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Latacunga, 22 de enero del 2018

Ing. Hernán Navas

Jefe de la planta de Fundición

Empresa CEDAL S.A.

Presente.-

En calidad de Jefe de la planta de Fundición CEDAL S.A, confirma la realización del proyecto **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN ALUMINIO AA 6063 EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO EN LA EMPRESA CEDAL S.A”** implementado por los señores estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, carrera de **Ingeniería Electromecánica**; Hinojosa Jorge con CI: 1723170674 y Raura Edgar con CI: 1718493164, bajo la supervisión y coordinación de la Empresa.

Aceptamos conocer y estar conformes con los términos y condiciones de las actividades que se van a realizar en la empresa CEDAL S.A. para la ejecución del proyecto de los señores estudiantes.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, se expide el presente para el interesado pueda hacer uso para los fines que crea conveniente.

Atentamente;

Ing. Hernán Navas

Jefe de la planta de Fundición Empresa CEDAL S.A. Latacunga

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios que me ha dado a unos Padres espectaculares los cuales me han inculcado valores fundamentales en mi formación académica y como profesional, también agradezco a mi abuelito Segundo, a mi Novia, a mi Princesa y a toda mi familia que me apoyado económicamente y moralmente para poder seguir adelante.

Jorge H.

Agradezco a Dios por darme a los mejores Padres del mundo, que me permitieron con su apoyo culminar esta etapa de mis estudios, y a toda mi familia que me ha apoyado talvez no económicamente, pero si moralmente que es lo más importante.

Y un agradecimiento muy especial al Ingeniero Raúl Reinoso que nos supo guiar en este camino a ser profesionales.

Edgar R.

DEDICATORIA

Esta Tesis va dedicada a mis Padres Blanca y Jorge, pero en especial a mi Mamá que ha sacrificado mucho para poder darme una buena educación, también se lo dedico a mi abuelito Manuel que desde el cielo me apoyo y me da ánimos para seguir adelante.

Jorge H.

Este trabajo se lo dedico a toda mi familia que a pesar de todo siempre han estado apoyándome y velando por mi bienestar.

Edgar R.

ÍNDICE

AVAL DE AUTORÍA.....	ii
AVAL DE TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....	iii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE.....	viii
RESUMEN	xii
ABSTRAC.....	xiii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xiv
1.- INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2.- DESCRIPCIÓN.....	2
3.- JUSTIFICACIÓN	4
4.- BENEFICIARIOS.....	4
5.- PROBLEMA	5
6.- OBJETIVOS	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos.....	5
Objeto y campo de acción	5
7.- SISTEMAS DE TAREAS POR OBJETIVOS	5
8.- FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	6
Caracterización del Aluminio.....	7
Características físicas.....	7
Características mecánicas	7

Características químicas	8
Nomenclatura de las aleaciones de aluminio.....	8
Serie 6xxx del aluminio.....	9
Aluminio aleación AA6063.....	10
Procesos de manufactura	12
Tratamientos térmicos del aluminio	12
Homogenización del aluminio.....	13
Procedimiento de homogenizado	16
Ensayo de metales no ferrosos.....	16
Espectrometría de metales	17
Norma para el ensayo de espectrometría (ASTM E716).....	18
Dimensionamiento de la probeta	18
Ensayo de dureza	19
Ensayo BRINELL.....	19
Norma para el ensayo de dureza ASTM E10-15	21
Dimensionamiento de la probeta	21
Ensayo de tracción.....	22
Norma para el ensayo de tracción ASTM B 557M	25
Dimensionamiento de la probeta	25
Metalografía.....	26
Tamaño de grano	27
Norma para el ensayo de Metalografía ASTM E – 112.....	27
Dimensionamiento de la probeta	28
9.- HIPÓTESIS.....	28
10.- METODOLOGÍAS	28
Tipo de investigación	29

Varianza estadística Fisher	29
Diseño de experimento para la investigación.....	29
Ensayo Espectrométrico	30
Procedimiento para control de temperatura en el homogenizado.....	31
Ensayo de dureza	34
Variables para el ensayo de dureza.....	34
Ensayo de tracción.....	35
Variables ensayo de tracción	36
Ensayo de metalografía	38
Materiales utilizados en la investigación.....	39
11.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	45
Aplicación del ensayo de espectrometría	45
Control del proceso de homogenizado	47
Aplicación del ensayo de dureza	49
Varianza Fisher en el ensayo de dureza.....	49
Análisis datos de dureza	50
Aplicación del ensayo de tracción.....	51
Varianza Fisher en el ensayo de tracción.....	51
Diagrama esfuerzo deformación.....	52
Análisis del ensayo de tracción.....	56
Moduló de Elasticidad	57
Aplicación del ensayo metalográfico	58
Aplicación del ensayo de microestructura	58
Aplicación del ensayo de tamaño de grano.....	60
Varianza Fisher en el Ensayo de tamaño de grano	61
12.- IMPACTOS.....	61

13.- PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN.....	63
14.- CONCLUSIONES	64
15.- RECOMENDACIÓN.....	65
16.- BIBLIOGRAFÍA.....	66
17.-ANEXOS.....	69

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE LAS CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

TITULO:” Análisis de las propiedades mecánicas de la aleación aluminio AA 6063 en el proceso de homogenizado en la empresa CEDAL S.A.”

Autores:

Hinojosa Jorge

Raura Edgar

RESUMEN

A medida que las industrias van creciendo estas tratan de estandarizar sus procesos de manufactura para entregar a sus consumidores un material más fino y duradero tomando como base el mejoramiento de las propiedades de los metales acorde a la necesidad de obtener un producto de calidad para poder competir en el mercado. Es por eso que esta investigación tuvo como objetivo analizar los cambios de las propiedades mecánicas con el fin de identificar un tiempo estándar de homogenización, variando el lapso de sostenimiento de homogenizado entre 4, 5 y 6 horas a una temperatura de 560 °C se prevé obtener diferentes características mecánicas. Se llevó a cabo ensayos de materiales específicamente de espectrometría, dureza, tensión, tamaño de grano y microestructura tomando como guía las normas ASTM. El trabajo de investigación comparo la resistencia mecánica, elongación, dureza, tamaño de grano y cambios micro-estructurales entre las probetas ensayadas, a base del informe redactado se pudo identificar que el tiempo óptimo para el tiempo de sostenimiento de homogenización es de 5 horas a una temperatura de 560°C obteniendo características mecánicas adecuadas para la aleación de aluminio AA6063. El control de temperatura en los diferentes puntos, el seguimiento de las probetas y el mecanizado de los testigos es la propuesta que garantiza la investigación, la estabilidad y así poder relacionarlos con los cambios de las propiedades mecánicas.

Palabras claves: Homogenizado, Aluminio AA6063, Microestructura, Propiedades mecánicas.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

THEME: "Analysis of the Mechanical Properties of the aluminum Alloy AA 6063 in the Homogenized Process in CEDAL Company S.A."

Authors:

Hinojosa Jorge

Raura Edgar

ABSTRACT

As industries grow, they try to standardize their manufacturing processes to deliver a finer and more durable material to their consumers based on improving the properties of metals according to the need to have a quality product in order to be able to compete in the market. That is why this research had as aim to analyze the changes in mechanical properties in order to identify a standard time of homogenization, varying the holding time of homogenized between (4.5 and 6 hours) at a temperature of 560 ° C it is expected to obtain different mechanical characteristics. It was carried out material testing specifically of spectrometry, hardness, tension, grain size and microstructure, taking as guide the ASTM standards. The research work compares the mechanical strength, elongation, hardness, grain size and microstructural changes between the tested specimens, based on the written report it was identified that the optimal time for the homogenization support time is of 5 hours at a temperature of 560 ° C having mechanical characteristics suitable for the AA6063 aluminum alloy. The control of temperature in the different points, the follow-up of the test pieces and the machining of the witnesses is the proposal that guarantees the research, the stability and thus be able to relate them to the changes of the mechanical properties.

Keywords: Homogenized, Aluminum AA6063, Microstructure, Mechanical properties.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas: **Edgar Raura y Jorge Hinojosa**, cuyo título versa **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN ALUMINIO AA6063 EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO EN LA EMPRESA CEDAL S.A.”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

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

Latacunga, 24 de Enero del 2018

Atentamente,

Msc. Lic. Erika Cecilia Borja Salazar
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0502161094



CENTRO
DE IDIOMAS

PROYECTO DE TITULACIÓN II

1.- INFORMACIÓN GENERAL

Título:

Análisis de las propiedades mecánicas de la aleación aluminio AA6063 en el proceso de homogenizado en la empresa CEDAL S.A.

Fecha de inicio:

Marzo del 2017

Fecha de finalización:

Febrero del 2018

Lugar de ejecución:

CEDAL S.A.

Facultad que auspicia

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia:

Ingeniería Electromecánica

Equipo de Trabajo:

Tutor: Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera Msc.

Estudiantes: Jorge Manuel Hinojosa Iza

Edgar Augusto Raura Díaz

Área de Conocimiento:**22 Física**

2205 Mecánica

07 Medida de propiedades mecánicas

2211 Física del estado sólido

01 Aleaciones

2213 Termodinámica

08 Técnicas de medida del calor

2214 Unidades y constantes

02 Metrología

03 Patrones

Línea de investigación:

Procesos industriales.

El proceso industrial al ser el conjunto de actividades para la transformación de la materia prima en un producto final, nos permite entender que dentro de la empresa CEDAL S.A. este proceso tiene como materia prima la chatarra de aluminio y producto final perfilería para carpintería en aluminio. De esta manera se fomenta la producción industrial más limpia.

Sub líneas de investigación de la Carrera:

La carrera de Ingeniería Electromecánica, propone tres líneas de investigación que nos permiten orientarnos a través de nuestra propuesta para el trabajo final donde se pretende analizar las características mecánicas del aluminio 6063, con base en esto la investigación que se realizará se guiará de acuerdo a la:

SUBLINEA 1: Diseño, Construcción y Mantenimiento de Elementos, Prototipos y Sistemas Electromecánicos.

2.- DESCRIPCIÓN

Los procesos de manufactura a lo largo de la historia han perfeccionado las diversas variables que intervienen en el mismo, como la dinámica de transformación para ganar acabado y productividad, el material para tener mejores propiedades (mencionando entre los más importantes a los que trabajan con aleaciones metálicas como son el cobre, hierro, aluminio entre otros) y otras con el propósito de entregar productos de buena calidad al mercado.

“Se es conocido que el aluminio es el tercer elemento más abundante en el planeta (después del oxígeno y el silicio); asimismo el 15 % del aluminio se usa en construcción” (Askeland, 2012), debido a que “ofrece una buena aptitud a la deformación en frío en estado reconocido, así como su buen comportamiento ante los agentes atmosféricos” La aleación AA 6063 que se lo considera como “mantequilla en pan” dentro del proceso de extrusión (Sheppard, 1999) dada su composición aleante con el silicio y magnesio la hace la mejor opción para la fabricación de perfiles principalmente utilizada en carpintería metálica.

La empresa CEDAL radicada con una de sus plantas de producción en la ciudad de Latacunga y centra sus actividades comerciales en este producto. Su proceso constituye desde la fundición del aluminio para la obtención de la aleación 6063, la extrusión en diversos perfiles que el mercado exige y el acabado superficial a través de pintura o anodizado. La preparación del material antes de su ingreso al proceso de extrusión hace necesario que el mismo deba ser homogenizado.

El proceso de homogenización que consiste en tratar térmicamente un cargamento de lingotes de aluminio que al ingresar al interior del horno de homogenización este eleva su temperatura, permitiendo que las aleaciones o compuestos químicos se redistribuyan homogéneamente al interior de la microestructura de cada lingote (Toapanta Sandoval & Velásquez Zurita, 2011) el tiempo de homogenización es entonces una variable que juega un papel fundamental en los cambios microestructurales y por ende de propiedades mecánicas del material que pueden incidir en rechazos de materia prima o de producto con acabado final.

El trabajo analizó la variabilidad de las propiedades mecánicas del aluminio 6063 en función del tiempo de homogenización, para garantizar la confiabilidad de los resultados en la investigación se verifica la calidad de la aleación a través del análisis espectro métrico de la colada, así como el control de temperatura en una disposición sugerida como crítica dentro del horno de homogenización para garantizar que la temperatura de la homogenización llegue al núcleo del lingote. Se realizan ensayos destructivos de tensión y dureza con el fin de correlacionar los datos obtenidos con los diferentes tiempos de homogenización utilizados en esta investigación (4, 5 y 6 horas).

Además de los ensayos de dureza y tensión se realiza pruebas de espectrometría, tamaño de grano y microestructura para conocer cómo se comportan los aleantes internamente dependiendo del tiempo de sostenimiento del homogenizado.

3.- JUSTIFICACIÓN

En busca de la determinación del tiempo óptimo que permita estandarizar el proceso de producción investigar a través de fuentes primarias y secundarias se pudo constatar que no hay un estudio analítico previo en el país del comportamiento del material frente a las variaciones del tiempo de sostenimiento de temperatura constante, provocando que el proceso de homogenizado, dentro de la empresa no tenga conocimiento de los cambios microestructurales y de propiedades mecánicas que se producen.

Por tanto, el tiempo de homogenizado actualmente no es controlado, recayendo en una decisión empírica que puede producir gastos no necesarios de operación del horno por tiempos en exceso de homogenización o incremento de gastos operacionales debido a la refundición de materia prima rechazada por defectos de calidad detectados antes o después de la extrusión, así como en los procesos de pintura o anodizado.

Con este trabajo de investigación se espera observar la variación de las propiedades mecánicas que se tiene en la aleación aluminio 6063 en función del tiempo para determinar el más adecuado para el proceso de homogenización.

4.- BENEFICIARIOS

Beneficiarios directos: La empresa CEDAL S.A. por qué a base de esta investigación podrán tener un tiempo correcto de homogenización para aplicarlo en su materia prima.

Beneficiarios indirectos: Los consumidores ya que con un correcto homogenizado los perfiles obtienen mejores propiedades mecánicas y así el producto es de mayor calidad.

5.- PROBLEMA

Variabilidad de las propiedades mecánicas de la aleación 6063 al cambiar el tiempo de homogenizado en la empresa CEDAL.

6.- OBJETIVOS

El cumplimiento de este trabajo de investigación tiene el valor de establecer el alcance del mismo a través de los siguientes objetivos que se distinguirán a través de:

Objetivo General

Analizar el cambio en las propiedades mecánicas de la aleación aluminio 6063 al cambiar el tiempo de homogenizado en la empresa CEDAL S.A.

Objetivos específicos

- a) Caracterizar la aleación AA6063 previamente al proceso de homogenización.
- b) Analizar la variación de las propiedades mecánicas de la aleación AA 6063 previo al proceso de homogenizado.
- c) Correlacionar el tiempo de homogenización con la variación de las propiedades mecánicas.

Objeto y campo de acción

Este recae: La aleación de aluminio 6063

Objeto: Procesos térmicos

Campo de acción: Procesos de manufactura

7.- SISTEMAS DE TAREAS POR OBJETIVOS

La tabla 7.1 representa los objetivos específicos, como trabajo a realizar, se cumple varias tareas por cada punto, a través de los siguientes lineamientos a seguir, con el fin de alcanzar la finalización de este proyecto.

Tabla 7. 1.- Tarea por objetivo.

Objetivo:	Actividad (tareas)	Resultado de la actividad	Medios de Verificación
Caracterizar la aleación AA6063 previamente al proceso de homogenización.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Toma de muestras en lingotes. 2. Análisis espectrométrico 	Porcentaje de los aleantes.	Ensayo de chispa.
Analizar la variación de las propiedades mecánicas de la aleación AA6063 previo al proceso de homogenizado.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seguimiento de las muestras tomadas en la espectrometría. 2. Maquinado de las muestras según el ensayo. 3. Aplicación de los ensayos según las normas aplicadas. 	Mediciones realizadas en las distintas pruebas destructivas a realizar.	Visual con la muestra de datos que generan las máquinas para ensayos.
Correlacionar el tiempo de homogenización con la variación de las propiedades mecánicas	Organización de los datos para la generación de resultados de viabilidad de la producción en los diferentes tiempos.	Caracterización del material según el tiempo de experimentación realizado.	Por medio de un cronograma de actividades y Tablas de comparación en Excel.

Elaborado por: Los Autores.

8.- FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

El aluminio es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre y constituye el 7.3% de su masa. En su forma natural, sólo existe en una combinación estable con otros materiales (particularmente en sales y óxidos) (Hufnagel, 2004).

Caracterización del Aluminio

Este metal posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería, tales como su baja densidad (2700 kg/m^3) y su alta resistencia a la corrosión. Mediante aleaciones adecuadas se puede aumentar sensiblemente su resistencia mecánica. Es buen conductor de la electricidad, se mecaniza con facilidad y es relativamente barato. Por todo ello es el metal que más se utiliza después del acero (Hufnagel, 2004).

A continuación, se describen algunas características de aluminio (Hufnagel, 2004):

Características físicas

- Entre las características físicas del aluminio, destacan las siguientes:
- Es un metal ligero, cuya densidad o peso específico es de 2700 kg/m^3 (2,7 veces la densidad del agua).
- Tiene un punto de fusión bajo: $660 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Es de color blanco brillante.
- Buen conductor del calor y de la electricidad.
- Resistente a la corrosión, gracias a la capa de Al_2O_3 formada.
- Abundante en la naturaleza.
- Material fácil y barato de reciclar.

