



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

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

**TEMA: “DESARROLLO DE TECNOLOGÍA PARA LA  
ELABORACIÓN DE DURALUMINIO EN BASE A LA NORMA  
ASTM – B211 CON APLICACIÓN EN LA FABRICACIÓN DE  
ELEMENTOS DE MAQUINARIA”**

**AUTOR: SAAVEDRA ALBERCA, WAGNER PATRICIO**

**DIRECTOR: ING. QUEZADA MORALES, PATRICIO**

**SANGOLQUÍ**

**2017**



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y LA ENERGÍA MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

#### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación "DESARROLLO DE TECNOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE DURALUMINIO EN BASE A LA NORMA ASTM – B211 CON APLICACIÓN EN LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS DE MAQUINARIA" realizado por el señor WAGNER PATRICIO SAAVEDRA ALBERCA, ha sido revisado en su totalidad y analizado en el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor WAGNER PATRICIO SAAVEDRA ALBERCA para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 22 de Febrero del 2017

Ing. Patricio Quezada Morales

**DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y LA ENERGÍA MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, WAGNER PATRICIO SAAVEDRA ALBERCA, con cédula de identidad N° 1719103507, declaro que este trabajo de titulación "DESARROLLO DE TECNOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE DURALUMINIO EN BASE A LA NORMA ASTM – B211 CON APLICACIÓN EN LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS DE MAQUINARIA" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se han respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ellos me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 22 de Febrero del 2017

Wagner Patricio Saavedra Alberca

CC. 171910350-7



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y LA ENERGÍA MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, WAGNER PATRICIO SAAVEDRA ALBERCA, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación "DESARROLLO DE TECNOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE DURALUMINIO EN BASE A LA NORMA ASTM – B211 CON APLICACIÓN EN LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS DE MAQUINARIA" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 22 de Febrero del 2017

Wagner Patricio Saavedra Alberca

CC. 171910350-7

## DEDICATORIA

A Dios y mi amada Churonita por ser quien me bendice día a día y me da las fuerzas para seguir en este trajinar que es la vida.

A mi amada familia comenzando por mis tíos: Rosita, Ángel, Jaime; y en especial a Vicente que sé que yo no alcanzaré a agradecerle por tanto y todo.

A mí siempre fornida, eufórica y recta abuelita que siempre estuvo conmigo alentando lo que a veces parecía inalcanzable, pero con su energía y sabiduría encaminó este logro.

Aunque tarde, pero sé que desde el cielo la alegría te llena como a todos tus hijos y a tu esposa; misión cumplida mi amado abuelito Ramón, jamás dejare de pedirte la bendición a diario como lo he hecho en estos años que no estas físicamente.

¡A mi madre por darme la vida!!!

## **AGRADECIMIENTO**

A todos y cada uno de las personas que hicieron posible que se termine con esta etapa de la vida, porque todos han sido parte de este logro y de una u otra manera han sido parte de mi vida.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, como no ser grato si en sus sulas se forjaron todos mis conocimientos; fueron varios años de perfilar una persona de bien y sobre todo de servicio a la sociedad.

Especial agradecimiento a mi docente y tutor el Ing. Patricio Quezada por su apoyo y colaboración en el desarrollo de la presente investigación.

A mi esposa y mi hijo convertidos ahora en la razón de mi esfuerzo y sacrificio un agradecimiento infinito por seguir en esta lucha diaria.

Patricio

## ÍNDICE

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
CAPITULO I.....	1
GENERALIDADES DEL PROYECTO .....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Definición del Problema .....	5
1.4. Objetivos .....	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivos Específicos.....	7
1.5. Alcance.....	7
1.6. Justificación e Importancia .....	8
CAPITULO II.....	11
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	11
2.1. INGENIERÍA DE MATERIALES.....	11
2.1.1. Concepto .....	12
2.1.2. Tipos de Materiales. ....	13
2.1.3. Análisis de los metales. ....	19
2.1.4. Propiedades de los Metales .....	30
2.2. EL ALUMINIO .....	32
2.2.1. Historia.....	33
2.2.2. Clasificación.....	35

2.2.3. Propiedades.....	36
2.2.4. Usos y aplicaciones.....	40
2.3. ANÁLISIS DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO .....	44
2.3.1. Historia de las Aleaciones .....	44
2.3.2. Aleaciones de Aluminio .....	45
2.3.3. Clasificación del Aluminio.....	47
2.3.4. Series de las Aleaciones de Aluminio .....	50
2.4 ANÁLISIS Y DESARROLLO DE LA ALEACIÓN DE DURALUMINIO .....	55
2.4.1. Descripción de los componentes de la Aleación.....	57
2.4.1.1. Magnesio .....	59
2.4.2. Metalurgia de la Aleación.....	61
2.4.3. Propiedades mecánicas de la aleación .....	68
2.5 TECNOLOGÍA ACTUAL PARA LA OBTENCIÓN DEL DURALUMINIO .....	70
2.5.1. Metodología para la obtención del Duraluminio .....	70
2.5.2. Empresas importadoras de Aluminios en general .....	71
2.5.2. Material disponible en el mercado como Duraluminio.....	71
2.5.3. Propiedades de este material.....	72
2.6. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	73
2.6.1. Ensayo de análisis de composición química .....	73
2.6.2. Ensayo de Tracción .....	77
2.6.3. Ensayo de Dureza.....	82
2.6.4. Ensayo Metalográfico .....	84
2.7. PROCESOS DE FUNDICIÓN .....	86
2.7.1. Fundición en moldes desechables .....	87
2.7.2. Arenas de Fundición.....	88
2.7.3. Equipos necesarios.....	89
2.7.4. Complicaciones al momento de fundir.....	94
2.7.6. Elementos mejoradores de una fundición.....	95
2.7.7. Control de calidad que se debe realizar .....	96
CAPITULO III.....	97
METODOLOGÍA EN EL LABORATORIO .....	97
3.1. MATERIALES UTILIZADOS.....	97



3.1.1. Materia prima .....	97
3.2. EQUIPOS UTILIZADOS .....	98
3.3. ENSAYOS PRELIMINARES.....	103
3.3.1. Análisis de la composición química. ....	103
3.3.2. Propiedades Mecánicas.....	105
3.4. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS .....	112
3.4.1. Composición Química .....	112
3.4.2. Propiedades Mecánicas.....	113
3.5. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	113
CAPITULO IV .....	116
DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA .....	116
4.1. SELECCIÓN DE MATERIALES .....	116
4.1.1. Materia prima utilizada como base para la fundición del DURALUMINIO.....	116
4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN.....	118
4.2.1. Calculo de cargas.....	118
4.2.2. Preparación de la Arena.....	121
4.2.3. Modelo .....	123
4.2.4. Diseño de la Pieza .....	123
4.2.5. Proceso de moldeo .....	124
4.2.6. Preparación de la mezcla .....	127
4.2.7. Vertido. ....	128
4.2.8. Desmolde .....	128
4.3. NORMAS DE SEGURIDAD E HIGIENE .....	129
4.4. RIESGOS FÍSICOS .....	130
4.5. ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA FUNDICIÓN OBTENIDA.....	130
4.5.1. Ensayo del análisis químico .....	130
4.5.2. Ensayo a tracción.....	131
4.5.3. Ensayo metalográfico .....	136
4.5.4. Ensayo de dureza .....	137
4.6. ANÁLISIS COMPARATIVO NORMA y DATOS OBTENIDOS .....	138
4.6.1. Composición Química .....	138
4.6.2. Propiedades Mecánicas.....	138

4.6.3. Resultados finales.....	139
4.7. PIEZA A FABRICAR COMO ELEMENTO DE MAQUINARIA.....	139
4.7.1. Criterio para determinar la pieza a fabricar.....	140
4.7.2. Maquinado de la pieza determinada.....	140
4.7.3. Pieza terminada.....	141
CAPITULO V .....	142
ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO .....	142
5.1 COSTOS DIRECTOS .....	142
5.2 COSTOS INDIRECTOS.....	144
5.3 COSTOS TOTALES .....	145
CAPITULO VI .....	147
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	147
6.1 CONCLUSIONES .....	147
6.2 RECOMENDACIONES .....	148
BIBLIOGRAFÍA.....	150
ANEXOS.....	153

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Espectro sobre el conocimiento de los materiales .....	13
Figura 2 Producción anual de seis materiales en Estados Unidos .....	21
Figura 3 Temperatura vs Resistencia de Materiales .....	32
Figura 4 Estructuras de Aluminio .....	41
Figura 5 Cables de transmisión eléctrica de Aluminio .....	41
Figura 6 Utensilios de hogar de Aluminio .....	42
Figura 7 Embalajes usando Aluminio.....	43
Figura 8 Parte y elementos de maquinaria de Aluminio.....	43
Figura 9 Series de las aleaciones de Aluminio .....	46
Figura 10 Propiedades Físicas y Mecánicas del Cobre .....	59
Figura 11 Propiedades Físicas del Magnesio Puro.....	61
Figura 12 Proceso metalúrgico del aluminio .....	62
Figura 13 Diagrama de fases Al – Cu .....	67
Figura 14 Metalografía del Al 95% y Cu 5% .....	68
Figura 15 Metalografía del Al 95% y Cu 5% .....	72
Figura 16 Principio del Ensayo de Tracción.....	78
Figura 17 Diagrama Esfuerzo vs Deformación .....	80
Figura 18 Diagrama esfuerzo-deformación para material dúctil y frágil .....	81
Figura 19 Probeta Redonda de 0.500 in Estándar para Pruebas .....	82
Figura 20 Principio del Ensayo de Dureza Rockwell.....	83
Figura 21 Pasos de producción de una pieza en fundición en arena.....	88
Figura 22 Horno de crisol fijo y horno de crisol móvil.....	92
Figura 23 Horno eléctrico.....	94
Figura 24 Barra de “Duraluminio” PRODAX .....	98
Figura 25 Microscopio electrónico de barrido .....	99
Figura 26 Máquina de Ensayos Universales.....	100
Figura 27 Microscopio Metalúrgico .....	101
Figura 28 Medidor de Dureza .....	102
Figura 29 Lijadora .....	103

Figura 30	Probeta para ensayo a tracción .....	106
Figura 31	Probeta luego del ensayo a tracción.....	109
Figura 32	Probeta después del ensayo de dureza.....	110
Figura 33	Muestra luego de lijar y obtener el espejo .....	111
Figura 34	Metalografía a 100X de material base .....	112
Figura 35	Chatarra de Aluminio .....	117
Figura 36	Chatarra de Cobre .....	117
Figura 37	Pieza a construir .....	119
Figura 38	Arenas de Fundición .....	122
Figura 39	Modelo en madera.....	123
Figura 40	Vistas de la pieza a diseñar .....	124
Figura 41	Aplicación de bentonita en el modelo .....	125
Figura 42	Moldeo del modelo.....	126
Figura 43	Arena apisonada.....	126
Figura 44	Preparación de la Mezcla .....	127
Figura 45	Desmolde del modelo fundido .....	129
Figura 46	Probeta para ensayo a tracción de la fundición .....	132
Figura 47	Probeta en el ensayo a tracción .....	135
Figura 48	Muestra luego de lijar y obtener el espejo .....	136
Figura 49	Metalografía a 100X del material fundido .....	136
Figura 50	Mecanizado de la pieza .....	141

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Elementos más comunes en la corteza terrestre y atmósfera .....	15
Tabla 2 Límites de Composición Química .....	17
Tabla 3 Ejemplos, aplicaciones de cada grupo de materiales .....	18
Tabla 4 Resistencia de los diferentes grupos o familia de los materiales ....	19
Tabla 5 Aceros al Carbono y Aleados; aplicaciones .....	24
Tabla 6 Propiedades mecánicas de aceros al carbono y aleados .....	25
Tabla 7 Características generales de los metales y aleaciones no ferrosas	27
Tabla 8 Metales comunes no ferrosos .....	28
Tabla 9 Aleaciones de Al para fundición y su nomenclatura.....	36
Tabla 10 Propiedades del Aluminio .....	38
Tabla 11 Sistema de designación para las aleaciones de aluminio .....	52
Tabla 12 Serie 2XXX .....	53
Tabla 13 Composición Química de la serie 2XXX y de la serie 7XXX.....	56
Tabla 14 Producción Mundial de Cobre Refinado.....	65
Tabla 15 Nombres de fases invariantes.....	66
Tabla 16 Propiedades Mecánicas de la serie 2XXX .....	69
Tabla 17 Reactivos y procedimientos para ataque químico del aluminio.....	85
Tabla 18 Resultados del ensayo de Dureza realizado a la materia prima .	110
Tabla 19 Comparación de resultados obtenidos con la ASTM B-211.....	112
Tabla 20 Comparación de resultados para las propiedades mecánicas....	113
Tabla 21 Porcentajes de quemado de varios elementos al fundirse.....	120
Tabla 22 Composición química de la fundición obtenida .....	131
Tabla 23 Resultados del ensayo de Dureza realizado a la materia prima .	137
Tabla 24 Comparación de resultados de la fundición con la norma .....	138
Tabla 25 Comparación de resultados para las propiedades mecánicas.....	138
Tabla 26 Costos de Materia Prima.....	142
Tabla 27 Costos de Mano de Obra Directa.....	142
Tabla 28 Servicios Especiales Contratados.....	143
Tabla 29 Ensayos de Laboratorio .....	143
Tabla 30 Materiales e Insumos para ensayos de laboratorio y fundición...	144

Tabla 31 Otros Costos Indirectos para el desarrollo del proyecto .....	144
Tabla 32 Total Costos Directos .....	145
Tabla 33 Total Costos Indirectos .....	145
Tabla 34 Costo Total del Proyecto.....	146

## RESUMEN

La presente investigación está enfocada en el desarrollo de un procedimiento o tecnología para obtener una fundición determinada que tiene características específicas para su uso en la industria en aplicaciones donde se necesita una alta resistencia del material y que su peso el mínimo; el Duraluminio es usado en este tipo de aplicaciones, a más de estas propiedades este material nos proporciona una estabilidad en las propiedades del material cuando se lo máquina anotando también que su maquinabilidad es muy suave y no presenta inconvenientes en este proceso; esto conlleva a realizar la investigación del uso de este material en nuestro entorno y acorde a las investigaciones realizadas concluimos que no tenemos ese material en nuestro mercado y que las empresas que importan materiales para la industria en general no poseen este material; es por esta razón que se realizó las pruebas con el material adquirido: duraluminio, chatarra de aluminio y cobre estableciendo experimentos se hizo los cálculos y estudios necesarios para realizar una fundición que nos dé como resultado un aleación que cumpla con la norma ASTM B-211 y que sea producido en nuestro medio y a bajos costos; finalmente se realizó el diseño y construcción de una pieza o elemento para poder aplicar este material.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **DURALUMINIO**
- **ALEACIONES**
- **ENSAYOS DE LABORATORIO**
- **FUNDICIÓN**
- **CHATARRA**

## **ABSTRACT**

The present investigation is focused on the development of a procedure or technology to obtain a specific alloy that has specific characteristics for the use in the industry and applications where a high resistance of the material is needed and that its weight the minimum; the Duralumin is used in this type of applications, to more of these properties this material provides us a stability in the properties of the material when the machine noting also that its machinability is very smooth and does not present disadvantages in this process; this entails to carry out the investigation of the use of this material in our environment and according to the realized investigations we conclude that we do not have that material in our market and that the companies that import materials for the industry in general do not import this material; it is for this reason that the purchase of a material sold as duralumin was made and with the respective tests it was deduced that it is not really a duralumin but rather an aluminum alloyed with zinc and not with copper as duralumin is; After this deduction through the handling of scrap taking into account the cost for the final alloy was made the calculations and studies necessary to be able to realize a foundry that gives us as a result a duralumin that complies with the norm ASTM B-211 and that on all Things are produced in our environment and at low costs; Finally the design and construction of a piece or element was realized to be able to apply this material.