Características mecánicas

- Entre las características mecánicas del aluminio se tienen las siguientes:
- De fácil mecanizado.
- Muy maleable, permite la producción de láminas muy delgadas.
- Bastante dúctil, permite la fabricación de cables eléctricos.
- Material blando. Límite de resistencia en tracción: $160\text{-}200 \text{ N/mm}^2$ en estado puro, en estado aleado el rango es de $1400\text{-}6000 \text{ N/mm}^2$.
- Material que forma aleaciones con otros metales para mejorar las propiedades mecánicas.
- Permite la fabricación de piezas por fundición, forja y extrusión.
- Material soldable.

Características químicas

- Debido a su elevado estado de oxidación se forma rápidamente al aire una fina capa superficial de óxido de aluminio (Alúmina Al_2O_3) impermeable y adherente que detiene el proceso de oxidación, lo que le proporciona resistencia a la corrosión y durabilidad. Esta capa protectora es de color gris mate.

Nomenclatura de las aleaciones de aluminio

La nomenclatura nos indica que deben ser agrupadas de acuerdo a un sistema de cuatro dígitos, en donde el primer índice indica el aleante que interviene en mayor cantidad (Toapanta Sandoval & Velásquez Zurita, 2011) cómo, se muestra en la tabla.

Tabla 8. 1.- Características de las series del aluminio.

Características de las series del aluminio			
Serie	Composición	Características	Usos
Serie 1000	Aluminio con un mínimo de pureza de 99%	<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia a la corrosión • No toxico • Excelente acabado • Excelente maleabilidad • Alta conductividad eléctrica y térmica • Excelente reflectividad 	<ul style="list-style-type: none"> • Recipientes de radiación
Serie 2000	Aleado con cobre	<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia mecánica • Alta resistencia a la corrosión • Buena maquinabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Rines de camiones de camiones • Suspensión de aviones

Fuente: (MIPSA, 2012).

Tabla 8. 2 Características de la serie del aluminio (continuación).

Características de las series del aluminio			
Serie	Composición	Características	Usos
Serie 3000	Aleado con Manganeseo	<ul style="list-style-type: none"> • Buena resistencia mecánica • Alta resistencia a la corrosión • Buena maleabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Botellas para bebidas • Utensilios de cocina • Intercambiadores de calor • Mobiliario • Señales de trafico • Tejados • Otras aplicaciones arquitectónicas
Serie 4000	Aleado con Silicio	<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia al calor 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones arquitectónicas • Fabricación de pistones de motores
Serie 5000	Aleado con Magnesio	<ul style="list-style-type: none"> • Buena resistencia mecánica • Alta resistencia a la corrosión, especialmente al agua de mar • Muy buena soldabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Adornos decorativos, ornamentales y arquitectónicos • Iluminación de calles y carreteras • Botes, barcos y tanques criogénicos • Partes de puentes • Estructuras de automóviles
Serie 6000	Aleado con Silicio y Magnesio	<ul style="list-style-type: none"> • Buena resistencia mecánica • Buena resistencia a la corrosión • Buena maquinabilidad • Buena soldabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones arquitectónicas • Cuadros de bicicletas • Pasamanos de los puentes • Equipo de transporte • Estructuras soldadas
Serie 7000	Aleada con Zinc	<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia mecánica 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras de aviones • Equipos móviles • Otras partes altamente forzadas.

Fuente: (MIPSA, 2012).

Serie 6xxx del aluminio

En estas aleaciones se usan como elementos aleantes el Mg y el Si en proporciones adecuadas para que se forme el Mg₂Si. Esto hace que esta aleación sea tratable térmicamente. Estas

aleaciones son menos resistentes que el resto de aleaciones, a cambio tiene también formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y resistencia a la corrosión. (Gallegos, 2013).

Aluminio aleación AA6063

La aleación AA6063 ha llegado a situarse como una de las mayormente usadas en proceso de extrusión para la obtención de perfiles de aluminio por su alta extrudibilidad y resistencia a la corrosión para sus aplicaciones estructurales, ornamentales, entre otras (Barrand, Gadeau, & Dumas, 2001).

La designación 6XXX al tener como elementos aleantes principales al magnesio y silicio en proporciones adecuadas para dar lugar a la formación de siliciuro de magnesio (Mg_2Si) (Barrand, Gadeau, & Dumas, 2001). La serie 6XXX forma parte de una de las cuatro series de aleaciones que acepta tratamiento térmico, sin embargo, la aleación 6063 al estar incluida en la serie 6000 admite el temple y la Maduración natural o artificial (Barrand, Gadeau, & Dumas, 2001). Se trata de una mezcla sólida homogénea de dos o más metales, o de uno o más metales con algunos elementos no metálicos. Se puede observar que las aleaciones están constituidas por elementos metálicos en estado elemental. (Román, Chirinos, & Romero, 2009). Entre los elementos constitutivos del aluminio AA6063, tenemos los mostrados en la tabla 8.3.

Tabla 8. 3.- Composición porcentual del aluminio AA6063.

Elemento	Si Silicio	Fe Hierro	Cu Cobre	Mn Manganeso	Mg Magnesio	Cr Cromo
% composición máxima	0,6	0,35	0,10	0,10	0,90	0,10
% composición mínima	0,20	-	-	-	0,45	-

Fuente: (The Aluminum Association, 2015).

Una vez mencionadas la composición química indicada por The Aluminum Association cabe mencionar sus propiedades mecánicas como muestra la tabla 8.4.

Tabla 8. 4.- Propiedades mecánicas de la aleación 6063

Propiedad	Coefficiente	Propiedad	Coefficiente
Densidad [gr/cm ³]	2,69	Coef. De dilatación (0 a 100 °C) [°C-1x106]	23,4
Rango de fusión [°C]	615 – 655	Conductividad térmica (0 a 100°C) [W/m °C]	Temple T6:201
Módulo de elasticidad [MPa]	68300	Resistividad a 20 °C [μΩcm]	Temple T6:3,3
Coefficiente de Poisson	0,33	Calor específico (J/Kg. °C)	900

Fuente: (Navas Moscoso, Vaca Ortega, & Paredes Salinas, 2016).

En la tabla 8.5 se mencionan otras propiedades mecánicas según su estado de temple.

Tabla 8. 5.- Propiedades mecánicas de la aleación AA6063.

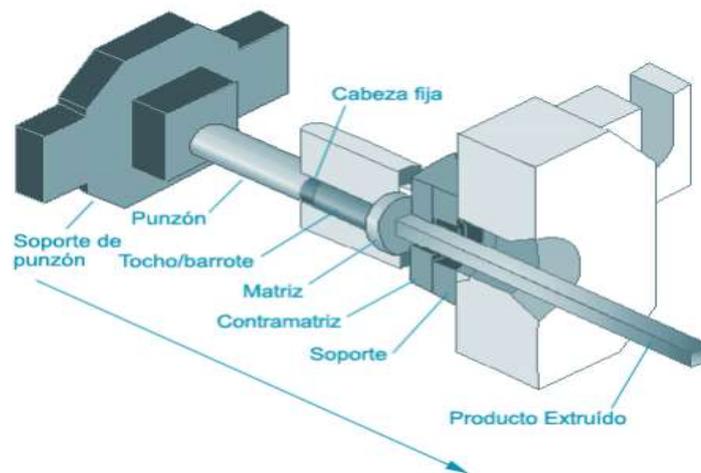
PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)						
	Características a la tracción.					
Estado	Carga de rotura Rm. [$\frac{N}{mm^2}$]	Limite elástico Rp. 0,2 [$\frac{N}{mm^2}$]	Alargamiento A. 5.65[%]	Limite a la fatiga [$\frac{N}{mm^2}$]	Resistencia a la cizalladura T. [$\frac{N}{mm^2}$]	Dureza Brinell (HB)
0	100	50	27	110	70	25
T1	150	90	26	150	95	45
T4	160	90	21	150	110	50
T5	215	175	14	150	135	60
T6	245	210	14	150	150	75
T8	260	240			155	80

Fuente: (Navas Moscoso, Vaca Ortega, & Paredes Salinas, 2016).

Procesos de manufactura

Los productos extruídos de aluminio, conocidos como "perfiles", son confeccionados a partir de cilindros de aluminio llamados barrote. Los barrote se encuentran disponibles en variados tamaños, aleaciones, tratamientos térmicos y dimensiones, dependiendo de los requerimientos del usuario. El proceso de extrusión se caracteriza por hacer pasar a presión el aluminio a través de una matriz para obtener el perfil deseado. Esto es posible tras haber calentado los barrote a utilizar a una temperatura cercana a los 450-500 °C y haberles aplicado una presión de 500 a 700 MPa (equivalente a la presión registrada en el fondo de un tanque de agua de unos 60km de altura). El metal precalentado es impulsado dentro de la prensa y forzado a salir por la matriz, obteniéndose así, el perfil extruído (Hufnagel, 2004).

Figura 8. 1.- Prensa de Extrucción



Fuente: (Hufnagel, 2004)

Tratamientos térmicos del aluminio

Las aleaciones comerciales se pueden considerar divididas en dos grandes grupos: Aleaciones bonificables, aquellas en las que el tratamiento de bonificado se traduce en un incremento notable de sus características de resistencia, Aleaciones no bonificables, aquellas en que la mejora conseguida en el bonificado es tan pequeña que, prácticamente, el único método de aumentar su resistencia es proporcionarles acritud, es decir, someterlas a un proceso de deformación plástica en frío. (Roldán Galán, 2007).

Son los diferentes procesos térmicos (calentamiento, permanencia y enfriamiento) a que se puede someter los metales y aleaciones para modificar sus propiedades físicas, mecánicas y su constitución, pero no su composición química. (Toapanta Sandoval & Velásquez Zurita, 2011) Se deducen los siguientes tratamientos acorde a esta investigación de la siguiente forma:

- Tratamientos en los que se busca una estructura más estable que aquella de la cual se partió y que son llamados: Recocidos de homogenización.
- Tratamientos en los que se busca una estructura menos estable que aquella de la cual se partió y que son llamados: Temple.
- Tratamientos en los que se modifica la composición química de las aleaciones y que son llamados: Tratamientos termoquímicos.

Usualmente los tratamientos se realizan persiguiendo uno de los objetivos siguientes:

- Remover los esfuerzos inducidos por trabajo en frío o esfuerzos debidos a enfriamiento no uniforme de los metales calientes.
- Para refinar el grano de metales trabajados en caliente, que puedan haber desarrollado grano grueso.
- Para asegurar una estructura granular correcta.
- Para disminuir dureza y aumentar ductilidad.
- Para mejorar propiedades eléctricas.
- Para cambiar o modificar propiedades magnéticas.
- Para aumentar la resistencia al desgaste de las capas superficiales de algunas piezas sin que el núcleo de la pieza no pierda las propiedades originales (ductilidad).

Homogenización del aluminio

La homogenización de un lingote es un tratamiento muy importante para reducir los gradientes de concentración de elementos, antes de los procesos de deformación plástica. Así lo pensaron Dang-Sheng cuando estudiaron los efectos del tratamiento de homogeneizado en la

microestructura y la tenacidad al impacto de lingotes de aceros para matrices (Maffia, Tovia, Cozzarin, & González, 2010).

El término recocido de homogenización se refiere al tratamiento térmico de un material expuesto a elevada temperatura durante un periodo de tiempo y luego enfriado lentamente (Toapanta Sandoval & Velásquez Zurita, 2011). El homogenizado se realiza para:

- Eliminar tensiones,
- Incrementar la plasticidad, la ductilidad y la tenacidad y/o
- Producir una microestructura específica.

Este tratamiento térmico produce cambios micro-estructurales, responsables de la modificación de las propiedades mecánicas. El proceso de homogenizado consta de tres etapas:

- Calentamiento a la temperatura prevista.
- Mantenimiento o “impregnación térmica” a esta temperatura.
- Enfriamiento, generalmente hasta temperatura ambiente.

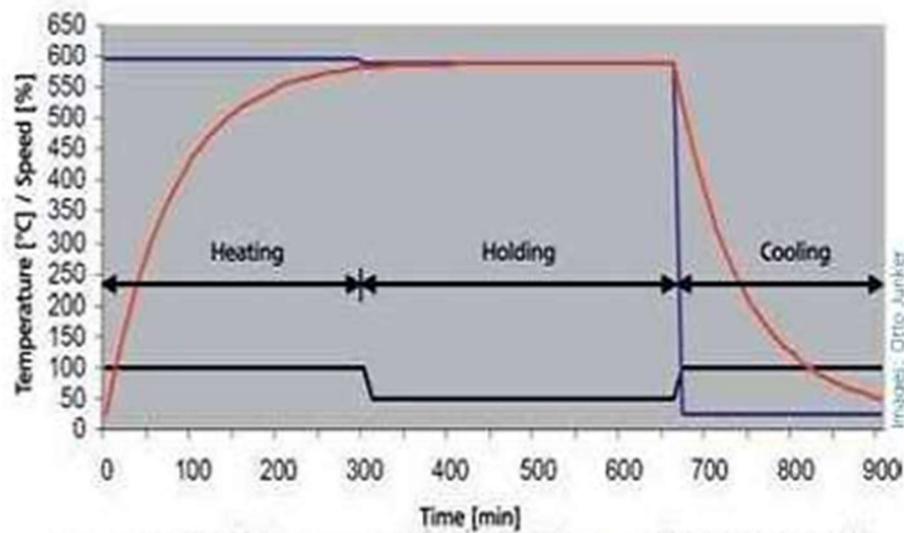
Los tratamientos de homogenización son tanto más eficaces si se aplican en el estado fundido o con una ligera acritud dando lugar a la siguiente variación de propiedades (Toapanta Sandoval & Velásquez Zurita, 2011).

- Las aleaciones responden más rápidamente a los tratamientos térmicos posteriores (recocido, temple y maduración artificial).
- Las características mecánicas son generalmente mejoradas.
- Se mejora la plasticidad en caliente: la laminación, la extrusión, la forja, son más fáciles de realizar.
- Se mejora la maleabilidad en estado recocido; disminuye el límite elástico y aumenta el alargamiento.

- Si el metal se destina para anodizado el aspecto general y el brillo ya mejorados por la homogenización a 540 °C, sufrirán una mejoría más importante cuando la homogenización se realice a 600 °C. Si se trata de obtener, sobre todo las características mecánicas óptimas, es suficiente la homogenización entre 540- 550 °C.

La curva ideal de la temperatura de homogenización de lingotes de aluminio de aleación 6063 figura 8.2, cumple las siguientes etapas:

Figura 8. 2.- Curva del homogenizado de la temperatura



Fuente: (Valder, 2010)

- Calentamiento; es el tiempo que tarda el equipo térmico en llegar a la temperatura óptima que oscila en los 560 °C, para empezar el proceso de homogenización del aluminio.
- Mantenimiento o permanencia; es el período donde se mantiene estable la temperatura para realizar la homogenización.
- Refrigeración; es el enfriamiento de la etapa final del homogenizado que puede llevarse a cabo sin control en el aire ambiente por convección natural o en una velocidad de enfriamiento controlado por convección forzada con aire o agua.

Procedimiento de Homogenizado

Con respecto al proceso de homogenizado, podemos poner en manifiesto que involucra el calentamiento de lingotes o billets con el objetivo de elevar la temperatura donde la Aleación forme una solución homogénea con el aluminio. Es importante mencionar que está constituido por tres etapas necesarias (Barrand, Gadeau, & Dumas, 2001).

- Calentamiento.
- Permanencia de temperatura.
- Enfriamiento hasta temperatura de ambiente.

En primer lugar, el inicio del proceso de homogenizado se considera cuando toda la masa metálica del lingote o billet se ha calentado a la temperatura deseada, la cual varía de acuerdo al tipo de aleación. Dicha temperatura se halla entre los 510 °C y los 600 °C con el fin de evitar alcanzar el punto de fusión (Barrand, Gadeau, & Dumas, 2001).

En segundo lugar, la impregnación térmica o permanencia de temperatura, que, en relación al tiempo, van a estar sometidos los lingotes o billets de dicha aleación. El tiempo de permanencia de temperatura está entre 5 a 48 horas según la aleación, dimensión de los elementos, carga y potencia de horno, entre otros (Barrand, Gadeau, & Dumas, 2001).

Finalmente, el enfriamiento que puede ser por convección natural o por medio de enfriamiento por aire forzado a una velocidad que varía entre 48 °C por hora y 182 °C por hora. Sin embargo, este proceso de enfriamiento puede ser de forma brusca utilizando agua (Barrand, Gadeau, & Dumas, 2001).

Ensayo de metales no ferrosos

Los ensayos de materiales se emplean para aplicaciones de prueba y mejora de materiales, para la detección y evaluación de defectos en la industria del metal, para análisis de fallas y para la investigación básica de la resistencia de materiales (SGS, 2008).

Las propiedades mecánicas o propiedades de resistencia mecánica sirven en la mayoría de los casos como base para dictaminar sobre un material metálico, con vistas a un fin de aplicación concreto. (Hufnagel, 2004).

En esta investigación se realizaron los siguientes ensayos destructivos:

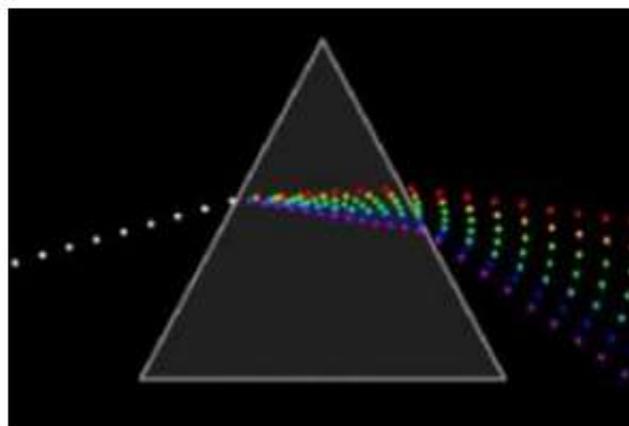
- Espectrometría
- Ensayo de Dureza
- Ensayo de Tracción
- Ensayo metalográfico
 - Microestructura
 - Tamaño de grano

Espectrometría de metales

La espectrometría surgió con el estudio de la interacción entre la radiación y la materia como función de la longitud de onda (λ) (Chiliquinga Flores & Viscarra Viscarra, 2010).

En un principio se refería al uso de la luz visible dispersada según su longitud de onda, por ejemplo, por un prisma (Chiliquinga Flores & Viscarra Viscarra, 2010).

Figura 8. 3.- Dispersión de Luz en un Prisma Triangular.



Fuente: (Chiliquinga Flores & Viscarra Viscarra, 2010).

- **Espectrometría por chispa.** - Se usa para el análisis de elementos metálicos en muestras sólidas. Para materiales no conductores, se usa polvo de grafito para hacer conductora la muestra. En los métodos de espectroscopia de arco tradicionales se usa una muestra sólida que es destruida durante el análisis. Un arco eléctrico o chispa se pasan por la muestra, calentándola a alta temperatura para excitar los átomos. Los átomos de excitado emiten luz en varias longitudes de onda que pueden ser detectadas mediante métodos espectroscópicos comunes.

Ya que las condiciones que producen la emisión por arco no son controladas cuantitativamente, el análisis de los elementos es cualitativo. Hoy día, las fuentes de chispa con descargas controladas bajo una atmósfera de argón permiten que este método pueda ser considerado eminentemente cuantitativo, y su uso está muy extendido en los laboratorios de control de producción de fundiciones y acerías (Chiliquinga Flores & Viscarra Viscarra, 2010).

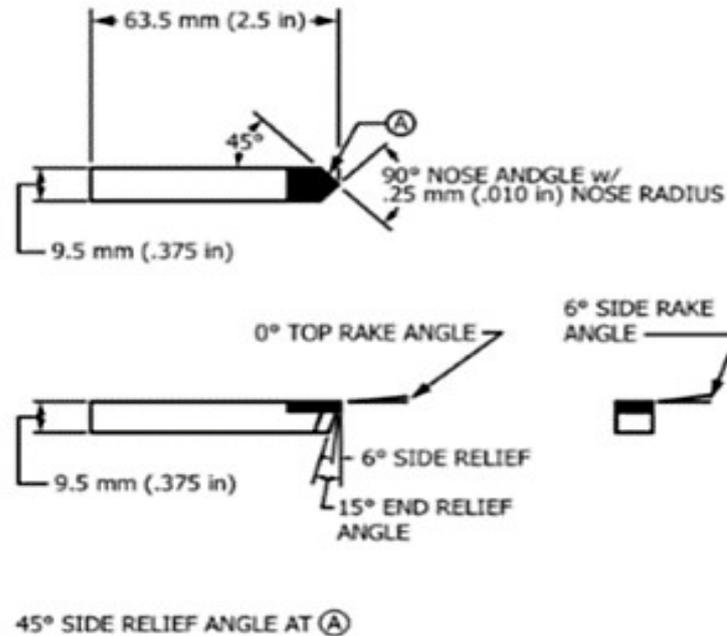
Norma para el ensayo de espectrometría (ASTM E716)

Estas prácticas describen procedimientos para producir una muestra de disco fundido de aluminio durante el proceso de producción también se describe procedimientos para la preparación de muestras y productos antes del análisis (ASTM, ASTM Standard Practices for Sampling and Sample Preparation of Aluminum and Aluminum Alloys for Determination of Chemical Composition by Spark Atomic Emission Spectrometry, 2016).

Dimensionamiento de la probeta

Este molde produce un disco fundido horizontalmente con el bebedero sobre el centro de un lado. Las dimensiones del molde son tales que producen un disco de aproximadamente 50 mm a 64 mm de diámetro de 6 mm a 13 mm de grosor. Un rebajo central circular 10 mm A 20 mm este diámetro en un lado del disco facilita el mecanizado de ese lado en preparación para la excitación (ASTM, ASTM Standard Practices for Sampling and Sample Preparation of Aluminum and Aluminum Alloys for Determination of Chemical Composition by Spark Atomic Emission Spectrometry, 2016).

Figura 8. 4.- Dimensiones de probeta ensayo de espectrometría.



Fuente: (ASTM, ASTM Standard Practices for Sampling and Sample Preparation of Aluminum and Aluminum Alloys for Determination of Chemical Composition Spark Atomic Emission Spectrometry, 2016).

Ensayo de dureza

La dureza es la propiedad que tienen los materiales de resistir a la penetración de un indentador bajo carga. En este sentido definiremos dureza como la resistencia de un material a la deformación plástica localizada (Zavaleta Gutierrez, 2010).

Los ensayos de durezas más utilizados tenemos los siguientes:

- Ensayo BRINELL.
- Ensayo VICKERS.
- Ensayo ROCKWELL.

Ensayo BRINELL

El ensayo de dureza Brinell consiste en presionar la superficie del material a ensayar con una bolilla de acero muy duro o carburo de tungsteno, produciéndose la impresión de un casquete esférico correspondiente a la porción de la esfera que penetra. El valor de dureza, número de

Brinell HB, resulta de dividir la carga aplicada P por la superficie del casquete, por lo que: (Zavaleta Gutierrez, 2010).

$$H_B = \frac{P}{\pi D h} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

h : profundidad del Identador; [mm].

P : Carga Aplicada; [Kg-f].

D : Diámetro del identador; [mm].

La profundidad h del casquete impreso se mide directamente en la máquina, mientras la carga se mantiene aplicada de modo de asegurar un buen contacto entre la bolilla y el material. Otra manera de determinar el número HB es partiendo del diámetro d de la impresión lo cual tiene la ventaja de que se pueden efectuar tantas mediciones como se estimen necesarias y en microscopios o aparatos especialmente diseñados para tal fin. En este caso el valor del diámetro de la impresión resultará del promedio de dos lecturas realizadas a 90° entre sí. Considerando que: (Zavaleta Gutierrez, 2010)

$$h = \frac{D}{2} - \alpha = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad (\text{Ec. 2})$$

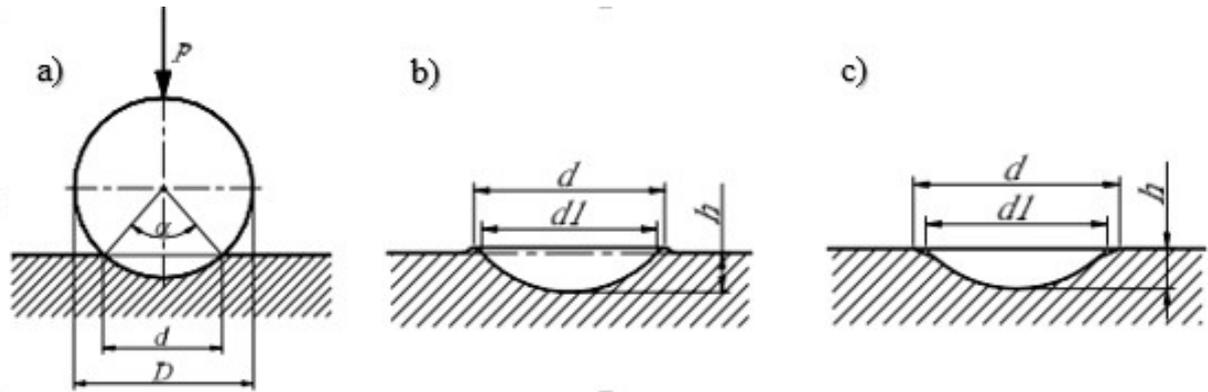
Donde:

α = Angulo de contacto identador – superficie

Reemplazando la Ec. 2 en la Ec. 1 se obtiene una expresión para el número de Brinell en función del diámetro de la huella:

$$H_b = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{Ec. 3})$$

Figura 8. 5.- a) Esquema básico de un ensayo de dureza Brinell b) Craterización en la indentación c) Depresión en la indentación.



Fuente: (Zavaleta Gutierrez, 2010)

- **Tiempo de aplicación de la carga.** - En ensayos normales la carga máxima se alcanza en un lapso de 15 s y se mantiene, al menos, durante otros 15 s para aceros y 30 s para metales más dúctiles (ASTM, Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials, 2014).

Norma para el ensayo de dureza ASTM E10-15

Este método de ensayo cubre la determinación de la dureza Brinell de materiales metálicos por el principio de dureza de indentación de Brinell. Esta norma proporciona los requisitos para una máquina de ensayo Brinell y los procedimientos para realizar las pruebas de dureza Brinell (ASTM, Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials, 2014).

Dimensionamiento de la probeta

La norma ASTM E10-15 no menciona una forma específica de la probeta, pero nos da una serie de recomendaciones, si se desea realizar más de una huella en el material con el indentador la longitud de separación debe de ser 10 veces el diámetro del indentador (ASTM, Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials, 2014).

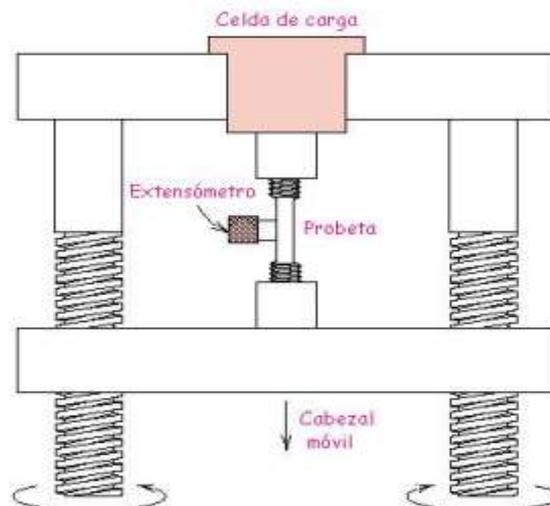
Ensayo de tracción

El ensayo a tracción es la forma básica de obtener información sobre el comportamiento mecánico de los materiales. Mediante una máquina de ensayos se deforma una muestra o probeta del material a estudiar, aplicando la fuerza uniaxialmente en el sentido del eje de la muestra. A medida que se va deformando la muestra, se va registrando la fuerza (carga), llegando generalmente hasta la fractura de la pieza (Callister, 2000).

Así pues, el resultado inmediato es una curva de carga frente a alargamiento, que, transformados en tensión y deformación, en función de la geometría de la probeta ensayada, aportan una información más general (Callister, 2000).

En la figura 8.6 se muestra un esquema de la máquina

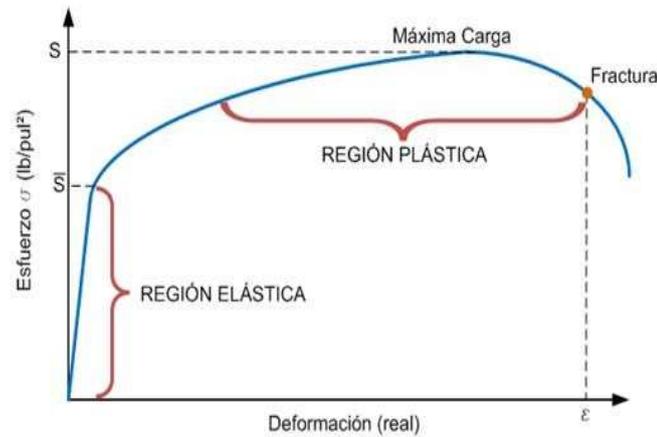
Figura 8. 6.- Máquina de ensayo de Tracción.



Fuente: (Callister, 2000).

- **Diagrama esfuerzo deformación.** –Todo cuerpo al soportar una fuerza aplicada trata de deformarse en el sentido de aplicación de la fuerza. Aunque el esfuerzo y la deformación ocurren simultáneamente durante un ensayo, los dos conceptos son completamente distintos (Rahbani Vergara, 2013).

Figura 8. 7.- Diagrama esfuerzo deformación.



Fuente: (Ingenieria industrial online, 2016).

- **Esfuerzo.** - Las fuerzas internas de un elemento están ubicadas dentro del material por lo que se distribuyen en toda el área; justamente se denomina esfuerzo a la fuerza por unidad de área, la cual se denota con la letra griega sigma (σ) y es un parámetro que permite comparar la resistencia de dos materiales, ya que establece una base común de referencia (Rahbani Vergara, 2013).

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

σ =Esfuerzo; [Mpa].

F = Fuerza axial; [N].

A_0 =Área de la sección transversal; [mm²].

- **Deformación.** - La resistencia del material no es el único parámetro que debe utilizarse al diseñar o analizar una estructura; controlar las deformaciones para que la estructura cumpla con el propósito para el cual se diseñó tiene la misma o mayor importancia.

El análisis de las deformaciones se relaciona con los cambios en la forma de la estructura que generan las cargas aplicadas (Rahbani Vergara, 2013).

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

ε = Deformación; [%].

$l - l_0$ = Variación de Longitud; [mm].

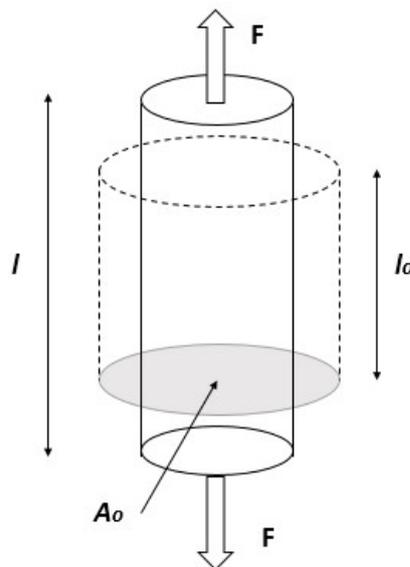
l = Longitud final; [mm].

l_0 = Longitud inicial; [mm].

F = Fuerza axial; [N].

A_0 = Área de la sección transversal; [mm²].

Figura 8. 8.- Diagrama cuerpo libre.



Fuente: (Callister, 2000).

- **Región elástica:** Se observa que va desde el origen O hasta el punto llamado límite de proporcionalidad, es un segmento de recta rectilíneo, de donde se deduce la tan conocida

relación de proporcionalidad entre la tensión y la deformación enunciada en el año 1678 por Robert Hooke Ec.8.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

ε = Deformación; [%].

σ = Esfuerzo; $\left[\frac{kg}{mm^2}\right]$.

E = Modulo de elasticidade; [m/m].

- **Región plástica** Es la tensión más allá del cual el material no recupera totalmente su forma original al ser descargado, sino que queda con una deformación residual llamada deformación permanente.
- **Rotura:** Verdadero esfuerzo generado en un material durante la rotura.

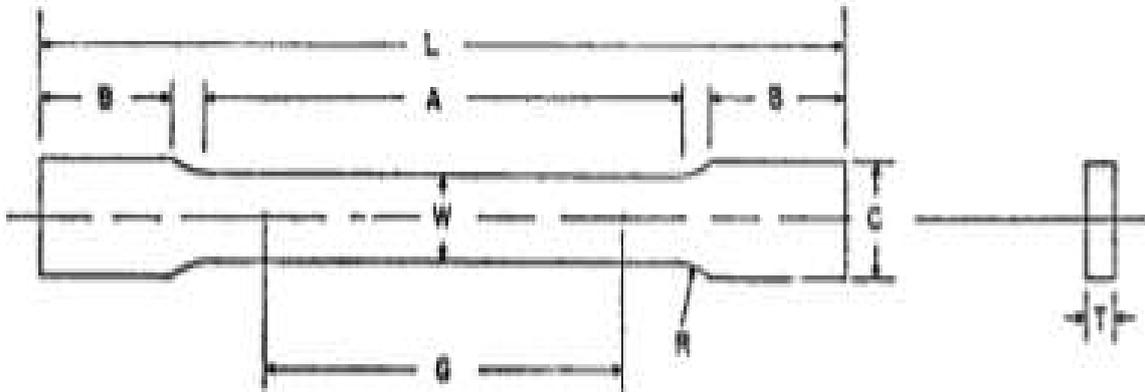
Norma para el ensayo de tracción ASTM B 557M

Pruebas de tensión de proporcionan información sobre la resistencia y ductilidad de los materiales bajo esfuerzos de tracción uniaxiales. Esta información puede ser útil en comparaciones de materiales, desarrollo de aleación, control de calidad y diseño bajo ciertas posturas (ASTM, Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum-and Magnesium-Alloy Products, 2006).

Dimensionamiento de la probeta

La norma ASTM B557 M nos menciona dos tipos de medidas la standart y la subsize, la subsize es solo para las muestras que no pueden llegar al tamaño standart, en el caso de esta investigación se tomara las dimensiones de la probeta estándar mencionados en la figura 8.9.

Figura 8. 9.- Forma de la probeta para ensayos de tracción.