### **KEY WORDS:**

- **DURALUMIN,**
- **ALLOYS**
- **LABORATORY TESTS**
- **SMELTING**
- **SCRAP METAL.**



## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES DEL PROYECTO**

#### **1.1. Introducción**

La Ingeniería Mecánica abarca absolutamente todos los ámbitos de la vida diaria, en cada actividad o en cada pensamiento que tenga el ser humano está inmersa esta apasionante profesión; en lo que menos nos imaginamos un ingeniero mecánico tiene campo abierto para desarrollar sus habilidades; y por ende aplicar sus conocimientos, como lo dice la palabra su ingenio; resumiendo un poco y sobre todo sintetizando y basándonos en la realización del trabajo de titulación nos hemos focalizado en un área de la ingeniería mecánica que es la ciencia e ingeniería de los materiales; a partir de estas dos áreas de estudio se basan el resto de las asignaturas de la ingeniería mecánica; ya que la ciencia de los materiales abarca la estructura interna de los mismos para producir o “inventar” nuevos y mejores materiales y la ingeniería de los materiales se basa en estos resultados de los estudios de la estructura interna de un elemento para ser usados técnicamente en el desarrollo de nuevos elementos de maquinaria los cuales vayan en beneficio y servicio de la sociedad en común.

Los materiales a través del tiempo como todo han ido evolucionando y de esta manera se han ido mejorando de a poco con el pasar de los años; absolutamente todo lo que nos rodea esta hecho de algún tipo de material y debe estar muy claro que estos materiales utilizados para la elaboración de nuevas y diferentes máquinas de a poco han ido mejorando a través del tiempo y lógicamente a través del avance del estudio de los mismos; en el

principio los materiales debido al desconocimiento del ser humano no eran utilizados en su totalidad; sino más bien que solamente algunos materiales los cuáles abastecían las necesidades de cada época, ya que desde los inicios del universo ósea hace miles de millones de años atrás los materiales siempre han estado en la tierra como elementos constitutivos de nuestro planeta.

A medida del desarrollo de las grandes sociedades y las necesidades que abarcan el gran crecimiento poblacional ha dado lugar a que los expertos y estudiosos vayan haciendo uso de la tecnología para poder tener mejores y nuevos materiales que son utilizados en máquinas y procesos que han ido así mismo mejorando la calidad de vida de los seres vivos.

En las últimas décadas debido a la gran explosión demográfica del planeta entero la ciencia ha dado muchos avances más que en todos los miles de años atrás, con las nuevas tecnologías y avances científicos a favor de la humanidad; estos hechos han sido la causa de que existan estudios muy importantes acerca de cada uno de los elementos o materiales que están en la corteza terrestre por lo cual se han creado ciencias en base al estudio de los materiales; por lo tanto nos hemos enfocado en el estudio de uno de los elementos que más tienen presencia en la corteza terrestre, solo el Si y el O superan al Al: “El Aluminio es un metal no ferroso, y es el más abundante de los metales; constituye cerca del 8% de la corteza terrestre” (SUMITEC, 2015)

El Al es el elemento que es muy utilizado para la fabricación de elementos que van acorde a las nuevas tecnologías; para obtener un material de acuerdo a las exigencias de las problemáticas de la sociedad y que sea usado por ingenieros diseñadores, se han realizado varios estudios con elementos con los cuáles se pueden combinar el Al para mejorar sus propiedades tanto químicas como mecánicas; y del resultado de estas combinaciones o llamadas técnicamente aleaciones nos hemos enfocado en

la aleación de Al con el Cu más conocida como el DURALUMINIO; un material que entre sus características principales posee una alta resistencia como el acero y liviano como el Al; es decir su relación resistencia – peso es inversamente proporcional.

Este material es muy usado en el diseño y construcción de elementos de maquinarias en donde se necesita gran resistencia y debido a su trabajo se crea la necesidad que sea ligero; al paso del tiempo y las necesidades de a poco este material se ha ido acentuando en el momento de diseñar y el objetivo sea el descrito; generalmente lo encontramos en elementos que van a ser utilizados en la industria de la aeronáutica y aviación, sin descartar en elementos de maquinaria de la industria del deporte y automovilismo.

## **1.2. Antecedentes**

El uso de los diferentes materiales para el diseño de elementos de maquinaria en el Ecuador o en cualquier otro país, ya sean estos en estado natural o en aleaciones, forjados, tratamientos térmicos, etc.; están basados en normas que se deben cumplir ya sean nacionales o internacionales como por ejemplo las normas AENOR; con su sufijo UNE, estas son normas españolas utilizadas para este tipo de procesos y en América para estos mismos procedimientos se utilizan las normas ASTM.

En el caso de nuestro medio nacional el INEN es el responsable de normalizar los distintos tipos de procesos y procedimientos; sin embargo en el país no existe normas específicas para las fundiciones en las cuales deberíamos basarnos al momento de realizar un proceso de fundición en el Ecuador; proceso fundamental con el que se desarrollará el tema de nuestro trabajo de titulación; la norma nacional que describe parámetros acerca de fundiciones es la NTE INEN 2481: 2009, que trata acerca de los requisitos para fundiciones de hierro gris; pero como su nombre mismo lo

dice primero son solo requisitos y luego es fundición de hierro gris, lo cual está totalmente alejado de nuestra tema de investigación.

Por lo tanto y debido a la inexistencia de una norma nacional para las fundiciones en Al y sus diferentes aleantes nos debemos referir necesariamente a las normas internacionales y es por esta razón que se utilizará las normas ASTM y específicamente la ASTM – B211, norma referida a la aleación del elemento Al con diferentes aleantes y a la que específicamente nos vamos a basar es la aleación Al – Cu que es la aleación conocida comercialmente como el DURALUMINIO.

Para la fabricación de partes y piezas en el campo de la Ingeniería Mecánica se utiliza comúnmente el acero y el hierro fundido; pero dependiendo de la utilidad y específicamente de la o las funciones que vaya a desempeñar el elemento mecánico a diseñar se necesitarán propiedades mecánicas específicas para su correcto funcionamiento y desempeño al máximo del elemento; estas propiedades pueden ser resistencia, límite a la fluencia, corrosión, elongación, elasticidad, densidad, compresión, tracción, etc; todas estas propiedades en mayor o menor grado serán las que acortarán o alargaran la vida útil del elemento en la máquina; es por eso que se han desarrollado diversos materiales para obtener mejores resultados en el diseño, fabricación y puesta en marcha del trabajo del elemento, todo esto va enmarcado en la necesidad de tener mejores y nuevos materiales para uso en las diversas aplicaciones de las maquinarias y en sí de sus diferentes partes y piezas y/o elementos.

De acuerdo a esto se han desarrollado diversos materiales, a través de las diferentes necesidades presentadas en el trabajo y en el proceso en sí de mejorar los diferentes tipos de maquinaria ya existente; y es mediante la fundición u otro tipo de proceso que se logra obtener estos nuevos materiales útiles para la sociedad en general; y, es específicamente la

fundición el método más utilizado por los expertos en materiales los cuáles están en constante estudio y ensayo para poder obtener nuevas y mejores propiedades tanto mecánicas como físicas; y de esta manera poner al servicio de la comunidad sus estudios para el bien común con un solo objetivo muy claro que es el de mejorar la calidad de vida de la sociedad en general y por ende hacer que la convivencia sea más simple y llevadera.

El DURALUMINIO es un material usado en aplicaciones específicas; en donde se necesita que la parte o elemento sea liviana y que además presente alta resistencia a la fatiga; estas son las características fundamentales del DURALUMINIO; todo esto acompañado que es de fácil maquinabilidad, propiedad importante para disminuir tiempos de fabricación; estas características hacen de este material el reemplazo perfecto por parte de los diseñadores dejando a un lado a los aceros comúnmente usados en elementos de maquinaria que generalmente se los hacen de acero o de alguna fundición de hierro, dependiendo del trabajo y función que vaya a realizar el elemento en mención.

### **1.3. Definición del Problema**

Los excesivos costos que tienen las partes y elementos diseñados con DURALUMINIO en el mercado han hecho que se plantee este problema con la convicción que es posible reducir todos estos costos; si este tipo de material lo fundimos en el mercado nacional y no sea importado los costos seguramente serían mucho menores; y por ende podríamos fabricar elementos ya existentes en el mercado pero con material fundido en el medio nacional; de esta manera se cubrirían varias de las necesidades de diseñadores y sobre todo de gente común, que busca la economía al momento de comprar una u otra máquina y que esto no signifique baja calidad y por ende vida útil limitada.

Teniendo en cuenta además que al momento de producir cierto elemento de maquinaria en el cuál sea necesario utilizar un material resistente y a la vez liviano los diseñadores y sobre todo ya en sí los fabricantes ponen dudas de utilizar el DURALUMINIO por su valor elevado en relación a otro material que también podría usarse para el mismo elemento en la misma aplicación; debido a que por el hecho de utilizar este material el costo total de la máquina donde se involucre el elemento fabricado en DURALUMINIO va ser elevado; a lo que se le suma que en casos determinados también se debe importar este material y esto a su vez genera más costos y sobre todo pérdida de tiempo en la línea de fabricación; debido a que no se lo encuentra fácilmente en el mercado local.

Es en si este hecho el que nos ha llevado a poner en marcha el presente trabajo de investigación para poder reducir costos utilizando materiales nacionales y si es posible materiales reciclados que sean de fácil acceso en el mercado local y de esta manera poder producir este material en nuestro medio; y de a poco ir coadyuvando para que se desechen las ideas de costos elevados en el medio nacional, esto en primera instancia; y luego ir terminando con el proceso de importación en el momento que se necesite de este material para algún tipo de diseño; y que finalmente estos parámetros no sean un limitante o lo que es peor se conviertan en una negativa total en el momento de diseñar y producir cierto elemento que sea necesario en la fabricación de algún tipo de maquinaria.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Implementar un procedimiento bajo la norma ASTM B - 211 que permita la obtención de DURALUMINIO, basado en un desarrollo tecnológico sustentable en la industria ecuatoriana, con aplicación en la producción de

partes o elementos de maquinaria.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Realizar una investigación detallada acerca del Al y su aleación con el Cu; DURALUMINIO.
- Determinar el procedimiento para el modelo de la pieza a fundir.
- Elaborar el proceso de fundición del modelo en DURALUMINIO en base a la norma ASTM – B211.
- Verificar las propiedades de tracción, compresión, dureza, metalográficas, composición química de la aleación.
- Analizar los resultados obtenidos.
- Concluir los resultados obtenidos.

#### **1.5. Alcance**

En el presente trabajo se realizará el estudio de la actual situación en que se encuentra el proceso de fundición en el país; enfocando este estudio en el DURALUMINIO, concentrándonos específicamente en las causas por las cuales en el medio nacional no se procesa este importante material; además se llegará hacer un análisis en detalle del resultado obtenido en el proceso, de tal manera que el material procesado en el estudio tenga igual o mejores propiedades que el ya utilizado en el exterior en partes y piezas específicas de maquinarias; todo esto en un marco de un análisis económico y por consecuente circunstancial del medio nacional que es al que nos debemos y en el que nos vamos a desenvolver, para demostrar que se puede hacer esta aleación con materiales, insumos y equipos del medio.

## 1.6. Justificación e Importancia

Hasta la actualidad el uso de los materiales en la industria ecuatoriana se ha centrado en la importación de gran cantidad de los mismos; como por ejemplo los aceros, el Cu y sus aleaciones, y con respecto al presente trabajo donde el material base es el Al y sus aleaciones con diferentes materiales, igualmente estas aleaciones se importan y se los vende en las grandes casas comerciales con elevados costos debido a que son materiales importados y esto hace que si costo final sea elevado en relación a un material que sea producido en el medio local; acorde a la presente investigación que se refiere a la aleación Al - Cu, existen fábricas de fundición que procesan materiales comunes de uso en aplicaciones generales y que no se han mejorado las mismas en varias décadas.

Es muy raro encontrar fábricas que realicen este tipo de fundiciones y los motivos pueden ser diversos y nos referiremos a que los propietarios están basados a realizar fundiciones empíricas en su gran mayoría, y el otro punto es que no hay exigencia por parte de los diseñadores e ingenieros en requerir estos materiales pongámoslo así “especiales” es por eso que al momento de la necesidad de los mismos se acercan a las grandes importadoras y se hace el trámite de importación o a su vez se deben pagar altos costos que al final son traducidos en el precio de venta al consumidor.

Con el presente trabajo se verificará que el proceso de fundición del DURALUMINIO se lo puede realizar en el país reduciendo totalmente el costo de importación y de esta manera tener una referencia en donde se lo puede conseguir para futuros usos del mismo en nuestro medio; y con tan solo la lectura y comprensión del presente trabajo se pueda realizar esta fundición en un taller sin demasiadas especificaciones o exigencias; sino más bien la idea es tener un documento en donde basarnos para de acuerdo a este realizar la fundición y obtener el material deseado en este



caso la fundición de Aluminio (Al) y Cobre (Cu) conocido comercialmente como el DURALUMINIO.

Actualmente para la fabricación de las piezas en las que se utiliza este material no se lo procesa en el medio; es más las piezas ya fabricadas se las importa y siendo más específicos las maquinas o equipos que han utilizado este material ya vienen listas para su uso; con lo que deducimos que no se hace ningún proceso en el medio nacional para la elaboración y posterior uso de este material; a todo esto se debe sumar que estas piezas requeridas son muy ínfimas ya que los diseñadores e ingenieros debido a la dificultad de conseguirlas en el medio nacional evitan usar este material.

En el mercado nacional existen empresas que se dedican a procesar el Al, una de ellas es CEDAL, pero no existe una fábrica donde se procese el DURALUMINIO, es por esto que se plantea ese tema, para procesar este material en el medio nacional; con la debida indagación de varias empresas de fundición no solo la ya mencionada sino que también hemos acudido a algunas más tanto personalmente como vía telefónica y la pregunta siempre fue si nos pueden vender un tocho de DURALUMINIO de 20x20 y las respuestas fueron variadas pero siempre enfocadas a la negativa de no contar con ese material e inclusive en algunas ni siquiera se sabía de la existencia del mismo; a las empresas que pedimos la información son las siguientes:

- JRC Recalde Fundiciones; en Sangolquí; pueden hacerlo pero no lo han hecho antes; sería la primera vez.
- MENFUJAR; en la ciudad de Loja; nos han sabido comentar que no hacen ese tipo de fundiciones.
- MYRCO Fundiciones; en Quito; se dedican a realizar fundiciones de estructuras metálicas.