Fuente: (ASTM, Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products, 2006).

Tabla 8. 6.- Dimensiones de la probeta para ensayos de tracción

	Dimensions [in]
	Standard
G- Gage length	2±0,005
W- Width	0,5±0,010
T- Thickness	Thickness of material
R- Radios of fillet	0,5
L- Overall Length	8
A-length of reduced section	2 $\frac{1}{4}$
B- Length of grip section, min	2
C-width of grip section	$\frac{3}{4}$

Fuente: (ASTM, Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products, 2006).

Metalografía

La metalografía es una disciplina de la ciencia que se encarga de examinar y determinar los componentes en una muestra de metal, haciendo uso de Varios niveles de magnificación que

pueden ir desde 20x hasta 1'000.000x. También se conoce como el proceso entre la preparación de una muestra de metal y la evaluación de su microestructura (Garavito, 2011).

Tamaño de grano

El tamaño de grano es un ensayo dentro de la ciencia de materiales muy importante, en la actualidad sobre todo en la industria para el mejoramiento de las diferentes aleaciones industriales y de aplicaciones específicas, con un el fin de verificar o dar seguimiento a los diferentes tratamientos térmicos y como los afecta o el comportamiento del material a analizar al variar uno de los aleantes de su composición. En concordancia con (YAPO SANDOVAL, 2013). “La determinación del tamaño de grano es una medición muy importante para la caracterización y desarrollo de materiales, así como en el control de calidad en los procesos de fabricación” (YAPO SANDOVAL, 2013).

Una de las mediciones microestructurales cuantitativas más comunes es la medición del tamaño de grano de metales y aleaciones. Existen varios procedimientos que se han desarrollado para estimar el tamaño de grano, la ASTM (American Society for Testing and Materials) ha sintetizado todos estos procesos y se explican en detalle en la norma ASTM E112.

Los Métodos de Prueba E 112 están diseñados para clasificar el tamaño de grano de las estructuras de grano equiaxiales con una distribución de tamaño normal como los tamaños de grano (G) de ferrita y la perlita (LLULLUNA LLUMIQUINGA, 2014).

Norma para el ensayo de Metalografía ASTM E – 112

Estos métodos de ensayo cubren los procedimientos de estimación y reglas para expresar el tamaño de grano de todos los metales que consisten en su totalidad, o principalmente, de una sola fase. El tamaño de grano de las muestras con dos fases, o una fase y un componente, se puede medir usando una combinación de dos métodos, una medida de la fracción de volumen de la fase y una intersección o el recuento de planimétrica. Los métodos de ensayo también se pueden utilizar para cualquiera estructura que tienen una apariencia similar a las de las estructuras metálicas se muestra en las tablas de comparación. (CYMPA, 2017)

Dimensionamiento de la probeta

La normas ASTM E112 no menciona un forma específica de la probeta pero nos da una serie de pasos para obtener una probeta con una superficie perfectamente plana y libre de rayas al observarse bajo el microscopio óptico, para esto se debe hacer: desbaste grueso (se esmerila la superficie de la muestra hasta obtener una superficie plana, cuidando de mantener un flujo constante de refrigerante), seguido del desbaste fino (comenzando por papel esmeril de menor número se desbasta la muestra moviéndola sobre el papel abrasivo en una misma dirección, la dirección del movimiento debe ser perpendicular a las huellas del desbaste grueso. El proceso culmina al desaparecer las huellas del desgaste grueso por la abrasión efectuada, o equivalentemente, cuando toda la superficie de la probeta esté cubierta por rayas paralelas a la dirección de movimiento), pulido (en esta parte se debe pulir la superficie hasta que quede una superficie tipo espejo), y ataque químico (en que se retiran las impurezas debido a capas de material distorsionado y plásticamente deformado) (ASTM, Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials, 2014).

9.- HIPÓTESIS

El análisis del cambio en las propiedades mecánicas de la aleación aluminio AA6063 al variar el tiempo de homogenizado en la empresa CEDAL S.A., ayudará a estandarizar un proceso de tratamiento térmico dentro de la empresa, proponiendo un tiempo adecuado para la homogenización, teniendo en cuenta las características mecánicas requeridas.

10.- METODOLOGÍAS

En este capítulo se describen los materiales usados en este proyecto, además de la descripción de algunas de las herramientas necesarias para la elaboración y culminación de la generación de probetas de acuerdo a las normas.

En la metodología se tuvo en cuenta la realización de un procedimiento de prueba que, mediante el uso del horno de homogenizado, se dio lugar al calentamiento de las muestras de aluminio debidamente especificadas; y utilizando tres tiempos diferentes a partir de las cuales se hicieron las respectivas mediciones y análisis de los resultados.

Tipo de investigación

El presente trabajo es una investigación de campo, el cual se ha realizado dentro de la empresa CEDAL S.A., la cual ha facilitado sus instalaciones para proseguir con este estudio, se ha considerado variables tanto de entrada como de salida para los diferentes ensayos ya sea de tracción y dureza.

Varianza estadística Fisher

El análisis Fisher ayuda a identificar en grado de varianza que se obtiene entre dos variables, este número es positivo por lo tanto si el valor es menor a uno quiere decir que la variabilidad entre las dos constantes es insignificante y contienen las mismas características (Bólvivar, Freires, Gonzáles, & Salas, 2015).

Diseño de experimento para la investigación

El diseño para experimento de estudio se fundamentó en la técnica estadística de análisis factorial, debido a la necesidad de observar una correlación entre las variables definidas inicialmente para las condiciones de probetas, y los correspondientes datos experimentales obtenidos luego de los ensayos realizados. Se ha escogido un diseño factorial no lineal por el motivo de que los resultados obtenidos no son lineales como muestra la Ec. 7.

$$n = 3^k \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

n = Número de réplicas; [u].

3 = Numero de experimentos; (replicas).

k = Variables de entrada

n = Numero de niveles; (mediciones).

Con el uso del análisis factorial, se permite analizar la variación de las propiedades mecánicas de las probetas en aleación AA6063, relacionadas con la aplicación de temperatura, y a través

de tres tiempos diferentes de homogenizado. Además, se selecciona las variables de entrada y salida correspondientes para cada ensayo realizado en este trabajo de investigación, que se muestran en forma gráfica por medio de un diagrama de procesos, que ayudo en la comprensión de la actividad a realizar durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

Ensayo Espectrométrico

En este ensayo se describen un procedimiento para obtener resultados cualitativos por análisis directo del producto utilizando chispa espectrometría de emisión atómica. Este ensayo permite conocer el porcentaje de los aleantes adecuados para ser considerado como aluminio AA 6063. La tabla 10.1 mostrada ayuda a advertir el proceso requerido para la recopilación de información acerca de lo materiales aleantes del AA6063.

Tabla 10. 1.- Procedimiento para la aplicación del ensayo de espectrometría.

Análisis Espectrométrico		
Norma aplicada:	ASTM E716 Standard Practices for Sampling Aluminum and Aluminum Alloys for Spectrochemical Analysis	
Norma dimensiones de la probeta:	ASTM E716 Standard Practices for Sampling Aluminum and Aluminum Alloys for Spectrochemical Analysis	
Materiales	Procedimiento	Imágenes del procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Cuchara para toma de muestras de la colada. • Espectrómetro 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar una muestra de la colada 2. Enfriar en agua. 3. Pulir una de las caras. 4. Colocar la muestra en el espectrómetro y realizar las pruebas. 5. Registrar los datos en la computadora. 	

Elaborado por: Los Autores.

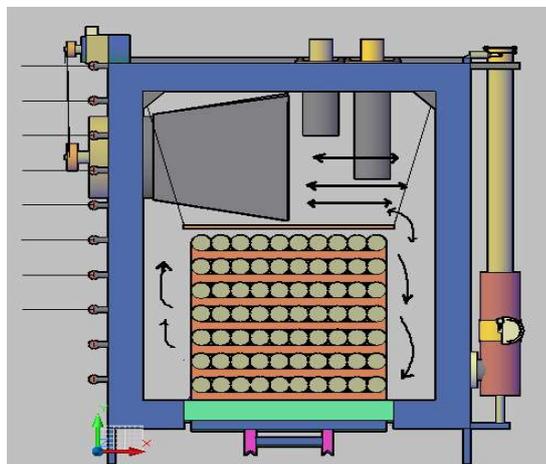
Procedimiento para control de temperatura en el homogenizado

Para el cumplimiento de este trabajo se procede a hacer un registro de la temperatura durante el proceso y es necesario mencionar lo siguiente:

Horno de homogenización. - El Horno de Homogenizado de CEDAL S.A., tiene la capacidad de homogenizar 140 lingotes por carga, posee una recubierta interna y externa de acero inoxidable con lana de vidrio como material aislante que evita la fuga de energía. Esta provista de seis quemadores ubicados en forma vertical, los cuales funcionan a diésel generando la temperatura adecuada para el homogenizado. El funcionamiento del Sistema de Combustión del Horno, se realiza de acuerdo a los siguientes parámetros (Chiliquina Flores & Viscarra Viscarra, 2010).

- Pre-Encendido.
- Energizar.
- Limite Técnico del Horno.
- Purga.
- Arranque de Quemadores.
- Parada del Sistema.
- Alarmas
- Re-Encendido del Control de Flama.

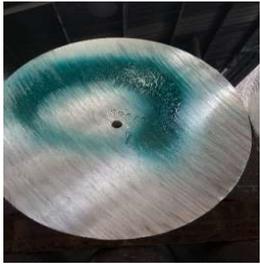
Figura 10. 1.- Esquema circulación del aire.



Fuente: (Chiliquina Flores & Viscarra Viscarra, 2010).

Para tener un control de las temperaturas internas dentro del horno de homogenizado se ha instalado termocuplas, distribuidas uniformemente en los billet como se muestra a continuación, en la tabla 10.2 se indica el procedimiento a realizarse para la instalación de las termocuplas.

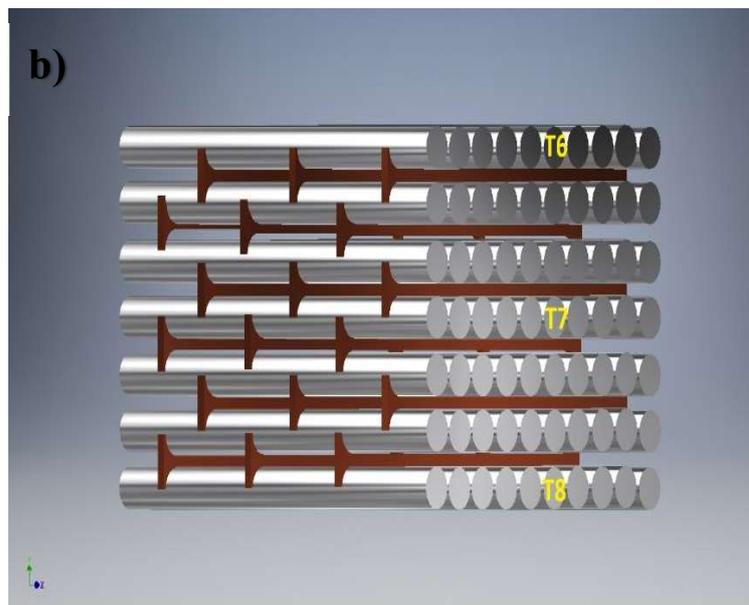
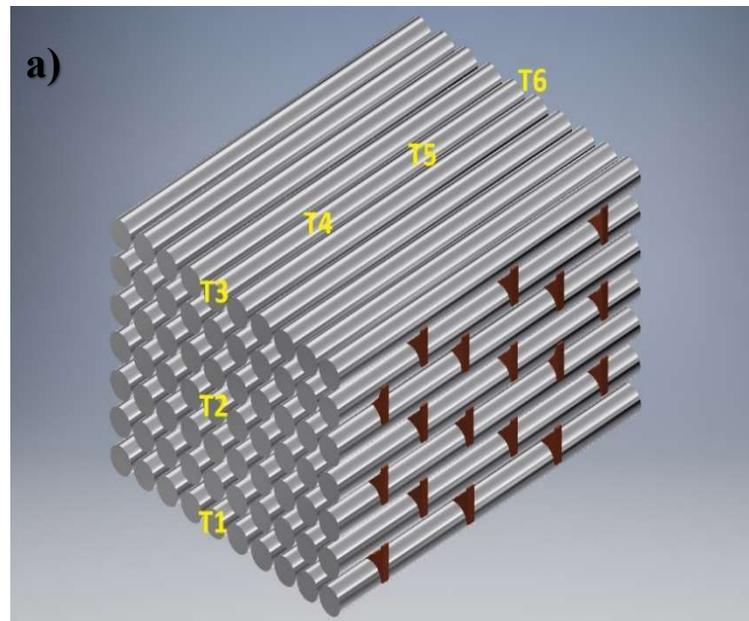
Tabla 10. 2.- Procedimiento de la ubicación de las termocuplas.

Ubicación de las termocuplas		
Norma aplicada:	No aplica	
Norma dimensiones de la probeta:	No aplica	
Materiales	Procedimiento	Imágenes del procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Taladro 1/4 • Termocuplas tipo k • DAQ (Tarjera de adquisición de dato) • Resina térmica • Software LABview 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar un agujero de 7 cm de profundidad en los billet 2. Colocar las termocuplas con resina térmica 3. Controlar el tiempo de sostenimiento en las diferentes cargas. 4. Conectar los extremos de las termocuplas en la DAQ. 5. Registrar los datos en la computadora 6. Ingresar el carro contenedor de billet al horno de homogenizado. 7. Controlar el tiempo de sostenimiento de homogenizado. 	  

Elaborado por: Los Autores.

La medición de temperatura es de gran importancia, se debe tener en cuenta la distribución del calor dentro del horno de homogenización para que se cumpla los parámetros del tiempo de sostenimiento, se utilizó 8 termocuplas tipo (K) las cuales a través de una DAQ (tarjeta de adquisición de datos) transforma las señales analógicas a digitales obtenidas de las termocuplas, conjuntamente con el software LABview se puede conseguir los datos de temperatura en el sitio de la ubicación de los sensores y de esta manera se podrá constatar si se realizó el tiempo de sostenimiento.

Figura 10. 2.- Ubicación termocuplas a) vista frontal b) vista posterior.



Elaborado por: Los Autores.

Las termocuplas esta ubicadas en los extremos de los lingotes en total 6, después dos en el centro como muestra la figura.

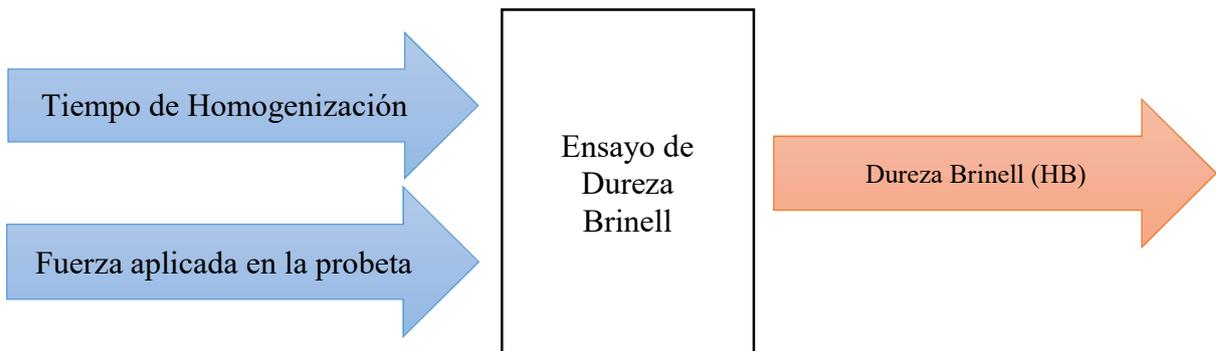
Ensayo de dureza

A continuación, se detallará algunos aspectos importantes para realizar el ensayo de dureza.

Variables para el ensayo de dureza

Para las variables del ensayo de dureza se ha considerado el tiempo de homogenizado y la fuerza aplicada en la probeta como variables de entrada y la dureza (HB) como variables de salida.

Figura 10. 3.- Ensayo de dureza: Variables de entrada; Variables de salida.



Elaborado por: Los Autores.

Aplicando la ecuación Ec. 7 tenemos:

- 9 niveles (mediciones).
- 2 variables de entrada.
- 3 réplicas.

Una de las pruebas realizadas para nuestro análisis es la de dureza que nos ayudará a entender como esta propiedad se ve afectada por el tiempo de homogenización el procedimiento se realizó de la siguiente manera.

Tabla 10. 3.- Procedimiento para la aplicación del ensayo de Dureza.

Aplicación del Ensayo de Dureza		
Norma aplicada:	ASTM E10-15 Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials	
Norma dimensiones de la probeta:	ASTM E10-15 Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials	
Materiales	Procedimiento	Imágenes del procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> ● Durómetro ● Identador de 5 [mm] ● Microscopio para medir los diámetros del identador 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cortar la probeta de una dimensión de 3x3 cm. 2. Pulir hasta tener una superficie lisa. 3. Colocar las probetas en el Durómetro. 4. Presionar la probeta con una fuerza de 613[N] 5. Observar en el microscopio y tomar medidas de los diámetros. 	  

Elaborado por: Los Autores.