- ALUMINA Fundiciones, en Quito, no tienen ese material, el vendedor supo decir que son planchas y nos refirió a PINTULAC.

Se han enlistado algunas de las empresas consultadas con esto no nos queda la menor duda de la no existencia de este material en el mercado nacional al menos fácilmente; y también el desconocimiento acerca del mismo en estas fábricas; a lo que podemos concluir que es también debido a que en el medio nacional no se diseñan y por ende se fabrican piezas y elementos de maquinaria que requieran de DURALUMINIO.

Todos los procesos de ensayos, sean estos de fundición, dureza, resistencia, elongación y los que fuesen necesarios se los va a realizar en los laboratorios de la Escuela Politécnica del Ejército; haciendo uso de los Laboratorios y por ende equipos pertenecientes al Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica y de ser necesario en un laboratorio particular el mismo que se lo mencionará en su respectivo uso.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

#### **2.1. INGENIERÍA DE MATERIALES**

La ingeniería de materiales es reconocida a nivel de todo el mundo; en las más grandes y reconocidas universidades y centros de investigación alrededor del planeta existen departamentos e investigadores que se dedican a estudiar esta gran ciencia; a nivel de grandes empresas y fábricas reconocidas su marca a nivel mundial, la ingeniería de materiales ha ido de a poco siendo la principal preocupación y el tema a mejorar cada vez más para estar acorde con las tecnologías del nuevo mundo y el cumplimiento de las mismas; esta se refiere al estudio de las propiedades mecánicas y químicas de los materiales existentes; y con todos estos conocimientos poder contribuir al desarrollo de nuevos materiales en beneficio del bien común de la sociedad, pudiendo de esta manera atender necesidades de un determinado grupo o grupos sociales, haciendo más fácil y sencillo el cubrir esta necesidad basándose para desarrollar un nuevo material en los conocimientos adquiridos a través del estudio y conocimiento de esta gran ciencia para obtener un material que cumpla con la necesidad latente de la humanidad en un determinado territorio o estrato social.

Se debe tomar muy en cuenta y no se debe dejar a un lado el proceso de Manufactura ya que debemos darnos cuenta que absolutamente todo lo que nos rodea cumple con este proceso de ser manufacturado; el hecho que el elemento que esté a nuestro alrededor sea de un determinado material y determinada forma cumpliendo un trabajo o requerimiento hace que haya pasado por un proceso de manufacturación y es lo que lo hace diferente a otro y claro está el uso que se le vaya a dar al mismo; existe un concepto muy

acertado de lo que es la Manufactura: “Es un sentido completo, es el proceso de convertir materias primas en productos” (Kalpakjian, 2008, pág. 1)

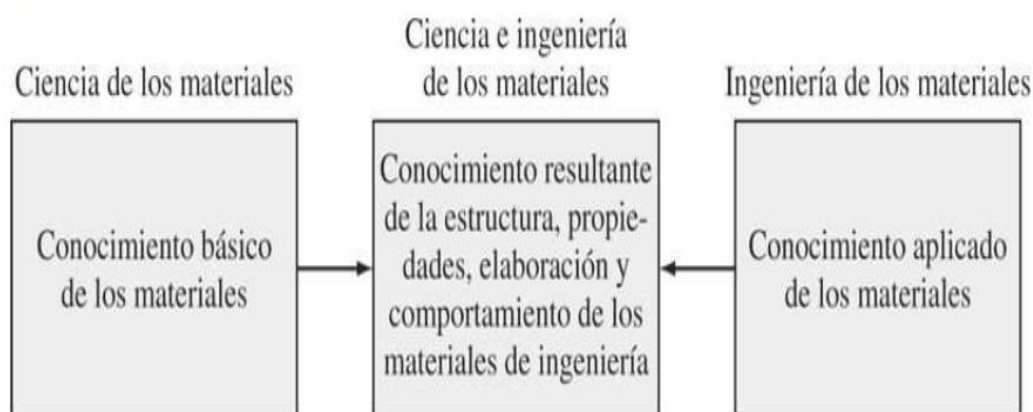
### **2.1.1. Concepto**

Acerca del concepto de la ingeniería de materiales existen varias percepciones para dar una definición exacta ya que depende del punto de vista del o los autores para describir exactamente que es esta ingeniería; en palabras sencillas y desde nuestro punto de vista la ingeniería de materiales es la ciencia que describe, analiza y perfecciona los materiales existentes en forma libre en la tierra mejorando su estructura interna como externa para que pueda ser aplicado en el diseño, construcción y puesta en marcha de un determinado elemento mecánico en beneficio de la sociedad en común.

Esta definición es totalmente personal y que se acercaría a lo que tenemos en mente acerca de que trata esta ingeniería y estamos seguros que no está alejada de la realidad de lo que es la ingeniería de materiales; basándonos en la definición hecha por un autor nos acercáramos y estaríamos de acuerdo con la siguiente: “Los materiales son sustancias con las que algo está compuesto o hecho” (William F. Smith, 2006, pág. 16)

Para poder dominar lo que es el uso de un determinado material o elemento específico y que esté acorde al requerimiento planteado se debe de dominar los materiales existentes no solo con sus características visibles sino se debe hacer un estudio desde lo que abarca su estructura interna a base de tratamientos químicos que nos darán sus características adecuadas a lo requerido; con todos estos conocimientos se pueden hacer o realizar ya procesos que conviertan determinados materiales en productos útiles; en si la ciencia de materiales enfoca los conocimientos básicos de los materiales y la ingeniería se basa en la aplicación de estos conocimientos en el convivir diario al servicio de la sociedad.

La existencia y unión de la Ciencia y la Ingeniería de los Materiales hace que sea posible en nuestros días tener mejores y cada vez más materiales que están al servicio de la comunidad especializada en este ámbito que son quienes a través de constantes estudios y análisis minuciosos logran obtener grandes mejorías a los materiales ya conocidos; y a través de ellos son puestos al servicio de toda la sociedad; y se ven evidenciados todos estos logros en la existencia de grandes máquinas no solo en su tamaño sino también en su utilidad y servicio favorable para el bien común; máquinas que hace algunos años atrás eran inimaginables de ser creadas y peor aún se ser funcionales.



**Figura 1: Espectro sobre el conocimiento de los materiales**

Fuente: (ASM, 1992)

### 2.1.2. Tipos de Materiales.

Los materiales se encuentran en la superficie terrestre en forma libre y de esta manera son utilizados para el diseño, construcción y puesta en marcha de distintos elementos de maquinarias de acuerdo a su uso y funcionalidad, obviamente previo el respectivo proceso; pero también existen

elementos de maquinaria que necesitan mejorar sus propiedades tanto físicas como mecánicas; esto a través de aleaciones de dos o más metales bajo un estricto estudio de sus propiedades y estructuras internas se obtienen materiales que mejoran sus características y propiedades tanto mecánicas como físicas.

A estos se debe de añadir los materiales que se obtienen o están presentes en la atmósfera y no solo en la corteza terrestre; a los cuales debemos poner atención ya que son muy importantes en el desarrollo de la ingeniería; para tener una idea de cómo se encuentran los materiales más comunes tanto en la corteza terrestre como en la atmosfera hacemos mención a sus porcentajes en peso en la tabla 1; en cuál podemos darnos cuenta que el O es el elemento que se encuentra en mayor porcentaje en nuestro planeta y por razones obvias ya que se encuentra presente en todos los procesos de creación o transformación de materia ya sea viva o inerte.

Tabla 1

## Elementos más comunes en la corteza terrestre y atmósfera

Elemento	Porcentaje, en peso, en la corteza terrestre
Oxígeno (O)	46.60
Silicio (Si)	27.72
Aluminio (Al)	8.13
Hierro (Fe)	5.00
Calcio (Ca)	3.63
Sodio (Na)	2.83
Potasio (K)	2.70
Magnesio (Mg)	2.09
Total	98.70

Gas	Porcentaje de aire seco, en volumen
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	78.08
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	20.95
Argón (Ar)	0.93
Bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	0.03

Fuente: (William F. Smith, 2006, pág. 17)

Ya en si para la clasificación de los tipos de materiales los diferentes autores los clasifican y coinciden en agruparlos en cinco grandes grupos o familias, los cuáles abarcan todo tipo de material existente en la corteza terrestre tanto en forma libre o en sus diferentes aleaciones; el criterio para hacer estas agrupaciones es que en cada grupo poseen distintas propiedades y estructuras y es la manera de estudiar los materiales acorde a sus características específicas que son comunes en cada uno de los grupos o también llamados familia de materiales.

Los grupos en mención son los siguientes:

- Metales
- Cerámicos
- Polímeros

- Semiconductores
- Materiales compuestos

De esta agrupación o clasificación de los materiales de acuerdo y acorde al tema planteado en este presente trabajo de investigación, nos debemos enfocar más específicamente en los metales que es donde se encuentra incluido el Al principal referente para el proceso de desarrollo de la tecnología para producir el Duraluminio de acuerdo a la norma ASTM B-211; a esto se le debe añadir el Cu que es el principal elemento aleante para esta fundición sin dejar de lado que también participan en la misma otros materiales como el Si, Fe, Mn, Mg, Cr, Zn, Ti; todos estos materiales son necesarios para la fundición del Duraluminio y participan en porcentajes variables en la norma citada y a la necesidad del diseñador y elemento a fabricarse.

La siguiente tabla es extraída de la norma ASTM B-211 que es en la que nos basamos para la elaboración del DURALUMINIO; en la misma se nota muy claramente que el mayor porcentaje de Cu utilizado es en la serie 2XXX, y el mismo aumenta o disminuye de acuerdo a la aleación que se vaya a preparar o realizar, más adelante se darán los detalles de estas series y sus tipos, con sus aplicaciones y definiciones en el mundo de la industria; por lo pronto nada más es una tabla explicativa de cómo actúa el Cu como principal aleante con él Al para obtener el DURALUMINIO; cabe notar que existen varios elementos más que se deben de tomar en cuenta en estas aleaciones y que se deben de considerar de acuerdo a esta norma para obtener resultados normalizados y sobre todo fehacientes en la fundición final; todo esto se demuestra una vez que obtengamos los resultados de las diferentes pruebas tanto químicas como mecánicas que se deben de realizar a la probeta obtenida a partir de la fundición se vaya a realizar.



**Tabla 2**  
**Límites de Composición Química**

Alloy	Silicon	Iron	Copper	Manganese	Magnesium	Chromium	Zinc	Bismuth	Lead	Titanium	Other Elements <sup>D</sup>		Aluminum
											Each	Total <sup>E</sup>	
1060	0.25	0.35	0.05	0.03	0.03	...	0.05	...	...	0.03	0.03 <sup>F</sup>	...	99.60 min <sup>G</sup>
1100	0.95 Si + Fe		0.05-0.20	0.05	...	...	0.10	...	...	...	0.05	0.15	99.00 min <sup>G</sup>
2011	0.40	0.7	5.0-6.0	...	...	...	0.30	0.20-0.6	0.20-0.6	...	0.05	0.15	remainder
2014	0.50-1.2	0.7	3.9-5.0	0.40-1.2	0.20-0.8	0.10	0.25	...	...	0.15	0.05	0.15	remainder
2017	0.20-0.8	0.7	3.5-4.5	0.40-1.0	0.40-0.8	0.10	0.25	...	...	0.15	0.05	0.15	remainder
2024	0.50	0.50	3.8-4.9	0.30-0.9	1.2-1.8	0.10	0.25	...	...	0.15	0.05	0.15	remainder
2219	0.20	0.30	5.8-6.8	0.20-0.40	0.02	...	0.10	...	...	0.02-0.10	0.05 <sup>H</sup>	0.15 <sup>H</sup>	remainder
3003	0.6	0.7	0.05-0.20	1.0-1.5	...	...	0.10	...	...	...	0.05	0.15	remainder
5052	0.25	0.40	0.10	0.10	2.2-2.8	0.15-0.35	0.10	...	...	...	0.05	0.15	remainder
5056	0.30	0.40	0.10	0.05-0.20	4.5-5.6	0.05-0.20	0.10	...	...	...	0.05	0.15	remainder
5154	0.25	0.40	0.10	0.10	3.1-3.9	0.15-0.35	0.20	...	...	0.20	0.05	0.15	remainder
6061	0.40-0.8	0.7	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2	0.04-0.35	0.25	...	...	0.15	0.05	0.15	remainder
6110	0.7-1.5	0.8	0.20-0.7	0.20-0.7	0.50-1.1	0.04-0.25	0.30	...	...	0.15	0.05	0.15	remainder
6262	0.40-0.8	0.7	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2	0.04-0.14	0.25	0.40-0.7	0.40-0.7	0.15	0.05	0.15	remainder
7075	0.40	0.50	1.2-2.0	0.30	2.1-2.9	0.18-0.28	5.1-6.1	...	...	0.20	0.05	0.15	remainder

**Fuente:** (Norma ASTM, 2009)

Debido a que existen varias aleaciones con Al cómo nos podemos fijar en la tabla 2 que se refiere a las aleaciones de dos o más materiales con Al para de esta manera mejorar las propiedades del material resultante y sea utilizado de acuerdo a los requerimientos planteados en la fabricación o producción de un elemento determinado; se debe tomar en cuenta que no solo el Al se fusiona con el Cu sino con varios elementos más como materiales principales de la aleación; es así que se deja como referencia las demás series de aleantes con él Al que constan en la tabla citada.

Respecto a los otros grupos de materiales que no van a ser mencionados más a profundidad nada más vamos a hacer referencia a una tabla muy didáctica en donde constan algunos ejemplos de cada grupo o familia; tomando los más conocidos, a esto se le suman las características o propiedades específicas de los mismos y también se anotan las aplicaciones más comunes; todo esto para tener una idea acerca de todos los grupos de

los materiales en sus respectivos usos y que quede asentada una idea clara de la clasificación de todos los materiales existentes tanto en la corteza terrestre como en la atmósfera y en general en nuestro planeta Tierra.

**Tabla 3**

**Ejemplos, aplicaciones y propiedades de cada grupo de materiales**

Aplicaciones		Propiedades
<b>Metales</b>		
Cobre	Alambre conductor eléctrico	Alta conductividad eléctrica, buena formabilidad
Hierro fundido gris	Bloques para motor de automóvil	Moldeable, maquinable, absorbe vibraciones
Aleación de aceros	Llaves	Endurecidas de manera significativa mediante tratamientos térmicos
<b>Cerámicos</b>		
SiO <sub>2</sub> -Na <sub>2</sub> O-CaO	Vidrio para ventana	Ópticamente útil, aislante térmico
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, SiO <sub>2</sub>	Refractarios para contener metal fundido	Aislantes térmicos, se funden a alta temperatura, relativamente inertes ante metal fundido
Titanato de bario	Transductores para equipo de audio	Convierten sonido en electricidad (comportamiento piezoeléctrico)
<b>Polímeros</b>		
Poliétileno	Empacado de alimentos	Fácilmente conformable en delgadas películas flexibles e impermeables
Epóxicos	Encapsulado de circuitos integrados	Eléctricamente aislante y resistente a la humedad
Fenólicos	Adhesivos para unir capas de madera laminada	Fuertes, resistentes a la humedad
<b>Semiconductores</b>		
Silicio	Transistores y circuitos integrados	Comportamiento eléctrico único
GaAs	Sistemas de fibras ópticas	Convierte señales eléctricas en luz
<b>Compuestos</b>		
Grafito en matriz epóxica	Componentes para aeronaves	Relación elevada resistencia-peso
Carburo de tungsteno-cobalto	Herramientas de corte de carburo para maquinado	Alta dureza, y de una buena resistencia al impacto
Acero recubierto de titanio	Recipientes para reactores	Tiene el bajo costo y la alta resistencia del acero, con la resistencia a la corrosión del titanio

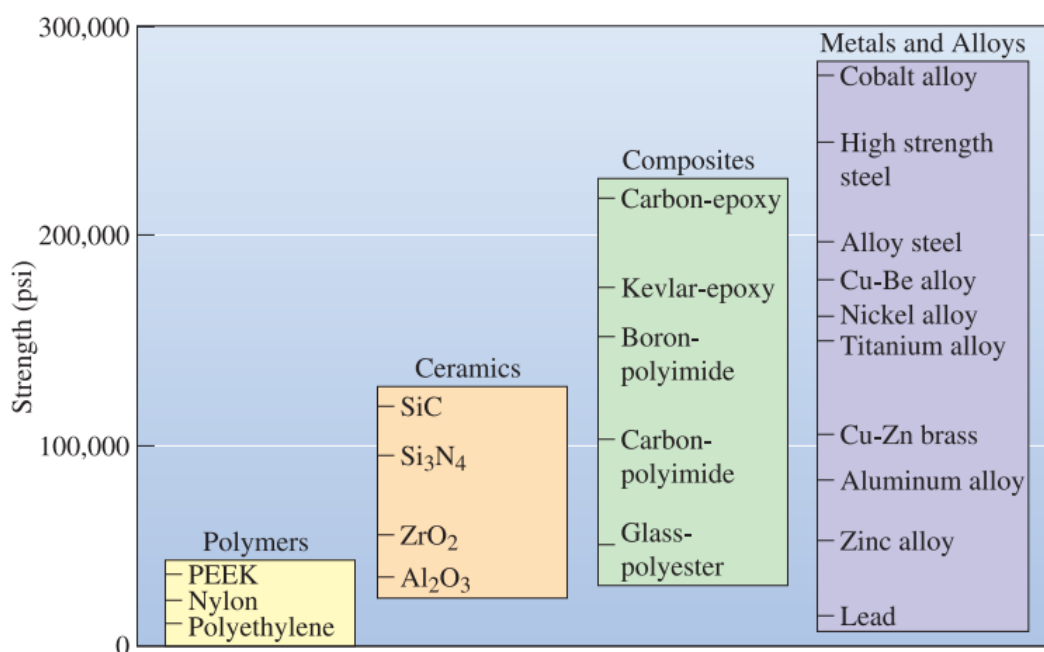
**Fuente:** (Askeland D. , 1998, pág. 6)

Una de las características fundamentales de los materiales es la resistencia que en si mide la capacidad de tal o cuál material para resistir fuerzas aplicadas al mismo, todo esto sin romperse o deformarse total o parcialmente resistiendo a deformaciones; estas fuerzas también llamadas cargas dependen del tipo de material y dependiendo del uso que se le va a

dar al elemento puesto en trabajo activo se toma la decisión del material a utilizar; la siguiente tabla muestra la resistencia de algunos materiales en sus respectivos grupos o familias de clasificación; como se notara los metales y los compuestos son los que más resistencia poseen, generando esto su alto requerimiento en la industria y en sus diversas producciones y aplicaciones.

**Tabla 4**

**Resistencia de los diferentes grupos o familia de los materiales**



**Fuente:** (Askeland D. , 2010, pág. 7)

### 2.1.3. Análisis de los metales.

Acerca de esta gran familia de los materiales existen varias propiedades que los hacen diferentes los unos a los otros; existen metales duros, otros suaves, unos dúctiles , otros maleables, otros soportan altas temperaturas algunos no lo hacen; es decir tienen cada uno de ellos características propias que los diferencian los unos de los otros; todas estas características de cada elemento se debe a su configuración o estructura atómica la que influye y está ligada directamente con sus propiedades y

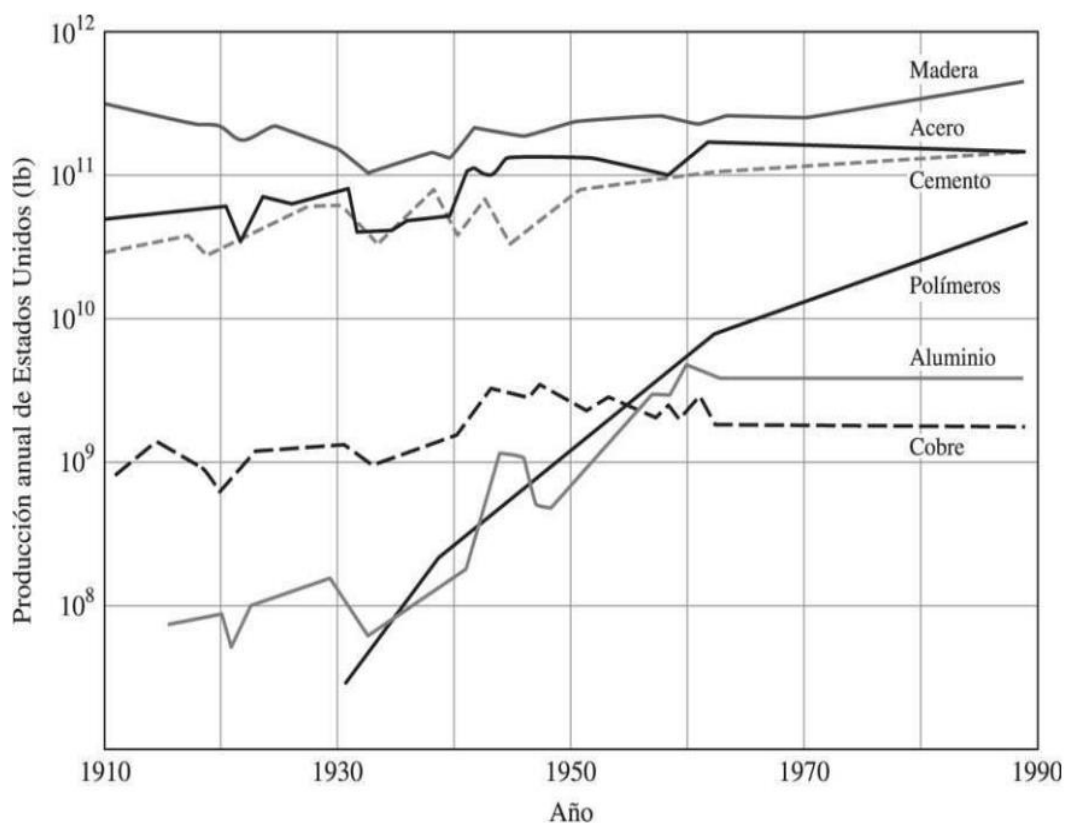
comportamiento.

El conocer la estructura atómica de un determinado metal hace que se pueda predecir su comportamiento pero a eso también se le debe de agregar varios factores externos como por ejemplo el ambiente, y los diferentes métodos o procesos mediante los cuales los metales se convierten en productos útiles; en general los metales y sus aleaciones tienen una buena conductividad eléctrica, tienen alta resistencia y rigidez, son resistentes al impacto como ejemplos se pueden citar el Al, Zn; Al, Cu; Al, Mg; etc.

Al momento de hacer ingeniería pura se debe de pensar en mejorar las características tanto micro como macro de un determinado material y es ahí donde entra el ingenio y trabajo de los ingenieros en poder tener u obtener un material que cumpla con las características necesarias para cubrir una necesidad en determinado elemento de maquinaria; de estas necesidades nacen los materiales compuestos ya que son estructuras modificadas técnicamente para ser usados de acuerdo a lo planificado y diseñado.

En si las grandes familias o grupos de materiales compiten entre sí ya que depende del uso que se vaya a dar a cierto material la decisión de usar un elemento de determinado grupo; a todo esto obviamente se debe aumentar el costo que en determinados casos es el factor fundamental ya que es quien incide en la decisión final del uso de tal o cual material en determinada aplicación; no se debe dejar de lado que también a través de los años los materiales han ido de cierta manera y si es factible escribirlo “evolucionando”, ya que a medida que ha ido pasando el tiempo se han descubierto mejores y nuevos materiales que van dejando de lado a los empleados en décadas anteriores en forma libre o en sus distintas aleaciones, las mismas que con el pasar de los años han ido así mismo mejorando en todo aspecto, debido a los avances en estudios en la ciencia e ingeniería de los materiales.

En la figura 2 tenemos un ejemplo muy específico de cómo los materiales tradicionales en lo que respecta a su producción a través de los años prácticamente se han mantenido durante varias décadas y así mismo se observa muy claramente que tanto los polímeros como el Al han incrementado su producción a través del paso del tiempo y el surgimiento de nuevas y mejores tecnologías; el uso del mismo ha ido a la par de la invención de mejoras para el bien de la sociedad en común; en la actualidad en la vida diaria del ser humano tenemos que variados objetos con los que convivimos o hacemos uso consecutivo tienen entre sus componentes el Al; como por ejemplo una estructura de las ventanas de casa, una lámpara, partes de los electrodomésticos de casa, elementos de oficina, etc.



**Figura 2: Producción anual de seis materiales en Estados Unidos**

**Fuente:** (<http://apps.inen.gov.ec/descarga/index.php/buscar>, s.f.)

Esta figura evidencia la importancia de esta investigación ya que el Al, de a poco ha ido insertándose y acentuándose cada día más en la producción de todo tipo de elemento de maquinaria; en las diferentes áreas de producción de elementos destinados a variadas maquinarias y artefactos que son usados en el día a día de la humanidad alrededor del mundo; en sí en la industria los metales son los más utilizados debido a sus propiedades tanto libres como en fundiciones y esto hace que su uso sea primordial en el desarrollo de nuevos materiales.

Los metales se encuentran de forma libre en la naturaleza, si nos enfocamos en el metal Al que es el que rige la presente investigación tenemos que es el metal que se encuentra en mayor cantidad en la corteza terrestre; este metal con sus distintas aleaciones ha sido usado en varios estudios y proyectos y por ende puesto en marcha en diferentes tipos de elementos de maquinarias, dando como resultado un excelente efecto en la relación costo – beneficio, ya que es muy maquinable y costos bajos.

Los metales se dividen en dos grandes sub grupos que son los metales ferrosos y los no ferrosos; debido a su gran importancia de los metales y su uso y aplicaciones en la gran mayoría de las industrias en esta investigación vamos a realizar un análisis acerca de cada uno de estos sub-grupos de los metales; poniendo más énfasis en el de los no ferrosos, ya que es en este grupo donde se encuentra nuestro elemento base para nuestra investigación que es el Al; a continuación de esto vamos a realizar un análisis más específico del Al y todas sus propiedades, características usos y aplicaciones en la industria en general.

### **a) Metales Ferrosos**

Como su nombre lo indica son los metales que contienen un alto porcentaje de Fe y este es el elemento con el que se realizan aleaciones para

obtener materiales como los aceros al carbono, aceros inoxidable; los mismos que son utilizados en diversos campos de la industria como por ejemplo en las grandes y modernas estructuras de edificaciones modernas donde se ha reemplazado el concreto por columnas de acero o las llamadas estructuras metálicas.

En fin son variados los usos y aplicaciones de estos metales ferrosos ya sea en un simple tornillo hasta una compleja pieza de un motor de embarcación o de una grande aeronave; a esto se le debe de sumar su bajo costo en el mercado.

Todo esto ha hecho que en la gran mayoría de máquinas la presencia de los metales ferrosos constituya un alto porcentaje como componentes y miembros estructurales que va del 70% al 85% del total de materiales de la misma. (Kalpakjian, 2008, pág. 149).

Por lo tanto la producción de estos materiales ferrosos en sus diversas aleaciones es masiva; debido a esto la producción de los mismos a través de los años ha ido aumentando y a su vez mejorando desde la antigüedad hasta nuestros días; para la producción del Fe y el acero los materiales básicos que se utilizan son los que se enlistan a continuación teniendo en cuenta que no siempre se encuentra el Fe en estado libre a pesar que representa el 5% de la corteza terrestre, siendo considerado uno de los elementos más abundantes. (Kalpakjian, 2008, pág. 150)

- Mineral de Hierro
- Piedra Caliza
- Coque

A estos tres materiales se los pasa mediante un proceso primero de trituración, luego de refinación para obtener mediante una fundición una

colada continua en la cual se va separando la escoria e ir obteniendo lingotes de acero; de los cuáles podemos destacar los aceros al carbono y materiales ferrosos aleados; los cuáles en el mercado tienen diversas presentaciones de acuerdo a la aplicación que se le quiera dar, como por ejemplo en barras, en ejes, planchas, tubos, fundiciones.

**Tabla 5**  
**Aceros al Carbono y Aleados; aplicaciones**

Producto	Acero	Producto	Acero
Alambre	1045, 1055	Pernos	1035, 4042, 4815
Alambre (musical)	1085	Resortes (de hojas)	1085, 4063, 9260, 6150
Árboles de levas	1020, 1040	Resortes (helicoidales)	1095, 4063, 6150
Bielas	1040, 3141, 4340	Resortes helicoidales	4063
Cadenas (de transmisión)	3135, 3140	Rieles y ruedas para ferrocarril	1080
Carrocerías automotrices	1010	Rodamientos de bolas y pistas	52100
Cigüeñales (forjados)	1045, 1145, 3135, 3140	Rondanas	1060
Ejes	1040, 4140	Tren de aterrizaje	4140, 4340, 8740
Engranajes (automóviles y camiones)	4027, 4032	Tubería	1040
Engranajes diferenciales	4023	Tuercas	3130
Forjas, tubería y accesorios para aeronaves	4140, 8740		

**Fuente:** (Kalpakjian, 2008, pág. 156)

Para la denominación de los aceros al carbono y aleados la AISI y la SAE, utilizan cuatro dígitos, los dos primeros indican los elementos aleantes y sus porcentajes y los dos últimos indican el contenido en peso del C; para la ASTM la denominación para los materiales ferrosos empieza con la letra A seguida de tres números; los aceros al carbono se clasifican de acuerdo a su porcentaje en peso del mismo.

En la tabla 6 se enlista las propiedades generales de estos aceros al carbono y aleados con sus respectivas denominaciones de acuerdo a la norma AISI; y se encuentran las principales propiedades mecánicas de estos aceros



como es la resistencia a la tensión a la fluencia; elongación y su dureza; estos valores deben ser tomados muy en cuenta en el momento de hacer uso de unos de estos aceros ya que de su uso dependerá tomar uno u otro acero de la tabla siguiente.