Ensayo de tracción

En este ensayo se utilizan dos normativas ASTM una dirigida al dimensionamiento de la probeta (ASTM, Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products, 2006) y la otra al procedimiento para el ensayo (ASTM, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, 2009).

Variables ensayo de tracción

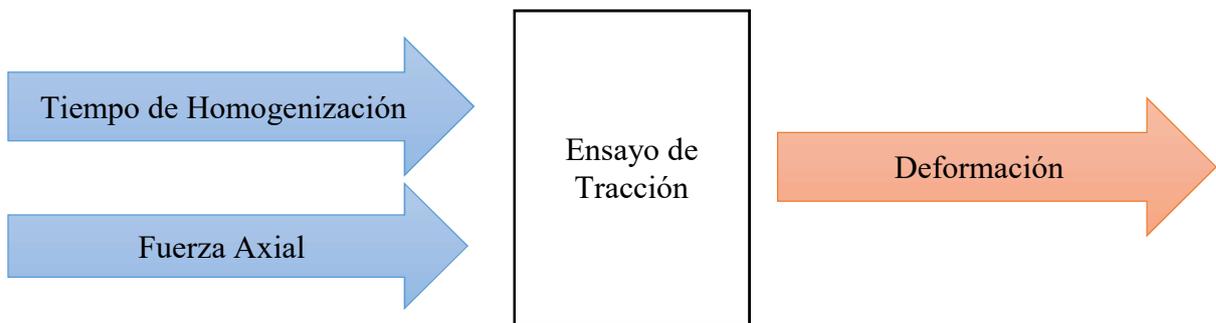
En el diseño de experimentos para el ensayo de tracción se ha considerado variables de entrada que para este caso son:

- Tiempo de homogenización.
- Fuerza axial aplicada en el ensayo de tensión

Y como variable de salida tenemos:

- Deformación.

Figura 10. 4.- Ensayo de tracción: Variables de entrada, Variables de salida.

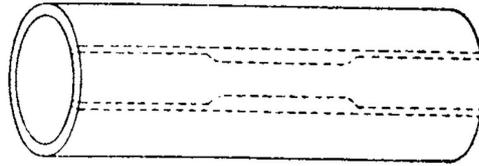


Elaborado por: Los autores.

Aplicando la ecuación Ec. 8 se tiene un resultado de valor 9 el cual significa el número mínimo de mediciones a realizarse.

- Teniendo así 9 niveles (mediciones)
- 2 variables de entrada
- 3 réplicas.

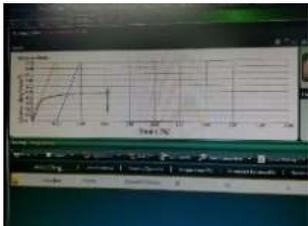
Para el dimensionamiento y selección de la probeta, la norma (ASTM, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, 2009), indica que el testigo tiene que ser extraído de la parte media del billet y por consiguiente ser mecanizado siguiendo las medidas recomendadas, el procedimiento y dimensionamiento como indica la norma según sea el caso.

Figura 10. 5.- Extracción de la probeta del billet.

Fuentes: (ASTM, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, 2009).

En la tabla 11.1 se indica el procedimiento que se realizó para obtener el diagrama esfuerzo deformación de cada probeta ensayada (ASTM, Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products, 2006).

Tabla 10. 4.- Procedimiento para la aplicación del ensayo de tracción.

Aplicación del ensayo de tracción		
Norma aplicada:	ASTM B 557M Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products	
Norma dimensiones de la probeta:	ASTM E8/E8M – 09 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials	
Materiales	Procedimiento	Imágenes del procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Probeta con las dimensiones de la norma. • Pie de rey • Micrómetro • Máquina de ensayos universal • Software Horizon 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Medir si la probeta cuenta con las dimensiones correctas. 2. Identificar el área en donde coge las mordazas de la maquina universal. 3. Someter a la probeta al ensayo 4. Colocar el extensómetro 5. Visualizar en el software el diagrama esfuerzo-deformación 	  

Elaborado por: Los Autores.

Ensayo de Metalografía

Se mencionará algunos aspectos importantes para realizar el ensayo de tamaño de grano y microestructura. Aquí se relata cómo fue el proceso para obtener imágenes del tamaño de grano en las probetas.

Tabla 10. 5.- Procedimiento para la aplicación del ensayo de tamaño de grano.

Procedimiento para la aplicación del ensayo de tamaño de grano y metalografía		
Norma aplicada:	ASTM E3-11 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens	
Norma dimensiones de la probeta:	No Aplica	
Materiales	Procedimiento	Imágenes del procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Microscopio • pulidor por abrasión 1 y 0,3 micras • reactivo Keller • Computador. • Software PAX. • Lijas 200,400 y 600 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cortar la probeta de una dimensión de 3x3 cm. 2. Pulir con las lijas 200, 400 y 600 hasta tener una superficie lisa. 3. Pulir con el equipo de abrasión de hasta tener una superficie tipo espejo. 4. Colocar el reactivo keller 5. Esperar 10 segundos hasta la revelación de la imagen. 6. Observar en el microscopio. 	   

Elaborado por: Los Autores.

Para la aplicación del ensayo microestructural el procedimiento es similar al del tamaño de grano la diferencia radica en el ácido aplicado y el tiempo de exposición, el químico a aplicar va hacer el Pulton el cual nos permite visualizar la microestructura de las probetas.

Materiales utilizados en la investigación

Se realiza una breve descripción de los materiales a usarse en esta investigación.

Equipo para espectrometría.

Espectrómetro. - Este es un equipo el cual nos permite conocer los diferentes aleantes del aluminio AA6063 conociendo su valor porcentual de cada aleante.

Figura 10. 6.- Espectrómetro de chispa.



Fuente: (Chiliquinga Flores & Viscarra Viscarra, 2010).

Equipo para Homogenización.

Horno de homogenización. - El Horno de Homogenizado de CEDAL S.A., es de procedencia israelí marca (EUROTHERM); tiene la capacidad de homogenizar 140 lingotes por carga, posee una recubierta interna y externa de acero inoxidable con lana de vidrio como material aislante que evita la fuga de energía. Esta provista de seis quemadores ubicados en forma

vertical, los cuales funcionan a diésel generando la temperatura adecuada para el homogenizado. El funcionamiento del Sistema de Combustión del Horno, se realiza de acuerdo a los siguientes parámetros (Chiliquinga Flores & Viscarra Viscarra, 2010):

- Pre-Encendido.
- Energizar.
- Limite Técnico del Horno.
- Purga.
- Arranque de Quemadores.
- Parada del Sistema.
- Alarmas y,
- Re-Encendido del Control de Flama.

Figura 10. 7.- Horno de Homogenización.



Fuente: (Chiliquinga Flores & Viscarra Viscarra, 2010).

Equipo para el ensayo de dureza.

Durómetro. - Huayin Testing Instrument construye maquinas las cuales nos permite realizar ensayos de dureza y a su vez medirlos bajo condiciones estáticas para los casos de Brinell, Rockwell y Vickers. En esta tesis se utiliza la dureza Brinell.

Figura 10. 8.- Durómetro.



Elaborado por: Los Autores.

Identador esférico. - El identador es un instrumento de penetración a través de una bola de acero templado o bola de carburo de tungsteno, este deja una huella en el material el cual dependiendo del diámetro marcado nos permite medir la dureza Brinell.

Figura 10. 9.- Identador 2.5 mm.



Elaborado por: Los Autores.

Microscopio para la Medición Improntas Brinell. - Este microscopio está diseñado para medir el diámetro de la huella dejado por el identador esférico.

Figura 10. 10.- Microscopio para medir huellas de dureza Brinell.



Elaborado por: Los Autores.

Equipo para el ensayo de tracción

Máquinas de ensayo universal. - Esta máquina está diseñada para someter al material a ensayos de tracción o compresión con normas internacionales tales como ASTM, ISO, EN entre otras.

Extensómetro de contacto directo. - El extensómetro es un sensor el cual mide la deformación del material antes del punto de ruptura.

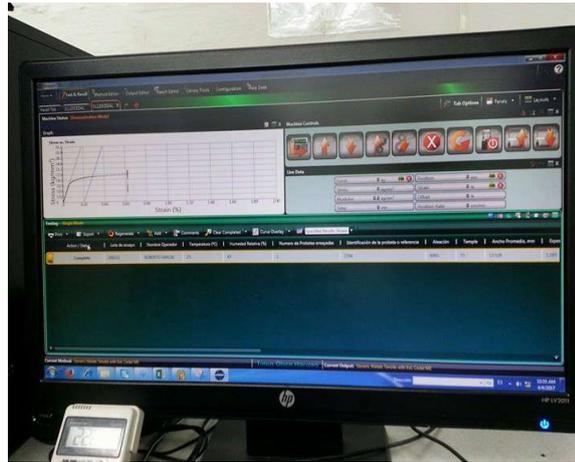
Figura 10. 11.- Máquina de tracción (derecha) -Extensómetro de contacto Directo (Izquierda).



Elaborado por: Los Autores.

Horizon. - Es un programa que trabaja conjuntamente con la máquina de ensayos de tracción y el extensómetro, lo que hace este software es graficar el diagrama esfuerzo deformación de los materiales sometidos al ensayo de tracción.

Figura 10. 12.- Software Horizon.



Elaborado por: Los Autores.

Equipo para preparación del ensayo de metalografía y tamaño de grano

Lijadora. - Es una maquina la cual permite poner lijas de numero 200, 400 y 600 para desbastar el material para obtener una superficie más lisa.

Figura 10. 13.- Lijadora.



Elaborado por: Los Autores.

Pulidor 1 y 0.3 micra. - Esta máquina abrasiva permite tener una superficie tipo espejo.

Figura 10. 14.- Pulidor.



Elaborado por: Los Autores.

Ácido Keller. - Este es un ácido el cual permite que se defina el tamaño de grana en la superficie de la probeta.

Figura 10. 15.- Acido Keller.



Elaborado por: Los Autores.

Microscopio. - Esta máquina permite visualizar el tamaño de grano en las probetas.

Figura 10. 16, Microscopio.



Elaborado por: Los Autores.

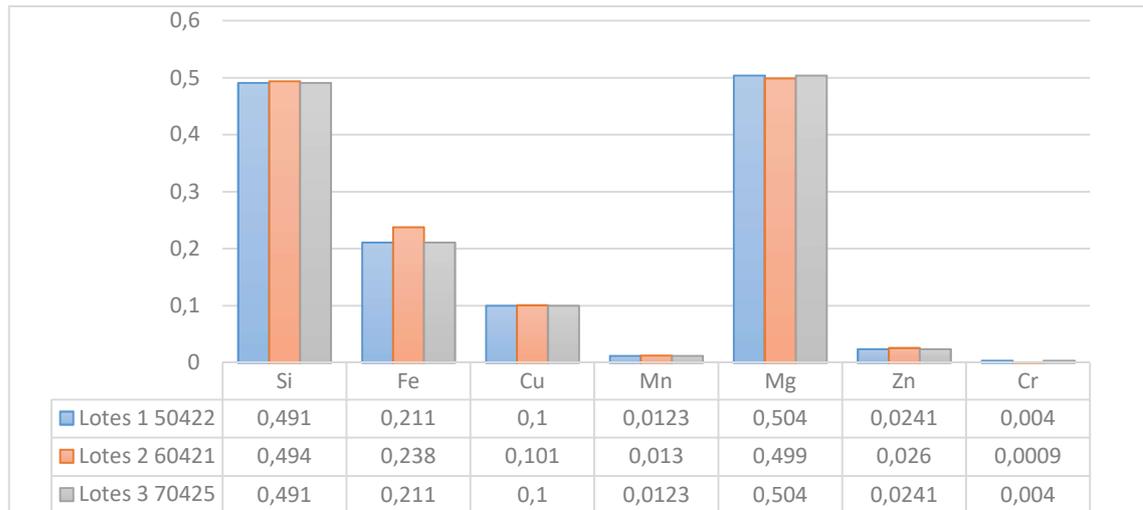
11.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Aquí se va a efectuar un análisis de los resultados obtenidos en el momento que se realizaron los ensayos aplicados a la aleación AA 6063.

Para el siguiente trabajo de investigación se requirió 4 cargas de lingotes de aleación AA 6063 las cuales: 3 cargas son sometidas a homogenización en 4, 5 y 6 horas, para ser sometidas a los diferentes ensayos espectrometría, dureza, tracción, y tamaño de grano, donde la carga que no es sometida a homogenización tan solo se le aplicaran los ensayos ya mencionados.

Aplicación del ensayo de espectrometría

Dentro de la determinación de las propiedades mecánicas de la aleación se debe tomar en cuenta la composición química que tiene la misma, donde en esta parte del proyecto después de realizarse el ensayo, y en base a las hojas de reportes generadas por éste, se agruparon sus “valores promedios” de las hojas de cada uno de los lotes (muestra de colada) seleccionados, apreciándose estos datos tabulados según el material aleante correspondiente a esta aleación en la tabla mostrada en la figura 11.1.

Figura 11. 1.- Valores promedios del ensayo espectrómetro de los lotes a experimentar.

Elaborado por: Los Autores.

Mientras que, en la siguiente tabla 11.1 se muestra las “desviaciones medias” calculadas; estas fueron obtenidas a partir de los “valores promedios” de las hojas de reporte del Espectrómetro y tabuladas de igual manera según el material aleante.

Tabla 11. 1.- Desviación media del reporte del Espectrómetro.

Desviación media (Lote)	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr
050422	0,0	0,006	0,003	0,003	0,0005	0,004	0,0002	0,0018
060421	0,0	0,006	0,006	0,001	0,0002	0,004	0,0008	0,0000
070425	0,0	0,005	0,002	0,002	0,0001	0,006	0,0004	0,0009

Elaborado por: Los Autores.

Dado que el número de medidas realizadas según el reporte del espectrómetro que son tres se puede considera a la desviación media como el error más probable.

Entonces el “valor más probable” de cada lote quedaría de la siguiente manera, mostrada en la tabla 11.2.

Tabla 11. 2.- Valor más probable de cada lote.

Valor más probable	Elementos aleantes de aluminio 6063													
	Lote	Si %	+/-	Fe %	+/-	Cu %	+/-	Mn %	+/-	Mg %	+/-	Zn %	+/-	Cr %
50422	0,491	0,006	0,211	0,003	0,100	0,003	0,0123	0,0005	0,504	0,004	0,0241	0,0002	0,0040	0,0018
60421	0,494	0,006	0,238	0,006	0,101	0,001	0,0130	0,0002	0,499	0,004	0,0260	0,0008	0,0009	0,0000
70425	0,505	0,005	0,208	0,002	0,104	0,002	0,0125	0,0001	0,487	0,006	0,0231	0,0004	0,0008	0,0009
Tabla 8.4	0,2 /0,6		0,35		0,1		0,1		0,45/0,9		0,15		0,1	
	Composición porcentual según THE ALUMINUM ASSOSATION													

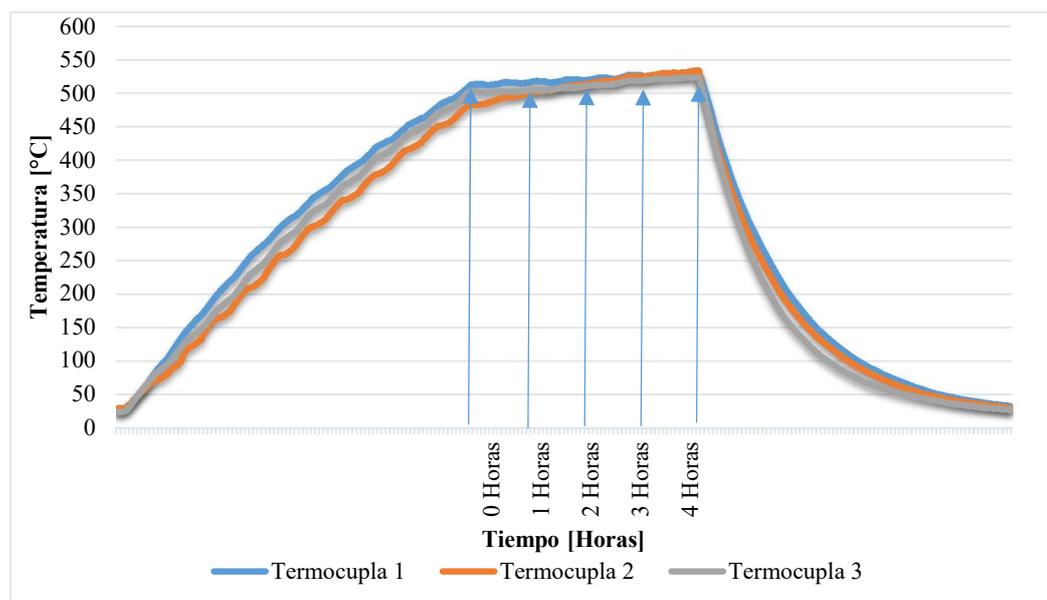
Elaborado por: Los Autores.

De esta manera se puede apreciar que los lotes elegidos para el proyecto cumplen con los requerimientos para considerarse como una aleación AA6063.

Control del proceso de Homogenizado

En este paso se mostrará las gráficas de temperaturas obtenidas dentro del horno de homogenización. En la figura 11.2 se observa que el tiempo de sostenimiento fue 4 horas (desde las 21H05 hasta la 01H05) las cuales cumplen con el propósito de la investigación.

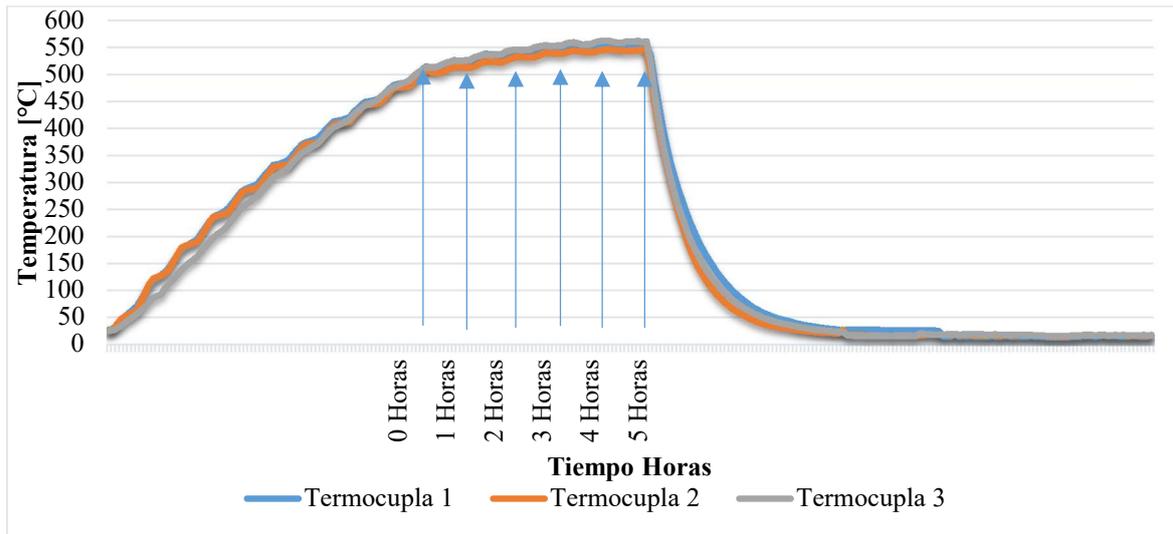
Figura 11. 2.- Grafica de las temperaturas carga 4 horas.



Elaborado por: Los Autores.

La figura 11.3 muestra la gráfica de las temperaturas de la segunda carga, cumpliendo así las 5 horas desde las 15H59 hasta las 20H59, las termocuplas funcionaron registraron correctamente las temperaturas obteniéndose así la siguiente gráfica.

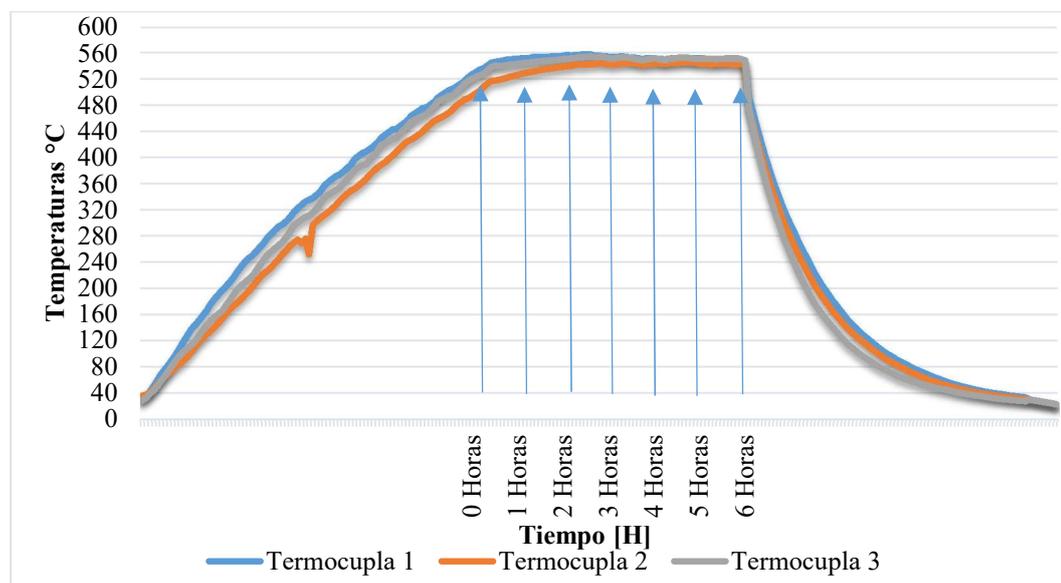
Figura 11. 3.- Grafica de las temperaturas carga 5 horas.



Elaborado por: Los Autores.

Las mediciones de las temperaturas obtenidas en la carga tres se muestra en la figura 11.4 desde las 19H17 hasta las 12H17 se observa que si se ejecutan las 6 horas de sostenimiento.

Figura 11. 4.- Grafica de las temperaturas carga 6 horas.



Elaborado por: Los Autores.

Como se puede observar en las figuras 11.2, 11.3 y 11.4 se verifica el tiempo de sostenimiento en la homogenización las cuales son 4, 5 y 6 horas respectivamente con el propósito de conservar un determinado tiempo las temperaturas en el interior del horno; manteniendo curvas similares entre sí Sin embargo, en la última grafica se puede observar una leve perturbación en la “termocupla 1” en la región creciente de la curva debido a la fatiga de la misma por su uso prolongado dentro del horno que no tiene una afectación directa en la región de sostenimiento.

Aplicación del ensayo de dureza

Para el ensayo de dureza, ésta se ha realizado con la norma apropiadamente indicada, y de forma semejante el durómetro cumple con las calibraciones anuales realizadas según la normativa INEN.

Varianza Fisher en el ensayo de dureza

En la siguiente tabla se mostrarán los valores tabulados que se obtuvo a través del software Excel en la plantilla prueba Fisher.

Tabla 11. 3.- Varianza Fisher en ensayo de dureza.

Análisis Fisher en ensayo de dureza					
	Probetas	Usadas	Estadística F	Razón de cambio de las Varianzas P(F<=f)	Validación
Sin Homogenizar	SH-T1	x	1	0,47	No Significativa
	SH-T5	x			
	SH-T8				
4 Horas de Homogenizado	4H-T1	x	1	0,45	No Significativa
	4H-T2	x			
	4H-T8				
5 Horas de Homogenizado	5H-T1	x	1	0,49	No Significativa
	5H-T4-5	x			
	5H-T7				
6 Horas de Homogenizado	6H-T2	x	1	0,38	No Significativa
	6H-T3	x			
	6H-T6				

Elaborado por: Los Autores.

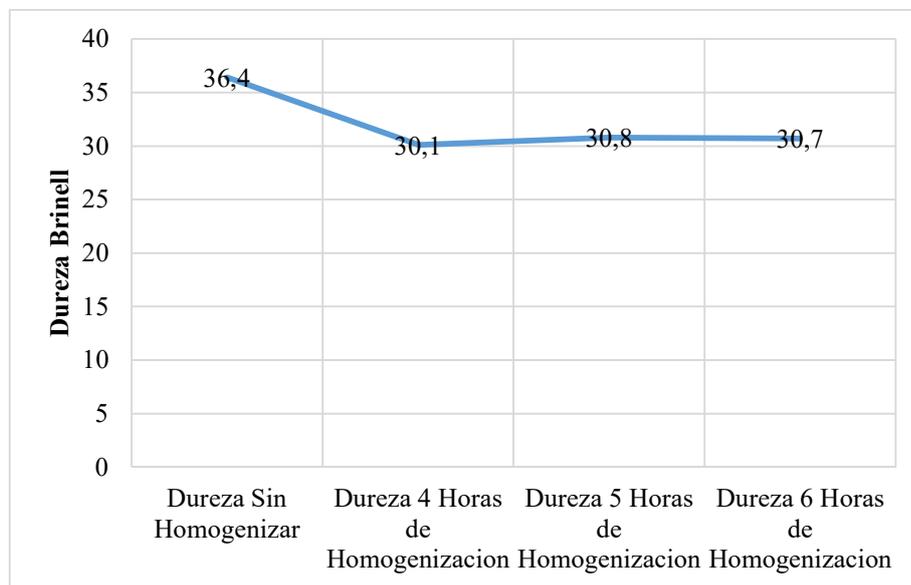
La prueba Fisher nos ayuda a determinar si existe una gran variación en la razón de cambio de la varianza de las propiedades entre las probetas comparadas. Donde se observa que los valores de la tabla 11.3 se encuentra dentro del valor aceptado (menos a 1) lo cual indica que su varianza no es significativa por lo tanto se utiliza solo 2 muestras las que se muestran con una “x” en la tabla anterior.

A continuación, se indica la dureza Brinell en las probetas a ser ensayadas, las de sin homogenizar, 4, 5 y 6 horas de sostenimiento.

Análisis datos de dureza

En la figura 11.5 se puede apreciar la variación de la dureza dependiendo del tiempo de homogenizado.

Figura 11. 5 Análisis de dureza



Elaborado por: Los Autores

Al analizar los datos de dureza de las probetas ensayadas con su diferente tiempo de sostenimiento, se observa que existe una disminución del 17,30% de dureza de las muestras de 4 horas con respecto a las de sin homogenizar. Las probetas de 5 horas de homogenización se señala una disminución del 15,38% referente a las especies sin homogenizar y por ultimo las

de 6 horas señalan una reducción del 15,65% referente a las sin homogenizar, permitiéndonos determinar en primera instancia que superficialmente entre las probetas de 5 y 6 horas tienen una ligera diferencia porcentual con respecto a su tiempo de homogenización, pero para este análisis el que mejor características muestra con respecto a su tiempo de homogenización es la probeta de 5 horas ya que sobre este se puede observar que existe el valor más alto de dureza.

Es bueno mencionar que la dureza en las probetas homogenizadas es de menor valor debido a la reorganización del grano por efectos de la temperatura

Aplicación del ensayo de tracción

Para el ensayo de tracción se ha maquinado las probetas con las dimensiones mencionadas en la norma aplicada y utilizado una máquina calibrada y certificada por la norma INEN.

Varianza Fisher en el Ensayo de Tracción

En la siguiente tabla se mostrarán los valores tabulados que se obtuvo a través del software Excel en la plantilla prueba Fisher.

Tabla 11. 4 Varianza Fisher en ensayo de tracción.

Análisis Fisher en ensayo de Tracción					
	Probetas	Usadas	Estadística F	Razón de cambio de las Varianzas P(F<=f)	Validación
Sin Homogenizar	SH-T1	x	1,081	0,392	No Significativa
	SH-T5	x			
	SH-T8				
4 Horas de Homogenizado	4H-T1	x	1,017	0,476	No Significativa
	4H-T2	x			
	4H-T8				
5 Horas de Homogenizado	5H-T1	x	0,975	0,465	No Significativa
	5H-T4-5	x			
	5H-T7				
6 Horas de Homogenizado	6H-T2	x	0,969	0,456	No Significativa
	6H-T3	x			
	6H-T6				

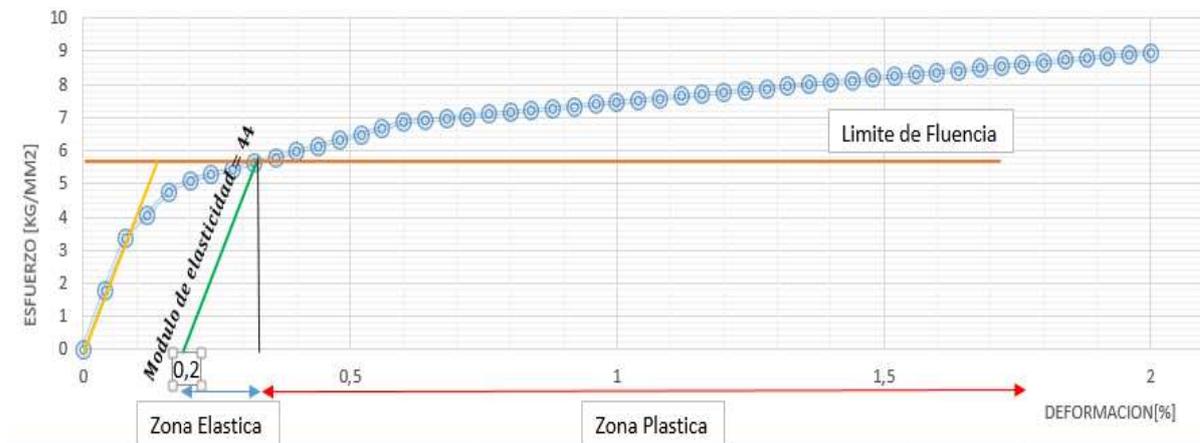
Elaborado por: Los Autores.

Al igual que en el ensayo de dureza se realiza una prueba estadística denominada prueba Fisher la cual ayudo a determinar si existe una gran variación de las propiedades entre las probetas escogidas para ser ensayadas. En todas las pruebas aplicadas se dio que la probabilidad de que la razón de cambio de las varianzas sea menor a al valor estadístico F es de 0,4, un resultado que no es significativo lo cual indica que sus características mecánicas son similares y no es prescindible aplicar el ensayo en más probetas.

Diagrama esfuerzo deformación

A continuación, se exponen los diagramas Esfuerzo-Deformación graficados en Excel de acuerdo a los valores arrojados por el software Horizon. Las primeras probetas que fueron sometidas al ensayo de tracción fueron las de sin homogenizar

Figura 11. 6 Diagrama esfuerzo - deformación probetas sin Homogenizar.



Elaborado por: Los Autores.

En la figura 11.6, se observa el diagrama obtenido de las probetas ensayadas, pudiéndose determinar que en la región elástica de la curva tiene un módulo de $44 \left[\frac{kg}{mm^2} \right]$, además en el siguiente punto se muestran las ecuaciones que representan a la gráfica esfuerzo-deformación con el objeto de poder predecir cada uno de los puntos que la conforman.

Se puede apreciar que la gráfica posee una parte línea que se encuentra de color verde y esta descrita según la siguiente ecuación:

$$\sigma = 44\varepsilon \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

ε = Deformación; [m/m].

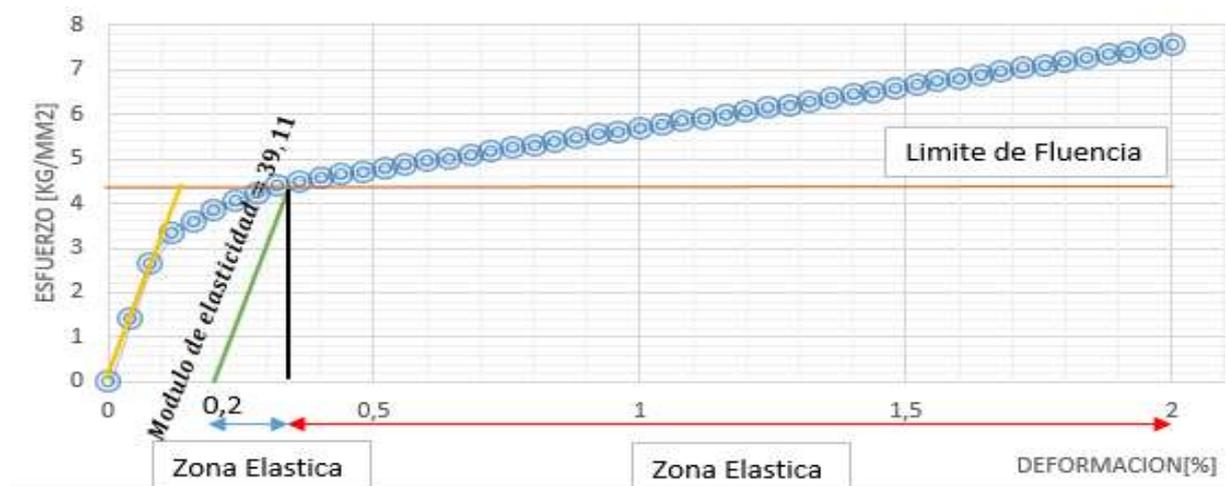
σ = Esfuerzo; $\left[\frac{kg}{mm^2}\right]$.

Y está limitada hasta el punto de fluencia. Para conocer con exactitud el esfuerzo o deformación en cualquier punto de la parábola, Excel nos ayuda con la ecuación siguiente.

$$\sigma = 2,64\varepsilon + 4,37 \quad \text{Ec. 9}$$

Las siguientes probetas a ensayar fueron las de 4 horas y se obtuvo el siguiente diagrama esfuerzo-deformación.

Figura 11. 7 Diagrama esfuerzo - deformación probetas 4 horas de Homogenización.



Elaborado por: Los Autores.