De acuerdo a su uso se saben las necesidades de las propiedades mecánicas; ya que el diseñador sabe a qué fuerzas y que trabajo va a ser sometida la pieza fabricada con el acero que se haya decidido diseñar.

**Tabla 6**

**Propiedades mecánicas de aceros al carbono y aleados**

AISI	Condición	Resistencia máxima a la tensión (MPa)	Resistencia a la fluencia (MPa)	Elongación en 50 mm (%)	Reducción de área (%)	Dureza (HB)
1020	Laminado	448	346	36	59	143
	Normalizado	441	330	35	67	131
	Recocido	393	294	36	66	111
1080	Laminado	1010	586	12	17	293
	Normalizado	965	524	11	20	293
	Recocido	615	375	24	45	174
3140	Normalizado	891	599	19	57	262
	Recocido	689	422	24	50	197
4340	Normalizado	1279	861	12	36	363
	Recocido	744	472	22	49	217
8620	Normalizado	632	385	26	59	183
	Recocido	536	357	31	62	149

**Fuente:** (Kalpakjian, 2008, pág. 159)

## **b) Metales No Ferrosos**

Los metales no ferrosos así mismo como su nombre lo indica no contienen Fe; y cubren una amplia gama de materiales con sus respectivas aleaciones que son usados en determinadas aplicaciones sobre todo donde se necesite las características que poseen estos materiales como por ejemplo poseen alta resistencia a la corrosión, alta conductividad eléctrica y térmica; y sobre todo su facilidad de producción.

Generalmente estos materiales tienen un mayor costo que los materiales ferrosos pero esto no incide al momento de su utilización ya que la relación beneficio-costos es muy favorable al momento de analizar costos para tomar la decisión que material será utilizado, claro está sin dejar de lado el análisis de las propiedades tanto mecánicas como químicas y de acuerdo a estos resultados en conjunto se concluye el material a utilizar.

Los materiales representativos en los metales y aleaciones no ferrosos son:

- Aluminio
- Magnesio
- Cobre
- Manganeso
- Zinc

Estos tres elementos con sus respectivas aleaciones constituyen los principales materiales que conforman esta categoría de los metales no ferrosos; estas aleaciones son muy utilizadas por sus características variadas; a temperaturas elevadas contienen Ni, Ti, que son conocidos como materiales refractarios; aquí también aparecen las superaleaciones que entre sus componentes tienen: Mo, Nb, W, Ta que entre sus características principales presentan gran resistencia mecánica y a la fluencia, resistencia a altas temperaturas, una alta resistencia a la corrosión, así como también a la oxidación. Otras categorías de materiales no ferrosos incluyen aleaciones de baja fusión (Pb, Zn, Sn) y metales preciosos (Au, Ag y Pt).

En la tabla 7 se enlistan los materiales que constituyen los materiales y aleaciones no ferrosas con sus respectivas características y algunas aplicaciones; de acuerdo a nuestro trabajo de titulación nos enfocamos en el Al y sus diferentes aleaciones; las cuáles serán estudiadas a detalle más

adelante, por lo pronto de acuerdo a esta tabla se deduce que en este grupo de los materiales y aleaciones no ferrosas se encuentra el material a desarrollar la tecnología que es el objetivo del presente de titulación; debido a que el DURALUMINIO es una aleación de Al-Cu básicamente sin dejar de lado a sus demás aleantes que inciden en la aleación en menor porcentaje como el Mg, Mn, Si.

Este material tiene entre sus características la principal que posee alta resistencia mecánica y bajo peso que es lo que lo hace un material especial, a esto se le suma que es de fácil maquinado logrando tener mucha más precisión en el momento de realizar diseños donde se requiera exactitud extrema; esta característica la confirmamos en la siguiente tabla que se relaciona con las características de los metales y de las aleaciones no ferrosas.

**Tabla 7**

**Características generales de los metales y aleaciones no ferrosas**

Material	Características
Aleaciones no ferrosas	Más costosas que los aceros y plásticos; amplia gama de propiedades mecánicas, físicas y eléctricas; buena resistencia a la corrosión; aplicaciones a alta temperatura.
Aluminio	Alta relación resistencia-peso; alta conductividad térmica y eléctrica; buena resistencia a la corrosión; buenas propiedades de manufactura.
Magnesio	El metal más ligero; buena relación resistencia-peso.
Cobre	Alta conductividad eléctrica y térmica; buena resistencia a la corrosión; buenas propiedades de manufactura.
Superalaciones	Buena resistencia y resistencia a la corrosión a temperaturas elevadas; pueden ser aleaciones a base de hierro, cobalto y níquel.
Titanio	La más alta relación resistencia-peso de todos los metales; buena resistencia y resistencia a la corrosión a temperaturas elevadas.
Metales refractarios	Molibdeno, niobio (columbio), tungsteno y tantalio; alta resistencia a temperaturas elevadas.
Metales preciosos	Oro, plata y platino; generalmente tienen buena resistencia a la corrosión.

**Fuente:** (Kalpakjian, 2008, pág. 170)

Las aleaciones no ferrosas tienen una amplia variedad de propiedades deseables, como resistencia, tenacidad, dureza y ductilidad; resistencia a alta temperatura, termofluencia y oxidación; una extensa gama de propiedades físicas, térmicas y químicas; y elevadas proporciones resistencia-peso y rigidez-peso; en particular para el Al y el Ti; a esto se le suma que con un adecuado tratamiento térmico se pueden mejorar ciertas propiedades; para obtener un mejor material que vaya acorde con las necesidades planteadas.

En la tabla 8 encontramos algunas propiedades importantes de algunos de los metales no ferrosos más usados en la industria; esta tabla nos denota una característica importante que es usada al momento de realizar un análisis para saber la temperatura de fundición de una aleación y el horno a usarse de acuerdo al material que tenga más elevado punto de fusión se toma la decisión del horno a ser utilizado; además encontramos la densidad de cada elemento y sus respectivas aplicaciones más comunes en el mundo de la industria y el diseño.

**Tabla 8**

**Metales comunes no ferrosos**

<b>Metal</b>	<b>Densidad</b>	<b>Punto de fusión</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Usos típicos</b>
Aluminio	2700	660	Es el más ligero de los metales comúnmente utilizados. Elevada conductividad eléctrica y térmica. Suave, dúctil, y baja resistencia a la tensión 93MN/m <sup>2</sup> .	Base de muchas aleaciones usadas en ingeniería. Conductores eléctricos de poco peso.
Cobre	8900	1083	Suave, dúctil, y con baja resistencia a la tensión (o tracción), 232 MN/m <sup>2</sup> . Sigue a la plata en conductividad; mucho más fácil de unir por soldadura que el aluminio. Resiste a la corrosión.	Como base de las aleaciones de latón y bronce. Se utiliza mucho en conductores eléctricos y cambiadores de calor, tales como los radiadores de autos.

Plomo	11300	328	Suave, dúctil, y con baja resistencia a la tensión (o tracción). Elevada resistencia a la corrosión.	Recubrimientos de canales eléctricos. Base de las aleaciones para la soldadura. Rejillas para placas de acumulador. Recubrimiento en plantas químicas. Agregados a otros materiales para hacerlos adecuados para el "corte libre".
Plata	10500	960	Suave, dúctil, y con muy baja resistencia a la tensión. Conductividad más elevada que la de cualquier otro metal.	Muy utilizado en ingeniería eléctrica y electrónica para contactos de interruptores y relevadores.
Estaño	7300	232	Resistente a la corrosión	Recubrimiento de las láminas de acero dulce para darles "estañado". Utilizado en soldaduras suaves. Una de las bases de los cojinetes de "metal blando". Elemento para la aleación de bronces.
Cinc	7100	420	Suave, dúctil, y con baja resistencia a la tensión. Resistente a la corrosión.	Muy utilizado para revestir las láminas de acero "galvanizándolas". Base de las aleaciones para fundición en matriz. Elemento aleador de latón.
Cromo	7500	1890	Resistente a la corrosión. Eleva la fuerza pero disminuye la ductilidad de los aceros. Mejora las propiedades obtenidas por los tratamientos térmicos	Utilizado como elemento liga en los aceros de alta fuerza, resistentes a la corrosión. Utilizado para la electroplastia.
Cobalto	8900	1495	Mejora la resistencia al desgaste y la dureza de los aceros rápidos.	Utilizado como elemento liga en aceros "súper" rápidos y en las aleaciones para imanes permanentes.
Manganeso	7200	1260	Elevada afinidad con el oxígeno y el azufre, suave y dúctil.	Utilizado para reducir los aceros y para eliminar los defectos perjudiciales ocasionados por los azufres en impurezas. En grandes cantidades mejora la resistencia al desgaste.
Molibdeno	9550	2620	Metal pesado, resistente al calor, que se alea fácilmente con otros metales.	Utilizado como elemento liga en aceros al níquel-cromo de elevada resistencia con el objeto de mejorar las propiedades mecánicas y de tratamiento por calor. Reduce el efecto de masa y fragilidad al temple.
Níquel	8900	1458	Metal fuerte, rígido, resistente a la corrosión, muy utilizado como elemento para aleaciones.	Utilizado como elemento para aleaciones con el objeto de mejorar la resistencia y propiedades mecánicas del acero. Tiende a desestabilizar al carbono durante el tratamiento térmico, y debe agregarse cromo para contrarrestar este efecto en los aceros al medio y alto carbono. Utilizado para la electroplastia.

Fuente: (Timings, 2002)

#### 2.1.4. Propiedades de los Metales

El estudio de las propiedades de cualquier material se enfoca o se basan en dos:

- Propiedades Mecánicas
- Propiedades Físicas

Estos dos grandes grupos abarcan todo lo que se refiere al estudio en general de un determinado material; y en base a las propiedades de los metales de aquí se derivan distintas propiedades que van encajadas en estos dos grandes grupos o familias.

Las propiedades mecánicas de un material describen todo lo que se refiere a la manera de comportarse de un determinado material respecto a diversos factores externos como por ejemplo una caída, un golpe, un cambio de temperatura, sometimiento a trabajo cíclico, ductilidad; en si las propiedades mecánicas de un material son las que se refieren a cómo responde el mismo cuando es sometido a una fuerza externa.

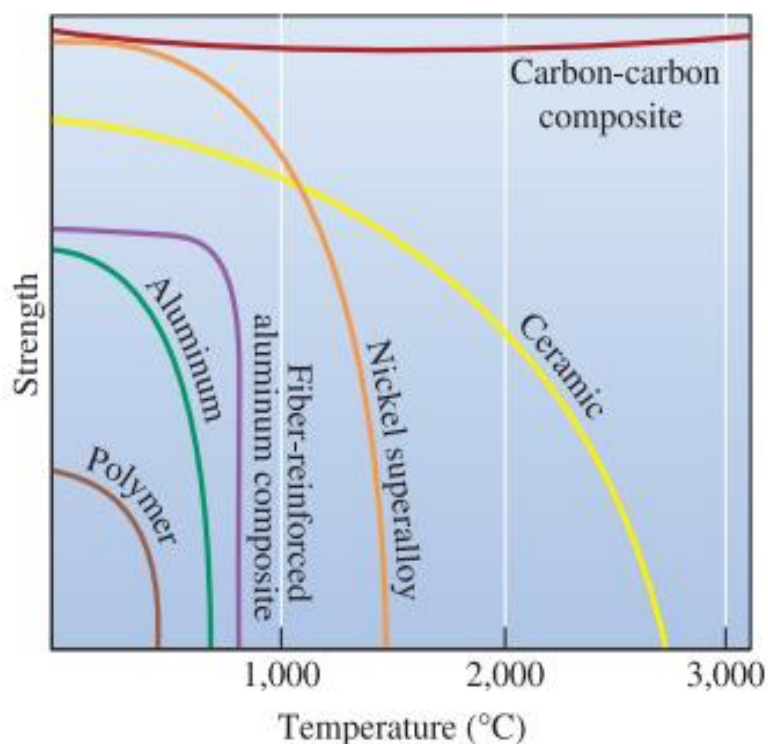
Las propiedades Físicas son todas aquellas que se refieren a cambios internos en la estructura del material que pueden ser provocados por un cambio eléctrico, magnético, óptico, térmico, elástico y químico; el cambio de estas propiedades hace que el material se comporte de una u otra manera en determinada aplicación.

La temperatura es una de las propiedades de los metales predominantes ya que siempre va existir fricción considerando que no necesariamente con otro material sino que la fricción con el aire siempre se va a dar y es por esto que se debe de considerar como punto de avance al momento de optar que material va a ser utilizado en determinado elemento;

los efectos de impacto, fatiga, desgaste son controlables y van acorde al trabajo del elemento ya que no todos los elementos están sometidos a estos posibles cambios de sus propiedades mecánica.

En cambio a los efectos de la termo fluencia están sometidos absolutamente todos los elementos mecánicos sea donde sea que estén trabajando u operando; se debe de considerar que a muy bajas temperaturas un metal puede fallar por efectos de la fragilidad y en cambio ha muy altas temperaturas que sobre pasen los límites permisibles de acuerdo al material este puede fundirse;, es por eso que se deben de tener muy en cuenta los valores máximos y mínimos de temperatura al cuál puede ser sometido un determinado material; en la figura 3 se denota los valores de temperatura vs resistencia de algunos tipos de materiales como podemos ver para el Al la resistencia está en valores menores a los 1000°C esto se explica ya que normalmente los elementos fabricados con Al puro o con alguna de sus aleaciones de acuerdo a la norma ASTM B-211; no son sometidos a temperaturas que sobre pasen este límite e incluso de acuerdo a esta norma se tiene los rangos a los cuáles se deben someter y a los cuáles debemos regirnos.

Bajo la temperatura de fusión del Al; solo están los polímeros es decir los diferentes tipos de plásticos que tienen su temperatura de fusión que promedia los 300°C, con la gran diferencia que lo polímeros no son usados en elementos que sean sometidos a fatiga o a altas temperaturas sino más bien como elementos de poco esfuerzo y fatiga; existen las aleaciones de Al que bordean los 100°C que cuentan con excelentes propiedades tanto mecánicas como físicas y por tal motivo son usados en varios elementos y máquinas sobre todo en las modernas que se han desarrollado con las últimas tecnologías existentes.



**Figura 3: Temperatura vs Resistencia de Materiales**

Fuente: (Askeland D. , 1998)

## 2.2. EL ALUMINIO

Los datos nos dan que el Al es el material que más existe en la corteza terrestre, su presencia alcanza el 8% de los elementos presentes en total en nuestro planeta Tierra, y por ende está presente en la gran mayoría de partes y elementos que utilizamos a diario; en los vehículos, electrodomésticos, en nuestro celular, en casa, en absolutamente todo lo que nos imaginamos tenemos la presencia del Al, en sus diversas y variadas aleaciones que tienen características específicas de acuerdo a lo que vayamos a necesitar.

El Aluminio a lo largo de la historia ha venido utilizándose en varios elementos de maquinaria como un material ligero y de fácil maquinabilidad, es usado en diversos diseños cuando se requiere de un material liviano el inconveniente es que no nos presta gran factibilidad cuando se necesita



dureza, es de fácil producción; estos factores han hecho que el Al sea uno de los materiales no ferrosos más utilizados en la industria en diversos diseños y procesos.