La figura 11.7 indica el diagrama esfuerzo deformación de las muestras ensayadas con un tiempo de sostenimiento de 4 horas, pudiéndose obtener una ecuación característica de la trayectoria de la curva, las cuales nos pueden indicar el valor en cada punto. Representada por

Ec 10 notándose un valor para el módulo de elasticidad de $39.11 \left[\frac{kg}{mm^2} \right]$.y al igual que la ecuación de las probetas sin homogenizar Exel nos arroja la siguiente ecuación Ec11 para las probetas de 4 Horas sin homogenizar.

$$\sigma = 39,1\varepsilon \quad (Ec. 10)$$

$$\sigma = 2,38 \varepsilon + 3,13 \quad (Ec. 11)$$

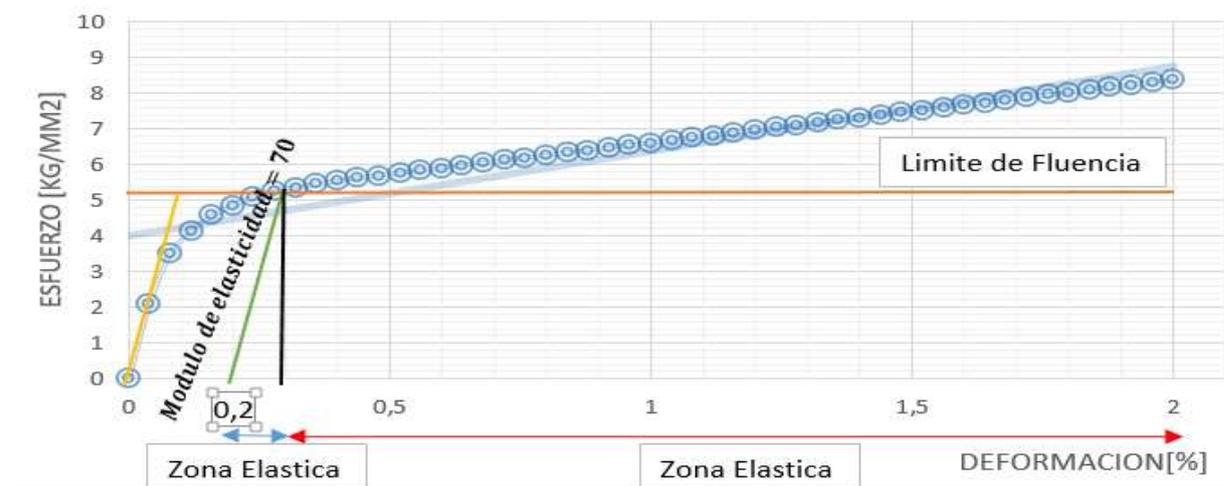
Donde:

ε = Deformación; $[m/m]$.

σ = Esfuerzo; $\left[\frac{kg}{mm^2} \right]$.

La siguiente grafica muestra el diagrama esfuerzo- deformación las probetas que fueron introducidas dentro del horno durante 5 horas.

Figura 11. 8 Diagrama esfuerzo - deformación probetas 5 horas de Homogenización.



Elaborado por: Los autores.

En la figura 11.8 se observa el diagrama obtenido de las probetas ensayadas, apreciándose un módulo de elasticidad de $70 \left[\frac{kg}{mm^2} \right]$.mientras que en el siguiente punto se describe las ecuaciones

que rigen a la gráfica parabólica con el objeto de poder describe cada uno de los puntos que la conforman, para las probetas de 5 horas de homogenización tenemos las siguientes ecuaciones.

$$\sigma = 70,4\varepsilon \quad (\text{Ec. 12})$$

$$\sigma = 2,37 \varepsilon + 4,02 \quad (\text{Ec. 13})$$

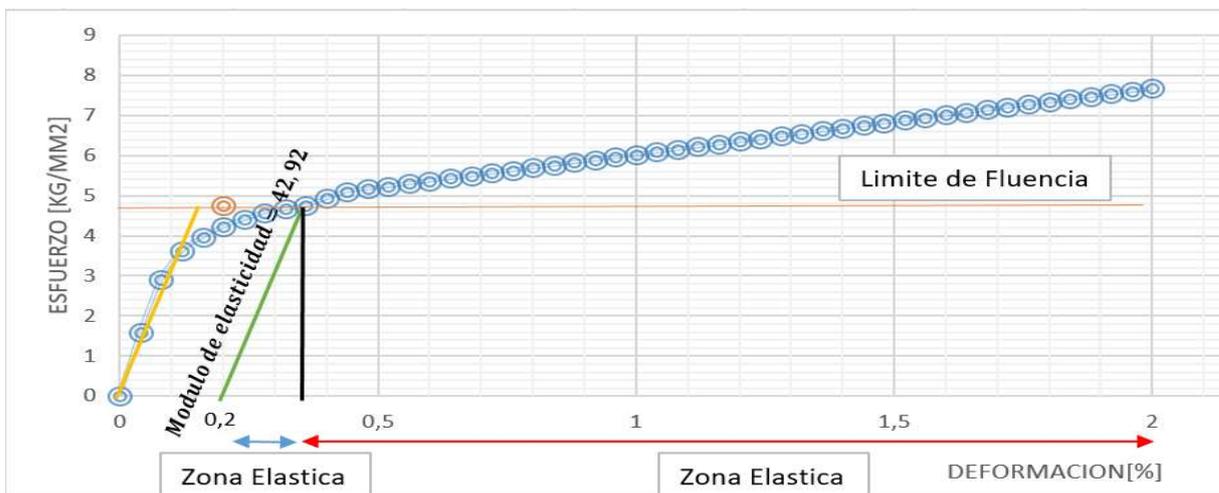
Donde:

ε = Deformación; [m/m].

σ = Esfuerzo; $\left[\frac{kg}{mm^2}\right]$.

Las últimas probetas a las que les fueron aplicadas el ensayo de tracción fueron las de 6 horas y tenemos el siguiente diagrama.

Figura 11. 9 Diagrama esfuerzo - deformación probetas 6 horas de Homogenización.



Elaborado por: Los Autores.

La figura 11.9 indica el diagrama esfuerzo deformación de las muestras ensayadas con un tiempo de sostenimiento de 6 horas pudiéndose obtener dos ecuaciones características, las cuales nos pueden indicar el valor en cada punto.

$$\sigma = 42,92\varepsilon \quad (\text{Ec. 14})$$

$$\sigma = 2,28 \varepsilon + 3,5 \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde:

ε = Deformación; [m/m].

σ = Esfuerzo; $\left[\frac{kg}{mm^2}\right]$.

Análisis del ensayo de tracción

En la siguiente tabla se puede observar los datos obtenidos en el ensayo de tracción.

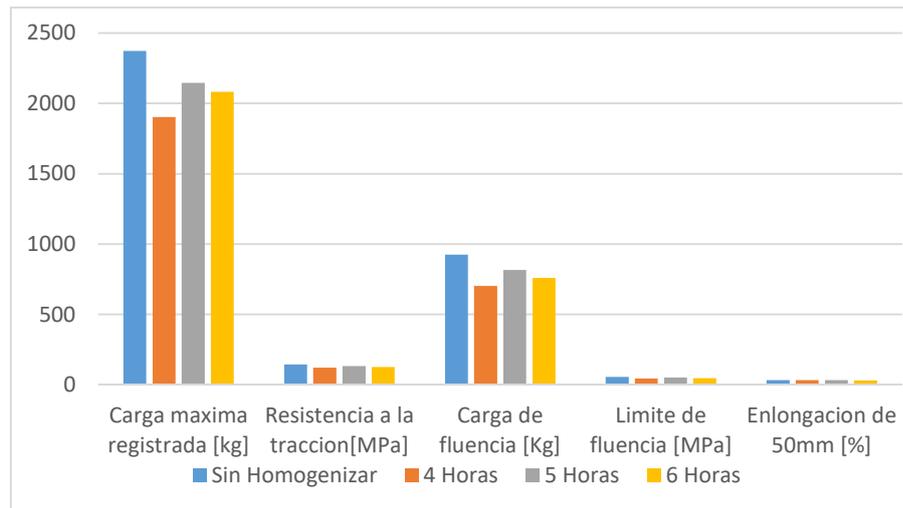
Tabla 11. 5 Datos ensayo de tracción.

	Probeta ensayada	Carga máxima registrada [kg]	Resistencia a la tracción [MPa]	Carga de fluencia [Kg]	Límite de fluencia [MPa]	Elongación de 50mm [%]
Carga sin homogenizar	Sh-5	2360	146	920	56,8	35
	Sh-7	2420	145	954	57,1	32,4
	Sh-8	2340	142	900	54,8	30,1
Promedio		2373,3	144,3	924,7	56,2	32,5
Carga 4 Horas	4H TC1	1830	120	664	43,3	35,1
	4H TC2	1910	118	734	45,2	31,9
	4H TC8	1970	128	708	45,9	34,5
Promedio		1903,3	122	702	44,8	33,8
Carga 5 Horas	5H TC1	2170	137	821	51,9	35,9
	5H TC4-5	2210	135	829	50,8	33,1
	5H TC7	2060	131	798	50,8	33,1
Promedio		2146,7	134,3	816	51,2	34
Carga 6 Horas	6H TC2	2050	126	758	46,5	28,7
	6H TC3	2100	126	787	47,4	33,5
	6H TC6	2100	127	734	44,4	33,1
Promedio		2083,3	126,3	759,7	46,1	31,8

Elaborado por: Los Autores.

Como se observa en la tabla 11.5 se resume los datos obtenidos en el ensayo de tracción proporcionado por el software Horizon el cual permitió tener el diagrama Esfuerzo – Deformación de cada probeta ensayada.

Figura 11. 10.- Datos ensayo de tracción.



Elaborado por: Los Autores.

Al tabular los datos de tensión se puede observar que el límite de fluencia en el tiempo de 5 horas de sostenimiento es el valor pico con respecto al de 4 y 6 horas de homogenización, el porcentaje de elongación se evidencia que existe un aumento pudiéndose apreciar que en el tiempo de sostenimiento de 6 horas existe un decaimiento más significativo con relación a las 4 y 5 horas de sostenimiento dentro de este ensayo. Analizando la resistencia a la tracción entre las probetas sin homogenizar con respecto a las de 4 horas existe una disminución del 15,47% mientras que comparando a las de 5 horas tiene una disminución del 6,92%, sin embargo, evaluando las probetas de 6 horas existe una disminución del 12.47%, esto se debe al proceso térmico llamado homogenizado el cual al aumentar el tiempo de sostenimiento reorganiza la microestructura teniendo como efecto un tamaño de grano diferente obteniéndose estos valores en porcentaje.

Moduló de Elasticidad

En la siguiente tabla se muestra los valores de calculados del módulo de elasticidad para cada una de las probetas expuestas a los diferentes tiempos de homogenización.

Tabla 11. 6 Datos Módulos de Elasticidad.

Modulo Elasticidad del aluminio AA6063			
Probetas	Deformación	Límite de Fluencia $\left[\frac{kg}{mm^2} \right]$	Módulo de Elasticidad
Sin Homogenizar	0,33	5,79	44
4 Horas de Homogenizado	0,31	4,41	39,11
5 Horas de Homogenizado	0,28	5,29	70,4
6 Horas de Homogenizado	0,31	4,74	42,92

Elaborado por: Los Autores.

Se puede apreciar que las probetas expuestas por 5 horas de homogenización tienen mayor límite de fluencia lo que nos indica que la región elástica es mucho mayor que las demás, dejando claro que es más rígido que las de 4 y 6 Horas de homogenizado.

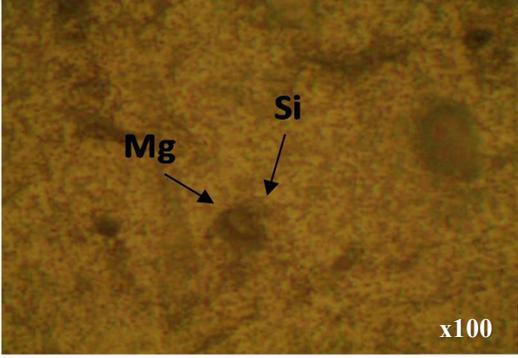
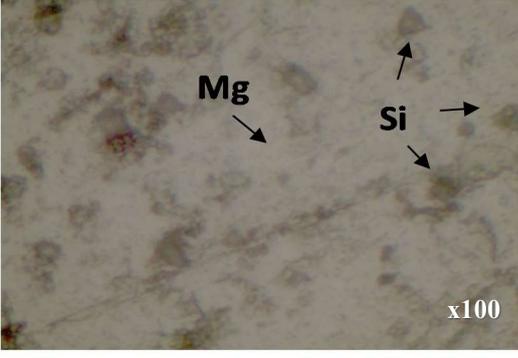
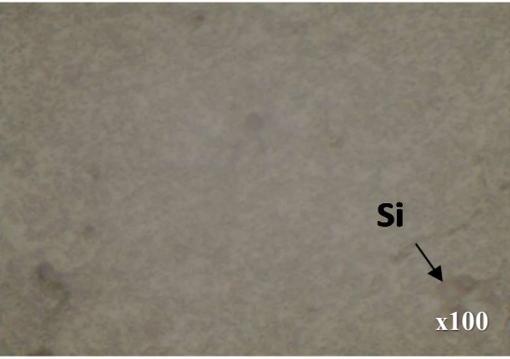
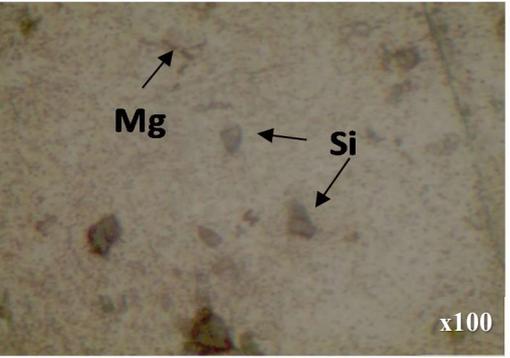
Aplicación del ensayo metalográfico

Para conocer cómo se comporta la distribución de los aleantes se realiza dos ensayos dentro de la metalografía tales como el de microestructura y el de tamaño de grano.

Aplicación del ensayo de microestructura

Para conocer los efectos de los diferentes tiempos del homogenizado en el aluminio se aplicó el ensayo de microestructura el cual permite identificar la disolución de los materiales aleantes.

Tabla 11. 7.- Microestructura

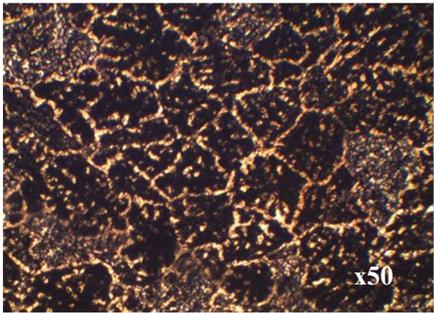
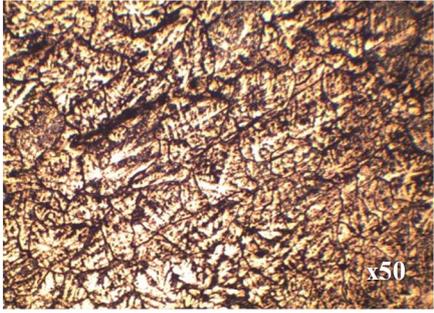
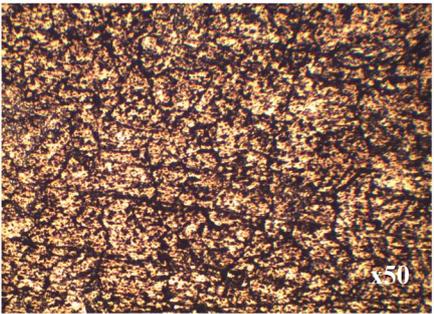
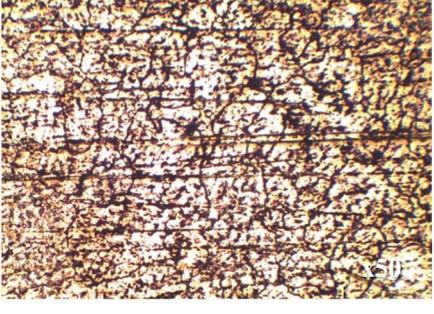
Ensayo de Microestructura		
Probetas	Microestructura	Detalles
Sin Homogenizar		Grandes concentraciones en puntos específicos de magnesio y silicio sin disolverse
4 Horas de Homogenizado		Aún existe concentraciones de magnesio y silicio pero ya distribuido uniformemente de una mejor maneja
5 Horas de Homogenizado		Se observa pequeños rastros de silicio y el magnesio se encuentran muy bien dispersos
6 Horas de Homogenizado		Se nota que hay pequeñas cantidades de magnesio y silicio los cuales se han vuelto a reagrupar.

Elaborado por: Los Autores.

Aplicación del ensayo de tamaño de grano

En la tabla 11.8 se observa los datos registrados por el programa PAX el cual nos permite tener registros numéricos de las imágenes obtenidas en la metalografía.

Tabla 11. 8.- Análisis tamaño de grano

Tamaño de grano		
Probeta	Imagen	Tamaño de grano [μm]
Sin homogenizar		2,27
4 Horas Homogenizado		3,06
5 Horas Homogenizado		3,17
6 Horas Homogenizado		2,98

Elaborado por: Los Autores.

La imagen que se encuentra en la tabla 11.7 muestra los puntos en donde se concentran los aleantes principales que son el magnesio y silicio. Como se puede observar a medida que va aumentando el tiempo de sostenimiento de homogenizado el tamaño de grano va aumentando con respecto a las probetas sin homogenizado sin embargo al aumentar el lapso a 6 horas reduce su tamaño.

Varianza Fisher en el Ensayo de tamaño de grano

La tabla 11.8 indica la varianza que existe entre las probetas que han sido seleccionadas para las pruebas a realizar.

Tabla 11. 9.- Varianza Fisher en ensayo de tamaño de grano.

Varianza tamaño de grano		
Probetas a comparar	Valor Fisher	Validación
Sin Homogenizar - 4 horas	0,703	No significativa
4 Horas - 5 Horas	0,97	No significativa
5 Horas - 6 Horas	0,94	No significativa

Elaborado por: Los Autores.