A medida que han avanzado las diversas necesidades en el diseño y construcción de nuevas máquinas que van de la mano con el avance de la tecnología este material se lo ha fusionado con otros materiales obteniéndose aleaciones que presentan mejores propiedades tanto mecánicas como físicas que van acorde al trabajo en que se vaya a someter el elemento; en nuestra investigación el material a fundir es una aleación de Al más Cu denominado DURALUMINIO, el mismo que presenta entre sus propiedades mayor dureza y menor peso respecto al Al libre de aleaciones.

### **2.2.1. Historia**

A través del uso de la metalurgia para mejorar las cualidades de los diversos metales y con esto de los elementos de maquinaria, la cual no solo trata de mejoras sino también comprende todo el proceso en sí de la extracción de los minerales en roca para luego realizar el proceso de separación o para obtener metales libres a través de un proceso determinado en algunos casos o en otros como es el caso del Au, Cu y la Ag que se encuentran en minas en estado puro y a partir de estos elementos se realizan los diversos procesos de metalurgia propiamente dichos para de esta manera obtener mejores y nuevos materiales; la metalurgia tiene sus inicios hace más de 5000 años.

Los inicios del Al los transcribimos de un artículo científico de la empresa ALU-STOCK S.A. de España: “Fue a comienzos del siglo XIX cuando un químico danés Hans Cristian Oersted aisló el metal por primera vez en 1825 por medio de un proceso químico que utilizaba una amalgama de potasio y cloruro de aluminio.

El químico alemán Wöhler en el año 1827 lo obtuvo en forma de polvo al hacer reaccionar el potasio con el cloruro de Aluminio y posteriormente en el año 1845, él mismo, determinó por primera vez las propiedades del metal recién descubierto, densidad y ligereza y lo separó en forma de bolitas". (STOCK)

La bauxita es el mineral que se extrae de las canteras para la producción del Al; este mineral contiene alúmina ( $Al_2O_3$ ) que es el principal compuesto para poder realizar el proceso y obtener el Al; en 1854 se obtuvo por primera vez en la historia el Al y se lo presentó en la Academia de Ciencias de París en una exposición en forma de lingotes, su creador fue Sainte-Claire Deville, el mismo que expuso dos formas para obtener el elemento el uno por electrolisis y el otro por medio de referencia química.

Cabe mencionar que quienes realmente fueron los fundadores de la industria propiamente dicha del Al fueron el alemán Paúl Héroult y el norteamericano Charles Martin Hall, quienes sacaron a la luz el proceso moderno para la obtención del Al basándose en la electrolisis de la alúmina este hecho data de 1886; luego de este gran descubrimiento en lo que se refiere a obtener el Al puro la producción del mismo pasa de 39 toneladas en 1888, llega a 10 millones en 1970 y a 17 millones en 1980. (Alue)

La más antigua utilización de aluminio en construcción que se recuerde, es la cúpula de la iglesia de Sant Joaquina, realizada en 1.897, con aluminio impuro, pero que a pesar de todo se conserva hoy en buen estado. (Alue)

### 2.2.2. Clasificación

El Al es un elemento que proviene básicamente de la bauxita que es un compuesto que se encuentra en la corteza terrestre que es extraído en minas y canteras donde los análisis son positivos; siendo el compuesto base para la obtención del aluminio y a través de un proceso de desmineralización se obtiene el Al puro; el mismo que es utilizado en diferentes aleaciones para mejorar sus propiedades tanto físicas como mecánicas de acuerdo a la necesidad del diseñador, estas aleaciones van acorde a las necesidades que a través de los años se han venido suscitando conforme el avance de la tecnología; cada una de estas aleaciones tiene un elemento aleante que es el considerado para poder denotar una aleación de la otra.

Dentro de cada grupo de aleaciones existen variedades estas que están dentro de un mismo grupo que van de acuerdo a varios factores como el tratamiento térmico utilizado para su enfriamiento o calentamiento; acabado final, proceso de fundición o proceso de forjado, etc.

Una clasificación del elemento Al por sí solo no existe ya que es un elemento puro y como se ha anotado anteriormente en estado puro es prácticamente inutilizable es por eso que lo que se encuentra es una clasificación de acuerdo a sus aleantes; dichas aleaciones las resumidos en la siguiente tabla en forma general y en un punto siguiente los vamos a ir especificando uno a uno y obviamente poniendo más énfasis en la serie 2XXX que es la aleación del Al con el Cu y que es la aleación de donde proviene nuestro material a desarrollar la tecnología que es el DURALUMINIO, y se explicará su nomenclatura de acuerdo a las necesidades.

**Tabla 9****Aleaciones de Al para fundición y su nomenclatura**

<b>ELEMENTO ALEANTE</b>	<b>NOMENCLATURA</b>
Aluminio Puro ( 99% de Al )	1XX.X
Aluminio – Cobre (Duraluminio Al-Cu)	2XX.X
Aluminio – Silicio – Cobre (Si-Cu y/o Mn)	3XX.X
Aluminio – Silicio (Al – Si)	4XX.X
Aluminio Magnesio (Al – Mg)	5XX.X
Aluminio – Serie No usuales	6XX.X
Aluminio – Cinc (Al – Zn)	7XX.X
Aluminio – Estaño (Al – Sn)	8XX.X
Aluminio – Otros elementos (Al – X)	9XX.X

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

### 2.2.3. Propiedades

Las propiedades del Al son característica específica del elemento que lo hace diferente al resto de su clase entre los metales y debido a ellas es usado en gran variedad de usos y aplicaciones en la industria en general; entre las propiedades del Al si se la quiere denominar de esta manera se tiene que es un elemento que se encuentra en abundancia en la corteza terrestre lo cual hace que sea muy tomado en cuenta para diferentes procesos a esto se le debe sumar que es totalmente reciclable y por ende se lo puede reutilizar para otro proceso.

Entre los variados usos y aplicaciones del Al se tienen desde elementos

de las más grandes máquinas así como también usos pequeños sean estos en fábricas como también en hogares; el uso del Al en la industria se basa en que es un elemento que se encuentra en un gran porcentaje en la corteza terrestre; sus aplicaciones en el diseño lo hace muy útil por varios factores como el económico y también el factor que es de un alto grado de reciclaje que lo acompaña con su larga duración en cuestión de resistencia y vida útil.

Entre sus propiedades tenemos que al contacto con el aire se cubre inmediatamente con una capa de óxido de aluminio la misma que lo protege de la corrosión característica extremadamente importante para sus diferentes usos; se puede anotar también que el Al es un metal de color plateado, es electropositivo y extremadamente reactivo al contacto con otros elementos; todas las propiedades técnicas del metal Al ser las anota en la siguiente tabla.

**Tabla 10**  
**Propiedades del Aluminio**

Nombre	Aluminio
Nº atómico	13
Valencia	3
Electronegatividad	1,5
Radio covalente(Å) Estado de oxidación	0,50 (+3)
Radio atómico (Å)	1,43/1,82
Configuración electrónica	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup>
Primer potencial de ionización(eV)	6,00
Masa atómica (g/mole)	26,9815
Densidad	2,7
Punto de ebullición(°C)	2467
Punto de fusión (°C)	660
Radio iónico	0,535 Å
Volumen atómico	10 cm <sup>3</sup> /mole
Orbitario que llena	3p
Nº de electrones	(sin carga) 13
Nº de protones	13
Estado de la oxidación	3
Electrones de Valance	3 s <sup>2</sup> p <sup>1</sup>
Equivalencia electroquímico	0,33556g/amp-hr
Función del trabajo del electrón,	4,28 eV
Electronegatividad (Pauling)	1,61
Calor de fusión	10,79kJ/mole
Potencial del electrón de Valance	(-eV) 80,7
Módulo elástico: bulto	76/GPa
Módulo elástico: rigidez	26/GPa
Módulo elástico: youngs	70/GPa
Entalpia de atomización	322,2kJ/mole@25°C
Entalpia de fusión	10,67 kJ/mole
Entalpia de la vaporización	293,7 kJ/mole
Reflectividad optica	71%
Volumen molar	9,99 cm. <sup>3</sup> /topo
Calor específico	0,9J/gk
Presión del vapor	2,4E-06Pa@660.25°C
Conductividad eléctrica	0,377 10 <sup>6</sup> /cm
Conductividad termal	2,37 W/cmK

**Fuente:** (STOCK, pág. 3)

Una propiedad del Al que todo el mundo conoce es su bajo peso o, hablando técnicamente, baja densidad relativa. La densidad relativa del Al es apenas 2.7 veces la del agua, y aproximadamente un tercio la del acero o el cobre. Si se emplean unidades del sistema inglés, es fácil recordar que 1 pulg<sup>3</sup>

de aluminio pesa 0.1 lb; un pie<sup>3</sup> pesa 170 lb, en comparación con las 62 lb del agua y 490 lb del acero.

A continuación se analizarán algunas propiedades del Al; tomando en cuenta la relevancia y diferenciación con el resto de elemento:

- **Formabilidad.** El aluminio puede ser conformado casi por cualquier proceso de los que se usan actualmente, y en más formas que cualquier Otro metal. Si bien restringe sus aplicaciones a altas temperaturas, a unos 500 o 600 °F, su punto de fusión relativamente bajo de 1.220 °F lo hace fácil de vaciar.
- **Propiedades mecánicas.** Mediante aleación el aluminio, suave por naturaleza, puede duplicar la resistencia que presenta el acero dulce.
- **Razón resistencia-peso.** Algunas aleaciones de aluminio que se usan actualmente se encuentran entre los materiales con mayor razón resistencia-peso, como los aceros al titanio y de superaleación.
- **Resistencia a la corrosión.** El aluminio posee excelente resistencia a la corrosión en ambientes naturales y en contacto con muchos alimentos y productos químicos.
- **Conductividad eléctrica y térmica elevada.** En términos de volumen, la conductividad eléctrica del aluminio puro es de alrededor del 60% de la del Patrón Cobre Recocido Internacional, pero gramo por gramo el aluminio es mejor conductor de calor y electricidad que el cobre y es superado sólo por el sodio, un metal difícil de manejar en Situaciones ordinarias.

- **Reflectividad (o reflexividad).** El aluminio puede someterse a tratamiento superficial para hacerlo un excelente reflector, que no se empaña con la oxidación normal.
- **Posibilidad de acabado.** El aluminio puede someterse a más formas de acabado que cualquier Otro metal que se use en la actualidad.

Texto tomado de: (Kurt, 1990)

#### **2.2.4. Usos y aplicaciones**

Para describir los usos y las aplicaciones del Al pues deberíamos hacer un listado sin fin; ya que es el metal o elemento más usado en diferentes industrias desde la industria de producción de artículos más pequeños hasta los más grandes desde artículos de casa hasta artículos de oficina; desde grandes maquinarias hasta el más pequeño elemento de una máquina de cualquier fábrica nos vamos a encontrar que tiene Al en alguna de sus partes y/o elementos.

En fin el uso del Al es demasiado variado ya que es un elemento que proporciona diversas características de acuerdo al elemento aleante; generalmente y en la mayoría de aplicaciones no se lo usa puro sino que se aprovechan las diversas aleaciones que tiene con diversos elementos ya que con estos presenta variadas propiedades que son usadas al momento de diseñar y de acuerdo también a la necesidad del fabricante; las aleaciones de Al son usadas en diversas y variadas maquinarias, y a medida del paso de los años y el avance de la tecnología el Al y sus diversas aleaciones han venido ganando campo en este avance ya que en los más sofisticados avances de la tecnología está el Al junto a sus aleaciones; como ejemplo vamos a citar una lista general de los diversos usos del Al y sus principales aplicaciones del común vivir del ser humano.

Algunos de los principales usos del Al son:



- **Estructuras:** en perfiles de casas y edificios que son usados en ventanas, puertas y divisiones.



**Figura 4: Estructuras de Aluminio**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

- **Cables de transmisión eléctrica:** aunque la conductividad eléctrica del Al es del 60% de la conductividad eléctrica del Cu; el Al presenta menor peso y por ende permite mayor distancia entre las torres de alta tensión, disminuyendo los costos de infraestructura y sobre todo el hurto de los cables de Cu; ya que por su precio son hurtados para fundirlos y vender el Cu por kilos.



**Figura 5: Cables de transmisión eléctrica de Aluminio**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

- **Utensilios de hogar:** se usa el Al en cucharas, platos, en fin en artículos de la cocina, en herramientas de labranza, en partes y piezas de electrodomésticos.



**Figura 6: Utensilios de hogar de Aluminio**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

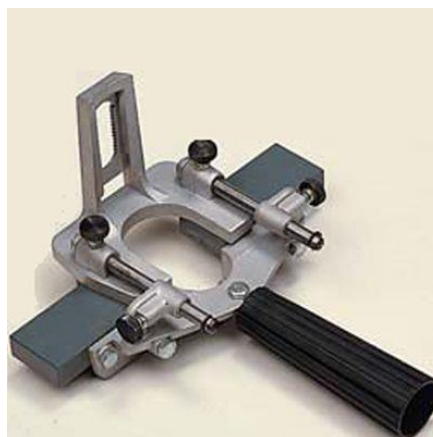
- **Embalaje:** el famoso y muy conocido papel aluminio que tiene variados usos; latas de bebidas, latas de alimentos, el tetra-pack; en fin en varios usos de embalaje está presente el Al.



**Figura 7: Embalajes usando Aluminio**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

- **Partes y elementos de máquinas:** en diversas partes de elementos/piezas de maquinarias sean grandes o pequeñas; en barcos, aviones, carros, máquinas estacionarias, etc.



**Figura 8: Partes y elementos de maquinaria de Aluminio**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

Estas son algunas de las aplicaciones más frecuentes y comunes del Al; pero a esto se deben añadir aplicaciones más específicas y altamente tecnificadas que igualmente que las anteriores siguen normas totalmente estrictas para poder ser usadas; acorde a las aleaciones que tiene el Al se presentan varios materiales que tienen sus características propias y que han sido el resultado de un arduo estudio durante varios años y extensos procesos

para llegar a conseguir dicha aleación; el Al presenta aleaciones variadas y cada una de ellas lleva su nombre y sus usos específicos; en el siguiente tema vamos a realizar un análisis de estas aleaciones en forma general y nos vamos a centrar en un análisis profundo de la aleación Al-Cu que en el mercado es el denominado Duraluminio y que de acuerdo a La Aluminium Association Inc, - AA corresponde a la serie 2XXX.

## **2.3. ANÁLISIS DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO**

### **2.3.1. Historia de las Aleaciones**

Desde el principio de la Historia varios años antes de nuestra era el hombre después de ser cazador y nómada pasando por la era de piedra; se acento en un solo lugar que le prestara las condiciones de cazar, cultivar y de acuerdo a la zona pescar, a partir de estas nuevas características del estilo de vida del hombre primitivo se tiene datación de las diversas culturas, las cuales ya realizaban instrumentos de arcilla y barro; convirtiéndose estos instrumentos en elementos necesarios de su convivir diario; y entre los más conocidos y encontrados por arqueólogos o simplemente por moradores de sectores donde se asentaban estas culturas tenemos cacerolas, ollas, estatuillas que se detonan como los vestigios más antiguos de elementos que ya datan de un proceso de fundición aunque totalmente empírico pero ya se anota una fundición de materiales para poder tener como resultado estos primeros artículos de dichas sociedades.

A medida que los años iban pasando el hombre sintió la necesidad de crear más elementos para su convivencia diaria y es así como se encuentran cucharas, recipientes, lanzas, cuchillos y varios elementos ya hechos básicamente por fundición de hierro, convirtiéndose estas aleaciones para la época en lo más novedoso en fundición y quienes las hacían eran artesanos que empíricamente llegaban a fundir y obtener estos elementos muy útiles para la época; las fundiciones de a poco y con el avance de la tecnología y el pasar

del tiempo han ido cada vez siendo más usadas para la creación de elementos cada vez necesarios para la vida del hombre es así que podemos concluir que la fundición tiene una historia prácticamente desde la aparición del hombre hasta las más avanzadas tecnologías existentes por el momento en nuestros días.

A medida que han pasado los años y con el desarrollo de varias técnicas de fundición se han ido mejorando las mismas; sin olvidar que el uso de hornos para fundir data de la época de los primeros ancestros nuestros donde ya realizaban fundiciones de hierro para fabricar diferentes elementos; a esto se le suma también el uso de la forja que es un uso también de la fundición.

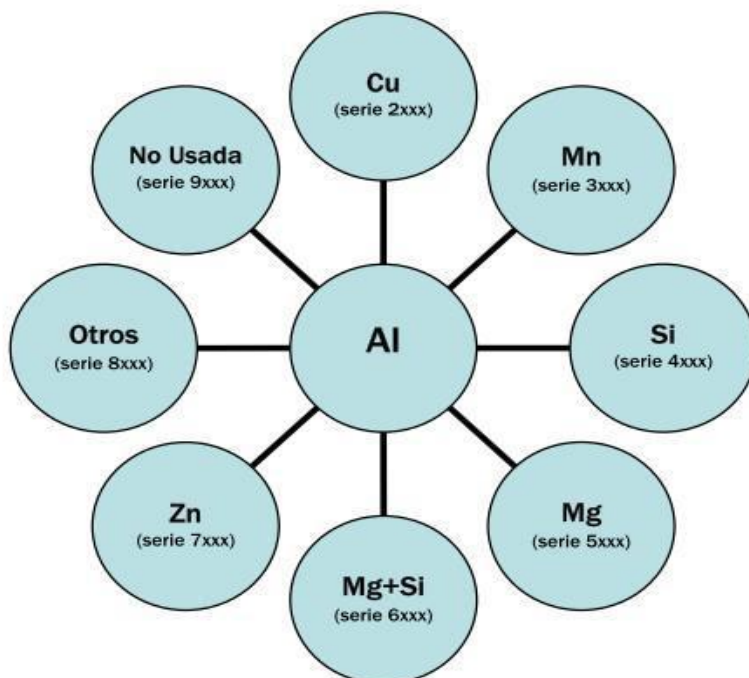
En tiempos más cercanos en las últimas décadas se han aumentado variadas formas y procesos de fundición, realizando cada vez procesos mucho más técnicos y que van acorde con los avances en el desarrollo de nuevas tecnologías para obtener mejores y más variados materiales disponibles en para uso de diseñadores y de elementos en general.

### **2.3.2. Aleaciones de Aluminio**

El Al en si solo como elemento libre no es altamente usado ya que es un elemento débil y por esta razón al ser un elemento abundante en la corteza terrestre se han desarrollado aleaciones del Al con elementos aleantes las mismas que adquieren propiedades que mejoran el material resultante y que son usados en diversas partes o elementos de las más pequeñas hasta la más grande de las máquinas existentes; el uso de una u otra aleación depende del trabajo al que va ser sometida la pieza a diseñarse y es por esto que al momento de realizar la fundición necesaria se deben regir a estrictas normas para obtener un material que cumpla con los requerimientos de diseño.

El metal puro puede hacerse más resistente por medio de labrado en frío, un proceso que se denomina endurecimiento por deformación. Sin embargo, se obtiene mucha mayor resistencia mediante la aleación con otros metales, y las aleaciones en sí pueden hacerse más resistentes si se someten a endurecimiento por deformación o a tratamiento térmico. El proceso de aleación también mejora otras propiedades, como la capacidad de colado y la labrabilidad. Así, las aleaciones de aluminio se usan más ampliamente que el metal puro, y muchas veces, cuando se menciona el aluminio, en realidad se hace referencia a una de sus aleaciones.

Los principales elementos que se agregan al aluminio son cobre, manganeso, silicio, magnesio y zinc; para fines metalúrgicos también se añaden otros elementos en menor cantidad. En virtud de que se han elaborado literalmente cientos de aleaciones de aluminio para uso comercial, la Aluminum Association formuló sistemas especiales de designación para distinguir y clasificar las aleaciones de una manera sinóptica. (Kurt, 1990)



**Figura 9: Series de las aleaciones de Aluminio**

**Fuente:** (Askeland D. , 1998)

### 2.3.3. Clasificación del Aluminio

El Al a pesar de ser uno de los elementos con mayor presencia en la corteza terrestre en su proceso de obtención a través de la extracción de la Bauxita se obtiene el Al al 99,99% es decir un Al puro; queda entonces la duda de él porque no se lo usa en estado puro y necesariamente en aleaciones; esta respuesta es de fácil análisis ya que acorde con el avance de la tecnología y de los procesos de fundiciones se ha ido de a poco y a través de los años mejorando los diferentes tipos de materiales no solo los que tienen que ver con el Al sino en general materiales que son usados en las más altas tecnologías y avances de la ciencia; a esto se le suma que el Al por si solo presenta baja resistencia, es blando y en general las propiedades mecánicas no son las adecuadas puro es por eso que con un elemento aleante mejoran notablemente estas propiedades notablemente y se lo usa en variedad de diseños y por ende de elementos.

Para realizar un análisis de la clasificación del Al; nos remitimos a un severo estudio de bibliografías acerca de este elemento tan abundante y usado en cientos de miles de procesos que van directamente al uso y mejora de la calidad de vida del ser humano y porque no de los seres vivos en general; vamos a anotar la siguiente clasificación de este importante elemento que se clasifica de la siguiente manera:

#### a) Clasificación por su proceso

- **Aluminios Forjados.** - la forja es un proceso mecánico que se utiliza para dar cierta forma determinada a un material y se lo hace mediante presión o impacto.
- **Aluminios fundidos.** - la fundición es un proceso mecánico muy utilizado en la obtención de nuevos materiales con propiedades específicas y consiste en pasar la temperatura de fusión de los

elementos para obtener una colada del material requerido y a esta colada se la vierte en un molde donde esa colada se solidifica.

## **b) Clasificación por su estado**

Para poder describir los diferentes estados del Al; se debe hacer referencia a la siguiente clasificación que es muy utilizada en varios elementos no solo en el Al; cuando se leen tablas y prontuarios solamente se leen las siguientes siglas; es por eso que es muy importante saber el significado de cada una de ellas para poder estar bien informado del estado del material que estamos comprando o nos están informando y de esta manera estar seguros del requerimiento del material que solicitamos o nos solicitan.

- **F:** Sin tratamiento ulterior. Estado bruto. Es el material tal como sale del proceso de fabricación. Se aplica a los procesos de conformado en los cuáles no se realiza un control técnico.
- **O:** Recocido. Se aplica a materiales ya sea de forja como de fundición que han sufrido un recocido completo; como por ejemplo a los productos de forja que se recuecen para obtener la dureza más baja o a su vez para mejorar la ductilidad.
- **O1:** Recocido a elevada temperatura y enfriamiento lento.
- **O2:** Sometido a tratamiento termo-mecánico.
- **O3:** Homogeneizado. Esta designación se aplica a los alambrones y a las bandas de colada continua, que son sometidos a un tratamiento de fisión a alta temperatura.
- **W:** Solución tratada térmicamente. Se aplica a materiales que después de recibir un tratamiento térmico quedan con una estructura inestable y sufren envejecimiento natural.



- **H:** Endurecimiento por deformación y es usado solo para productos forjados. Viene con materiales a los que se ha realizado un endurecimiento por deformación.
- **H1.** Endurecido por deformación solamente hasta obtener el nivel deseado y sin tratamiento posterior.
- **H2.** Endurecido por deformación y recocido parcial para recuperar suavidad sin perder ductilidad.
- **H3.** Endurecido por deformación y estabilizado.
- **H4.** Acritud y lacado o pintado. Son aleaciones endurecidas en frío y que pueden sufrir un cierto recocido en el tratamiento de curado de la capa de pintura o laca dada. En ésta clasificación se usa un segundo dígito (en ocasiones es necesario un tercer dígito) que indica el grado de endurecimiento por deformación.
  - **HX2:** Un cuarto duro
  - **HX4:** Semiduro
  - **HX8:** Completamente duro
  - **HX9:** Extraduro
- **T:** Sometido a tratamiento térmico para producir grados estables distintos de los F, O o H. Denomina a materiales que han sido endurecidos por tratamiento térmico con o sin endurecimiento por deformación posterior. Las designaciones de W y T solo se aplican a aleaciones de aluminio ya de forja o de fundición que sea termotratables. Se aplica a los productos tratados térmicamente, con endurecimiento por deformación complementario o sin él, esto para producir grados estables.
- **T1:** Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una elevada temperatura y envejecido de forma natural.
- **T2:** Enfriado desde un proceso de fabricación que se lo realiza a una alta temperatura; es trabajado en frío y envejecido de forma natural.
- **T3:** Solución tratada térmicamente, trabajada en frío y envejecida a temperatura ambiente, hasta alcanzar una condición estable.

- **T4:** Solución tratada térmicamente y envejecida a temperatura ambiente hasta alcanzar una condición estable. Es un tratamiento similar a T3, pero sin el trabajo en frío.
- **T5:** Enfriado desde un proceso de fabricación a alta temperatura y envejecida artificialmente.
- **T6:** Solución tratada térmicamente y envejecida artificialmente. Son designados de esta manera los productos que después de un proceso de conformado a alta temperatura (moldeo o extrusión) no son endurecidos en frío, sino que sufren un envejecimiento artificial.
- **T7:** Solución tratada térmicamente y sobreenvejecida para su completa estabilización.
- **T8:** Térmicamente tratada por disolución, trabajada en frío y envejecida artificialmente.
- **T9:** Solución tratada térmicamente, envejecida artificialmente y trabajada en frío.
- **T10:** Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una elevada temperatura, trabajado en frío y envejecido artificialmente hasta una condición sustancialmente estable.

Existen variantes del estado T, a estas variantes se les añaden a la T dos dígitos. Estos dos dígitos son específicos para cada producto y se usan para estado de alivio de tensiones en productos fabricados mediante el proceso de forja. (Ortola, 2009)

#### **2.3.4. Series de las Aleaciones de Aluminio**

Para introducir este tema de las series de las aleaciones de Al debemos tener muy en cuenta que no es una clasificación del Al en estado puro; sino más bien es una clasificación de las aleaciones del Al; es decir, cada una de las series en que se clasifican las aleaciones con el Al, llevan un elemento aleante principal, lo que no quiere decir que no llevan más elementos sino más bien para cada una de las series se toma un elemento

principal y los demás como elementos secundarios; las series se denotan con un número principal que va desde el 1 hasta el 9; y cada uno de estos números llevan consigo tres números más y cada uno de estos tres números tiene su significado y denominación de acuerdo a la aleación que se haya hecho o se haya elegido si es el caso de comprarla en el mercado.

Cada una de las series de las fundiciones de Al está normalizada y por ende tienen sus propiedades que se deben cumplir; en cada caso como ya se había descrito anteriormente se tiene un material principal y materiales secundarios y cada uno de estos tanto el principal como el secundario tienen un porcentaje específico y establecido dentro de un rango en la fundición final el cuál se debe de cumplir para poder alcanzar las propiedades que la norma nos exige.

A esto se debe de manifestar que la norma es un ente de referencia de valores de cumplimiento mínimo mas no de cumplimiento estricto; valores a los que se deben tomar muy en cuenta pero ya depende del diseñador o investigador realizar los análisis necesarios para poder concluir si los valores obtenidos en la investigación cumplen o no con la norma y a su vez realizar la conclusión de que su resultado no solo cumple con la norma sino más bien sobrepasa la norma siendo esta mejorada por el investigador; pero también se debe tener muy en cuenta que no es solo mejorar los datos que nos proporciona la norma ya que si un dato se mejora esto podría significar de acuerdo al caso que alguna propiedad del material resultante se disminuye en su valor, haciendo que una propiedad mejore y la otra disminuya.

En tal caso es la capacidad del investigador realizar todos los análisis tanto de composición química como mecánicos para concluir si su material resultante luego de los análisis respectivos está dentro de la norma tomada como referencia y dicha norma de acuerdo a los datos que nos proporcione hayan sido mejorados; y este el motivo de nuestra investigación que va encaminado a mejorar las propiedades del DURALUMINIO y de no ser el caso

a llegar a obtener las propiedades que nos brinde la norma ya que es un gran avance hacerlo a través del desarrollo de una tecnología que sea hecha a través de esta investigación y que todo su proceso se realice en nuestro medio y que el material resultante sea realmente el que dice en la norma y este dentro de la serie 2XXX.

**Tabla 11**

**Sistema de designación para las aleaciones de aluminio para colar**

<b>Serie de aleación</b>	<b>Descripción del principal elemento de liga</b>
1xx.x	99.00% de aluminio como mínimo
2xx.x	Cobre
3xx.x	Silicio o Cobre, Magnesio o ambos
4xx.x	Silicio
5xx.x	Magnesio
6xx.x	Serie no usada
7xx.x	Cinc
8xx.x	Estaño
9xx.x	Otro elemento

**Fuente:** (Kutz, 1990)

### **a) Serie 2XXX**

La serie 2XXX es una de las series del aluminio y el elemento principal aleante en esta aleación es el Cobre; es precisamente esta aleación la que en el mercado se la conoce como el DURALUMINIO; como ya habíamos indicado antes todas las series de las aleaciones del aluminio tienen dentro de cada una de ellas variaciones y estas se deben al tipo de tratamiento térmico, al cabo, a la temperatura de enfriamiento, etc.

De acuerdo a la norma tenemos las siguientes series y son las que dependiendo a la aplicación que se le vaya a dar a la pieza a ser diseñada se toma una u otra de las series de esta familia de aleaciones del aluminio con el cobre.