Analizados los datos arrojados por el software Excel se observa que todas las validaciones entre probetas dan un resultado no significativa, esto dice que la variación de grano no es muy relevante sin embargo a medida que va aumentando el tiempo de homogenizado este crece a pesar que entre las muestras de 5 y 6 horas existe un decrecimiento debido al aumento del lapso de sostenimiento de la temperatura.

12.- IMPACTOS

Los impactos que este proyecto genera, son considerados de la siguiente manera:

Impacto ambiental

La correcta administración del recurso térmico para esta etapa del proceso permite reducir la contaminación por la quema de combustible. Donde:

Tiempo de calentamiento y encendido del horno son de 9h (esto se reduce cuando el horno ya se encuentra encendido: 8 a 10h)

Tiempo del proceso de homogenización 6h (en este tiempo está considerando que no existe un control y se realizó de manera indistinta es decir que dentro de un rango de 4 a 8 horas)

Sabiendo que en una hora la quema (de 3 quemadores) de combustible es: 20.7 galones en 1 hora (Chiliquinga Flores & Viscarra Viscarra, 2010).

Donde se consume 310.5 gph durante un proceso de 15h.

Teniendo una generación de CO₂ de 9.8 kg por un galón

Produciendo 3042.9 kg de CO₂ y que se reduciría a:

Donde se consume 289.8 gph durante un proceso de 14h.

Teniendo una generación de CO₂ de 9.8 kg por un galón

Produciendo 2840 kg de CO₂.

Total, de reducción de CO₂: 202.9 kg

Impacto económico

La tabla 12.1 relata el costo el homogenizado dentro de la empresa CEDAL S.A. basándose desde el calentamiento del horno para que alcance los 560 °C hasta el tiempo de sostenimiento de 7 horas utilizadas por la compañía.

Tabla 12. 1.- Costos de homogenizado

Tiempo de proceso	Tiempo de encendido [horas]	Numero de quemadores	Combustible [gph]	Tiempo de sostenimiento [horas]	Costo unitario [\$]	Costo total [\$/dias]	Tiempo escogido
Sin homogenizar	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	
4 horas de homogenizado	9	3	20,7	4	1,03	831,52	
5 horas de homogenizado	9	3	20,7	5	1,03	895,48	X
6 horas de homogenizado	9	3	20,7	6	1,03	959,45	
Costo de homogenización en CEDAL S.A.	9	3	20,7	7	1,03	1023,41	
						Ahorro	127,93

Elaborado por: Los autores

El tiempo de homogenizado escogido a base de la investigación es de \$ 127,96 reduciendo una hora de homogenización con respecto a lo aplicado a la empresa.

13.- PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN

En la siguiente tabla se detallan los costos que se debe pagar para realizar esta investigación.

Tabla 13. 2.- Presupuesto para la elaboración.

Recursos	PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN			
	Cantidad	Unidad	V. Unitario \$	Valor Total \$
Equipos				
Cierra sin fin “cosen MH 1016”	60	horas	18,6	1116,00
Fresadora “UNIVERSAL MILLING MACHINE X6125A”	60	horas	20,5	1230,00
Maquina universal de ensayos “Tinius Olsen”	8	horas	50,4	403,20
Durómetro “Huayin testing instrument”	8	horas	50,4	403,20

Transporte y salida de campo				
Quito - Latacunga	25	visitas	4,30	107,50
Terminal - CEDAL	25	visitas	0,30	7,50
Materiales y suministros				
Hoja de cierra sin fin	1	unidad	47,88	47,00
Fresa "1/2 [pul]"	1	unidad	12,00	12,00
Contactador LG	1	unidad	25,00	25,00
Testigos (pedazos de aluminio usados en la investigación)	32	unidad	400,00	1280,00
Material Bibliográfico y fotocopias.				
Impresiones.	160	unidad	0,10	16,00
Gastos Varios (detallar)				
Alimentación	35	unidad	2,50	87,50
Curso fresadora	4	días	35,7	142,80
Mano de obra	60	hora	15	900
			10%	577,77
			TOTAL	5365,47

Elaborado por: Los autores

14.- CONCLUSIONES

Dentro del análisis de las propiedades mecánicas de la aleación de aluminio AA6063, podemos concluir que:

Los lotes 50422, 60421 y 70425 elegidos para este trabajo de investigación, se encuentran dentro de los rangos de la composición porcentual de los diferentes aleantes como recomiendan The Aluminum Association, datos mostrados en la tabla (11.2) "valor más probable para cada lote" donde se comparan estos valores.

El ensayo de dureza indica que las probetas de 5 horas muestran mayor resistencia al desgaste por tener el 15,38% de dureza con respecto a la de sin homogenizar y una dureza de 30,8 HB debido a la reagrupación de los elementos aleantes según MORENO , LOPEZ , & DORANTES , 2007, correlacionandose este efecto con lo mostrado en la tabla (11.7) Microestructura.

De igual forma a la anterior y donde el que mejores características de resistencia a la tracción, limite elástico y módulo de elasticidad, con valores 134,3 [MPa]; 51,17 [MPa] y 70,4 $\left[\frac{kg}{mm^2}\right]$, son los mostrados en los ensayos de tracción de las probetas de 5 horas de sostenimiento.

Al analizar la resistencia a la tracción entre las probetas sin homogenizar con respecto a las homogenizadas existe correlación entre la variación del 15,47 %, 6,92 % y 12,47 % respectivamente a 4 5 y 6 horas, con su aumento y disminución del tamaño de grano correspondientemente, como indica la Tabla (11.8) “Análisis de tamaño de grano”.

El tiempo de homogenización escogido ha sido de 5 horas debido que concuerdan con las características mecánicas según Sheppard, Extrusion of Aluminium Alloys, 1999 y así se pueda denominar aleación de aluminio AA6063.

En la tabla 13.1 indica el costo de la investigación valorada en \$ 5365,47 sin embargo, el ahorro aplicando la investigación es de \$ 127,926 el dinero utilizado en el proyecto se lo recuperara en 42 días.

15.- RECOMENDACIÓN

Se recomienda realizar un estudio similar aumentando y disminuyendo el tiempo de sostenimiento en el homogenizado para obtener registros y bitácoras que ayuden a tener un amplio conocimiento de cómo actúan las propiedades mecánicas de la aleación aluminio AA6063.

Además de una trazabilidad de los procesos de homogenizado para que se pueda garantizar que el tiempo de 5 hora ya que este proceso tiende a variar debido a las condiciones de hierro-magnesio- silicio dando una alternabilidad en la parte de los tiempos, y con esta se puede trazar unas curvas de tiempos máximos y mínimos más precisos para obtener mejores resultados.

Se sugiere realizar estudios acerca del tipo de enfriamiento y como este influye en las propiedades mecánicas de la aleación aluminio AA6063 ya que esta investigación solo se centró con el tiempo de sostenimiento dentro del proceso de homogenizado.

16.- BIBLIOGRAFÍA

- Askeland, D. (2012). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Mexico: Thomson.
- ASTM. (1 de Mayo de 2006). *Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products*. Designation: B 557M – 06. USA: ASTM.
- ASTM. (1 de Diciembre de 2009). *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. E8/E8M-09. USA: ASTM.
- ASTM. (1 de Mayo de 2014). *Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials*. Designation: E10 – 15. USA: ASTM.
- ASTM. (1 de JUNIO de 2016). *ASTM Standard Practices for Sampling and Sample Preparation of Aluminum and Aluminum Alloys for Determination of Chemical Composition by Spark Atomic Emission Spectrometry*. ASTM E716-16. USA: ASTM.
- Barrand, P., Gadeau, R., & Dumas, A. (2001). *Metalurgia Estructural del Aluminio*. España: Ediciones URMO.
- Bólvivar, A., Freires, S., Gonzáles, E., & Salas, L. (2015). *Estadística II*. Guayana: Ingeniería en Industrias Forestales.
- Callister, W. (2000). *Ciencia e Ingeniería de Materiales*. México: Editorial Reverte.
- Chiliquina Flores, E., & Viscarra Viscarra, D. (2010). “OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE CEDAL S.A. Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- CYMPA. (18 de 12 de 2017). CYMPA. Obtenido de CYMPA: <http://cypma.mx/>
- Gallegos, C. (15 de Mayo de 2013). *Metalurgia y Metales*. Recuperado el 4 de Julio de 2017, de <http://cesarmetalugista.blogspot.com/>
- Garavito, J. (2011). *METALOGRAFÍA PROTOCOLO*. BOBOTA: ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA.
- Hufnagel, W. (2004). *Manual del Aluminio*. Barcelona: REVERTE.
- Ingeniería industrial online. (6 de Diciembre de 2016). Ingeniería industrial online. Obtenido de *Procesos de conformado*: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/procesos-industriales/procesos-de-conformado/>

- LLULLUNA LLUMIQUINGA, F. R. (2014). PROCESAMIENTO DE IMÁGENES MEDIANTE SOFTWARE LIBRE PYTHON PARA EL ANÁLISIS METALOGRAFICO EN ACEROS DE BAJO CONTENIDO DE CARBONO. QUITO: ESCUELA POLITECNICA NACIONAL.
- Maffia, E., Tovia, D., Cozzarin, A., & González, A. (2010). Efectos del Tratamiento de Homogeneización en la Trabajabilidad de la Aleación CuNiSiCr . La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- MIPSA. (2012). MPSA Expertos procesanso metales. Obtenido de MPSA Expertos procesanso metales: <http://www.mipsa.com.mx/dotnetnuke/Sabias-que/Clasificacion-de-aluminio>
- MORENO , J., LOPEZ , V., & DORANTES , H. (2007). ENDURECIMIENTO POR PRECIPITACIÓN EN ALEACIONES Al-4%Cu-0.5%Mg MODIFICADAS CON Ag. Universidad Tecnológica de Pereira, 5.
- Navas Moscoso, H. A., Vaca Ortega, W. H., & Paredes Salinas, J. G. (2016). Análisis cuantitativo de los elementos aleantes principales precipitados en BILLETS de aluminio de aleación 6063 en equipo de fundición de colada continua horizontal para el proceso de extrusión. Ambato: Universidad Politecnica Saleciana INGENIUS, Revista de Ciencia y Tecnología.
- Perez, L. A. (1995). Wikipedia. Obtenido de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Aleaciones_de_aluminio
- Rahbani Vergara, M. R. (25 de 05 de 2013). Blog para Ingenieros. Obtenido de MATERIALES DE INGENIERIA: <http://materialesdeingenieria2013.blogspot.com/>
- Reinoso Peñaherrera, H. R. (2017). EFECTO DEL TIEMPO EN EL PROCESO DE HOMOGENIZADO EN LA EXTRUBILIDAD DEL ALUMINIO 6063 EN LA EMPRESA CEDAL. Ambato: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO .
- Roldán Galán, M. (2007). Tecnicas de Obtencion de Grano Metalografico en el Rango Milimetrico y Centimetrico Mediante Diversos Tratamiento Térmicos y Mecánicos. Sevilla: Univerdidad Wien.
- Romàn, D., Chirinos, J., & Romero, E. (2009). Metales y Aleaciones Ferrosas. Ojeda: Universidad Experimental Rafael María Baralt “UNERMB”.
- SGS. (2008). Ensayo de Materiales. SU SOCIO DE NEGOCIOS PARA LA INSPECCIÓN, VERIFICACIÓN Y ENSAYOS, 2.

- Sheppard, T. (1999). *Extrusion of Aluminium Alloys*. Bournemouth: Springer.
- The Aluminum Association. (2015). *International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys*. Arlington: The Aluminum Association.
- Toapanta Sandoval, N. M., & Velásquez Zurita, L. R. (2011). *Análisis y optimización del horno de homogenización de lingotes de aluminio en la empresa Cedal S.A. (corporación ecuatoriana de aluminio) del cantón de Latacunga en la provincia de Cotopaxi*. Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Valder, G. (Nobiembre de 2010). otto-junker. Obtenido de .otto-junker: <http://www.otto-junker.de/cache/dl-dbd72386ea0203d37cd9a932089c945d.pdf>
- YAPO SANDOVAL, V. (2013). *EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS ESTIMATIVOS PARA LA MEDICIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO, Y EFECTOS DEL TAMAÑO DE GRANO EN LA MICRODUREZA*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Zavaleta Gutierrez, N. (2010). *Ensayo de Dureza*. Tucumán: Universidad Nacional Tucumán.

ANEXOS

Anexo Fotográfico:

Fundición de los aleantes

Figura 17. 1.- Carro móvil para cargar los aleantes



Elaborado por: Los Autores.

Figura 17. 2.- Horno de fundición



Elaborado por: Los Autores.

Figura 17. 3.- Alimentación de los componentes



Elaborado por: Los Autores.

Figura 17. 4.- Extrucción de los lingotes



Elaborado por: Los Autores.

Figura 17. 5.- Corte de lingotes



Elaborado por: Los Autores.

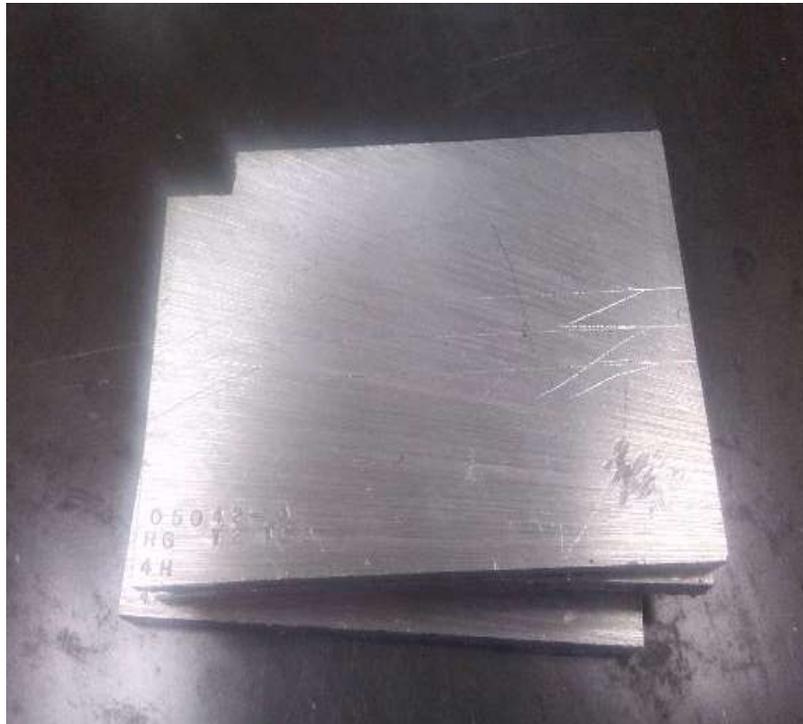
Figura 17. 6.- Seguimiento de lingotes



Elaborado por: Los Autores.

Mecanizado de probetas

Figura 17. 7.- Extracción de placas del entro del lingote



Elaborado por: Los Autores.

Figura 17. 8.- Mecanizado de los radios de las probetas



Elaborado por: Los Autores.

Figura 17. 9.- Medidas de las probetas según la norma



Elaborado por: Los Autores.

Figura 17. 10.- Mecanizado rectangular a 200 y 600rpm



Elaborado por: Los Autores.

Figura 17. 11.- Probeta final



Elaborado por: Los Autores.

Anexos 2:

DATOS PERSONALES

NOMBRES: Jorge Manuel
APELLIDOS: Hinojosa Iza
FECHA DE NACIMIENTO: 06 de Diciembre de 1994
LUGAR DE NACIMIENTO: Machachi-Ecuador
CÉDULA DE IDENTIDAD: 1723170674
NACIONALIDAD: Ecuatoriana
CIUDADANO: Ecuatoriano
ESTADO CIVIL: Soltero
DIRECCIÓN DOMICILIARIA: Pérez Pareja y Rumiñahui
CELULAR: 0983187464
E-MAIL: jorge.hinojosa4@utc.edu.ec

FORMACION ACADÉMICA

PRIMARIA: Escuela Fiscal “Luis Felipe Borja”
SECUNDARIA: I. T. S. “Sucre”
TITULO OBTENIDO: Bachiller Técnico
ESPECIALIZACION: Electromecánica Automotriz
SUPERIOR: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
ESPECIALIZACION: Ing. Electromecánica (Noveno semestre)

DATOS PERSONALES:

NOMBRE: Edgar Augusto Raura Díaz
DIRECCIÓN: Quito, 5 de junio y Galte
TELÉFONO: 099 57 84 051
CÉDULA DE IDENTIDAD: 1718493164
CORREO ELECTRÓNICO: edgar.raura4@utc.edu.ec

FORMACIÓN:

INSTRUCCIÓN PRIMARIA, Quito, Colegio Paulo Sexto
INSTRUCCIÓN SECUNDARIA, Quito, Colegio Paulo Sexto en la especialidad de Fisicomatemático
INSTRUCCIÓN SUPERIOR, Latacunga, Universidad Técnica de Cotopaxi en Ingeniería Electromecánica (en curso)

CURSOS Y SEMINARIOS:

- Operario en reparaciones y mantenimiento de aparatos electrónicos
- Auxiliar técnico en mantenimiento de computadoras
- Auxiliar técnico en computación
- Dibujo y diseño por computadora con la plantilla SOLIDWORD
- Control computarizado en diseño y programación de Relé LOGO