**Tabla 12**  
**Serie 2XXX**

Alloy	Silicon	Iron	Copper	Manganese	Magnesium	Chromium	Zinc	Bismuth	Lead	Titanium	Other Elements <sup>D</sup>		Aluminum
											Each	Total <sup>E</sup>	
2011	0.40	0.7	5.0–6.0	...	...	...	0.30	0.20–0.6	0.20–0.6	...	0.05	0.15	remainder
2014	0.50–1.2	0.7	3.9–5.0	0.40–1.2	0.20–0.8	0.10	0.25	...	...	0.15	0.05	0.15	remainder
2017	0.20–0.8	0.7	3.5–4.5	0.40–1.0	0.40–0.8	0.10	0.25	...	...	0.15	0.05	0.15	remainder
2024	0.50	0.50	3.8–4.9	0.30–0.9	1.2–1.8	0.10	0.25	...	...	0.15	0.05	0.15	remainder
2219	0.20	0.30	5.8–6.8	0.20–0.40	0.02	...	0.10	...	...	0.02–0.10	0.05 <sup>H</sup>	0.15 <sup>H</sup>	remainder

**Fuente:** (Norma ASTM, 2009)

En esta tabla se verifican las series que corresponden al DURALUMINIO; los valores de la composición química y su nomenclatura, entre estas series tenemos al 2024 que es el que se presenta comercialmente y es la más usada en diferentes piezas ya que es de fácil maquinado pero se vuelve frágil cuándo se calienta y es por esto presenta complicaciones al soldar y se deben usar soldas especiales para poder unir a otros elementos como por ejemplo la soldadura por fricción, que es un tipo de soldadura nueva que se está empezando a utilizar para este tipo de materiales.

## b) Propiedades

Entre las principales propiedades que brinda el DURALUMINIO tenemos su bajo peso que es precisamente motivo por el cuál es muy utilizado en diseños donde se necesite alta resistencia y que el peso del elemento sea el mínimo; esto sin afectar las propiedades mecánicas, el DURALUMINIO es resistente como el acero y pesa la tercera parte del mismo ya que el acero

presenta una densidad de 7,8 grs/cm<sup>3</sup> y el DURALUMINIO de 2,8 grs/cm<sup>3</sup>.  
(Asteco, 2012)

Presenta alta conductividad térmica y eléctrica.

Durante y después del mecanizado presenta mínimas deformaciones lo que se traduce en aumento de la estabilidad de las piezas o elementos.

Alta resistencia a la corrosión en general, ya que puede ser anodizada, cromado o niquelado con esto se aumenta tanto la resistencia a la corrosión como la resistencia al desgaste dado mayor vida a la pieza.

### **c) Aplicaciones**

Las aplicaciones de esta aleación son estrictamente en elementos de maquinarias donde se necesite una alta resistencia mecánica y que el peso de este elemento sea el más bajo posible; por lo que es utilizado principalmente en la fabricación de estructuras de aeronaves, barcos, autos de lujo; específicamente se utiliza este material en piezas donde se necesite una alta tenacidad a la fractura además de una alta resistencia.

Otra aplicación es la fabricación de elementos de máquinas que necesitan precisión como por ejemplo en el campo de la metrología ya que debido a que en el momento de maquinar no presenta deformaciones y esto quiere decir que los elementos son más precisos que usando por ejemplo un acero.

Elementos que requieren alta resistencia y dureza a temperaturas elevadas; como por ejemplo en elementos de motores de grandes aeronaves y embarcaciones y también en cohetes espaciales.

En elementos de armamento militar, como en cachas de pistolas y repetidoras; en planchas de espesores de 40 a 150mm que se requiera resistencia como por ejemplo en envolturas radios y equipos de autos costosos y aviones.

## **2.4 ANÁLISIS Y DESARROLLO DE LA ALEACIÓN DE DURALUMINIO**

Para el análisis y desarrollo de la tecnología en mención vamos a referirnos a la norma ASTM- B211 que trata de las aleaciones de aluminio y sus diferentes elementos aleantes y cada uno de ellos en sus diversas conformaciones de porcentajes con más elementos químicos; para esta investigación como ya se ha descrito anteriormente nos vamos a referir a la serie 2XXX que es la aleación de aluminio con el cobre y esta es conocida comercialmente como el DURALUMINIO.

Al momento de querer obtener en el mercado local esta aleación podemos ir a una casa comercial donde vendan materiales para mecanizado y en general todo tipo de elementos para la industria; y es muy sencillo comprar este material con el nombre de DURALUMINIO; pero lo que no saben en las casas comerciales y en si los vendedores es que lo que realmente nos están vendiendo no es la aleación que la norma ASTM-B211 denota como DURALUMINIO en la serie 2XXX sino más bien nos están vendiendo una aluminio de la serie 7XXX que es la aleación con el aluminio que tiene como principal elemento aleante al zinc.

Tabla 13

## Composición Química de la serie 2XXX y de la serie 7XXX

Alloy	Silicon	Iron	Copper	Manganese	Magnesium	Chromium	Zinc	Bismuth	Lead	Titanium	Other Elements <sup>D</sup>		Aluminum
											Each	Total <sup>E</sup>	
2011	0.40	0.7	5.0–6.0	...	...	...	0.30	0.20–0.6	0.20–0.6	...	0.05	0.15	remainder
2014	0.50–1.2	0.7	3.9–5.0	0.40–1.2	0.20–0.8	0.10	0.25	...	...	0.15	0.05	0.15	remainder
2017	0.20–0.8	0.7	3.5–4.5	0.40–1.0	0.40–0.8	0.10	0.25	...	...	0.15	0.05	0.15	remainder
2024	0.50	0.50	3.8–4.9	0.30–0.9	1.2–1.8	0.10	0.25	...	...	0.15	0.05	0.15	remainder
2219	0.20	0.30	5.8–6.8	0.20–0.40	0.02	...	0.10	...	...	0.02–0.10	0.05 <sup>H</sup>	0.15 <sup>H</sup>	remainder
7075	0.40	0.50	1.2–2.0	0.30	2.1–2.9	0.18–0.28	5.1–6.1	...	...	0.20	0.05	0.15	remainder

Fuente: (Norma ASTM, 2009)

Al momento de comprar este elemento vendido como DURALUMINIO y que realmente es un aluminio que comercialmente se lo conoce como el aluminio 7075, estamos poniendo en alto riesgo las características que nos presenta el DURALUMINIO frente a las que nos presenta la aleación 7075, ya que son dos aleaciones completamente distintas y que obviamente sus aplicaciones son para distintos elementos que van acorde al trabajo que vaya a ser sometido.

Ahora a que se debe que nos venden un material que no es el que pedimos por otro que es el comercial; una de las causas se debe a que lamentablemente en nuestro país no se realizan diseños de máquinas que necesiten extremo cuidado y que cumplan rigurosamente las normas sino que más bien se importan estas máquinas y claro está que no nos referimos a la totalidad de maquinaria ya que de a poco la industria ecuatoriana ha ido creciendo pero aún queda mucho por hacer en materia de crecimiento y uso de normas internacionales más rigurosas que realmente se cumplan o que se usen de forma adecuado en procesos más tecnificados y no solo mantener los procesos que se han venido usando años atrás con los mismo diseños y resultados.

Para probar justamente esto se realizó la reingeniería que consiste



en que a partir del material existen en el mercado local; a este le realizamos las pruebas para estar seguros que cumpla con la totalidad de la norma citada de acuerdo a lo que nos han vendido y si es el caso si cumple, no tendríamos más que hacer; pero si no cumple con la norma en este momento empieza nuestro trabajo de investigar cómo llegar a el material para que cumpla con la norma y que quede de esta manera desarrollada la tecnología para la obtención del DURALUMINIO; con un proceso óptimo y probado a través de una minuciosa investigación y sobre todo que sea realizado este proceso en nuestro medio que es uno de nuestros objetivos.

Apoyándonos en los diversos ensayos realizados al material que en el mercado local nos venden como DURALUMINIO vamos a concluir que no se trata del material pedido a la casa comercial sino más bien del aluminio que comercialmente se lo conoce como el 7075 y que técnicamente es una aleación Al-Zn.

#### **2.4.1. Descripción de los componentes de la Aleación**

Vamos a realizar el análisis minucioso de cada uno de los componentes principales de la aleación de Al-Cu; tomando en cuenta sus propiedades y características que lo hacen diferente del resto de elementos sin dejar de lado la función que va a cumplir en la aleación obtenida.

El DURALUMINIO presenta como principales aleante al Cobre, y de ahí los dos elementos que se presentan en la norma con mayor porcentaje son el Manganeso y Magnesio representando el mayor porcentaje de entre el resto de elementos de esta aleación; cabe dejar en claro que el Aluminio es el elemento que se tiene con mayor porcentaje en la aleación con alrededor de un 88% de presencia; en la aleación también están elementos que se los denomina residuales como el Silicio, Zinc, Titanio, Cromo.

### a) Cobre

El cobre es un elemento que se encuentra entre los metales es de color cobrizo su símbolo es Cu; es el tercer metal más utilizado en el mundo después del hierro y del aluminio; su característica principal es que es uno de los mejores conductores de la electricidad solamente superado por la plata; tanto así que en los inicios de las redes eléctricas se hacían los tendidos de cables de cobre ya que también presenta una alta maleabilidad es decir de fácil manejo al momento de tener la necesidad de ser doblado; pero estos cables comenzaron a ser hurtados para ser fundidos y poder vender el cobre en bloques ya que aparte de un excelente conductor eléctrico presenta otras propiedades que lo hacen un metal muy utilizado en varias aplicaciones de la industria.

Además de esta característica el cobre es usado en múltiples y variadas aleaciones que presentan mejores propiedades mecánicas que el cobre por si solo pero lamentablemente al ser aleado pierde en gran porcentaje su propiedad de conductor eléctrico y entre estas aleaciones las más conocidas tenemos a los latones y bronces en donde la presencia del cobre es predominante.

En una aleación que se utiliza el Cu esta aumenta notablemente la resistencia a la tracción y la dureza tanto en condiciones de extrusión como tratado térmicamente; el cobre reduce la resistencia a la corrosión y, en ambientes muy específicos en ciertos tipos de aleaciones, induce a la corrosión bajo tensión. Las adiciones de cobre reducen la resistencia al agrietamiento en caliente y disminuye la colabilidad en piezas fundidas.

En cuestión de conservación del planeta el cobre esta entre los primeros elementos de fácil reciclaje junto con el aluminio ya que estos dos elementos pueden ser reciclados varias veces sin que estos pierdan sus

propiedades mecánicas características y mediante un determinado proceso se pueden fabricar con estos materiales reciclados múltiples y variados elementos acordes a las necesidades requeridas.

Propiedades mecánicas del cobre			
	Recocido	Laminado o estirado en frío	Colado
Resistencia última a la tensión lb/pulg <sup>2</sup>	30 000-40 000	50 000-70 000	20 000-30 000
MPa	210-280	350-490	140-210
Elongación en 2 pulg	25-40 %	2-35 %	25-45 %
Reducción de área	40-60 %	2-4 %	—
Dureza Rockwell F	65 máx	54-100	—
Dureza Rockwell 30T	31 máx	18-70	—
Propiedades físicas del cobre			
Densidad	0.323 lb/pulg <sup>3</sup>	8.94 g/cm <sup>3</sup>	
Punto de fusión	1981 °F	1083 °C	
Coefficiente de dilatación térmica lineal	0.0000094/ °F (68-212 °F)	0.0000170/ °C (20-100 °C)	
	0.0000097/ °F (68-392 °F)	0.0000174/ °C (20-200 °C)	
	0.0000099/ °F (68-572 °F)	0.0000178/ °C (20-300 °C)	
Grado de contracción	1/4 pulg/pie	2 %	
Conductividad térmica	226 Btu. pie/pie <sup>2</sup> /h/°F	398 W/m. °C	
	a 68 °F	a 27 °C	
Resistividad eléctrica	10.3 Ω CM/pie	1.71 μΩ/cm	
	a 68 °F	a 20 °C	
Coefficiente térmico de resistencia eléctrica	0.023 Ω/ °F	0.0068/ °C	
	a 68 °F	a 20 °C	
Calor específico	—	0.386 J/g. °C	
		a 20 °C	
Propiedad magnética		Diamagnético	
Propiedad óptica		Selectivamente reflejante	
Módulo de Young, de elasticidad axial	1 7300 000 lb/pulg <sup>2</sup>	119 300 MPa	

**Figura 10: Propiedades Físicas y Mecánicas del Cobre**

**Fuente:** (Appold, Feiler, Reinhard, & Schmidt, 1985)

#### 4.1.2. Magnesio

El magnesio no se lo encuentra en estado libre, sino que forma parte de numerosos compuestos como por ejemplo en óxidos y sales; es un elemento insoluble, es un metal liviano, medianamente fuerte, color blanco plateado; no necesita ser almacenado en ambientes libres de oxígeno, ya que está protegido por una fina capa de óxido, la cual es bastante impermeable y difícil de sacar.

El magnesio es un metal que es usado en varias aplicaciones de ingeniería; sus usos son variados pero las más frecuentes son para

aplicaciones de material estructural pero está claro que no se lo usa solo como elemento puro sino como la gran mayoría de los elementos en aleaciones en donde se aprovechan sus propiedades químicas y metalúrgicas; cuando se lo usa en estructuras se lo emplea en cubiertas, parrillas, maletas, exhibidores, perfiles, alojamientos, etc.

En lo que se refiere a su uso en la parte no estructural se lo usa en aplicaciones de partes y piezas de grandes y pequeñas máquinas; su uso más común es para proteger el acero de la corrosión al estar expuesto a la atmósfera o a su vez sumergido en líquido.

A esto se le aumenta que en la gran mayoría de sus usos se toma en cuenta su bajo peso que es una característica importante del Mg; en cuanto a la maquinabilidad el Mg es un metal de fácil maquinado lo que da como resultado un menor tiempo de maquinado.

El Mg se lo usa en varias aplicaciones pero como hemos anotado anteriormente la gran mayoría de elementos no actúan solos sino más bien en aleaciones; las cuáles mejoran las propiedades finales de la aleación y haciéndola a esta viable para el uso que se le vaya a dar a la pieza o elemento de máquina que sea fabricado con esta aleación.

Densidad	1.738 g/cm <sup>3</sup> a 20 °C (ref. 1)
Punto de fusión	650 °C (ref. 2)
Punto de ebullición	1 107 °C (ref. 2)
Dilatación térmica	25.2 × 10 <sup>-6</sup> /K (ref. 3)
Calor específico	1.025 kJ/kg · K a 20 °C (ref. 4)
Calor latente de fusión	360-377 kJ/kg (ref. 4)
Calor latente de sublimación	6 113-6 238 kJ/kg a 25 °C (ref. 2)
Calor latente de vaporización	5 150-5 400 kJ/kg (ref. 2)
Calor de combustión	24 900-25 200 kJ/kg
Resistividad eléctrica	44.5 nΩ · m <sup>3</sup>
Estructura cristalina	Hexagonal compacta: $a = 0.32087$ nm; $c = 0.5209$ nm; $c/a = 1.6236$ (ref. 5)
Módulo elástico axial	45 GPa
Módulo elástico al corte	16.5 GPa
Coefficiente de Poisson	0.35

**Figura 11: Propiedades Físicas del Magnesio Puro**

**Fuente:** (Appold, Feiler, Reinhard, & Schmidt, 1985)

#### 2.4.2. Metalurgia de la Aleación

Desde su definición de la metalurgia tenemos que es el conjunto de técnicas para extraer los metales contenidos en los minerales y extraerlos; para la aleación de Al-Cu se deben analizar de donde es decir el proceso de extracción del Al y así mismo del Cu, ya que son los dos principales aleantes de esta aleación.

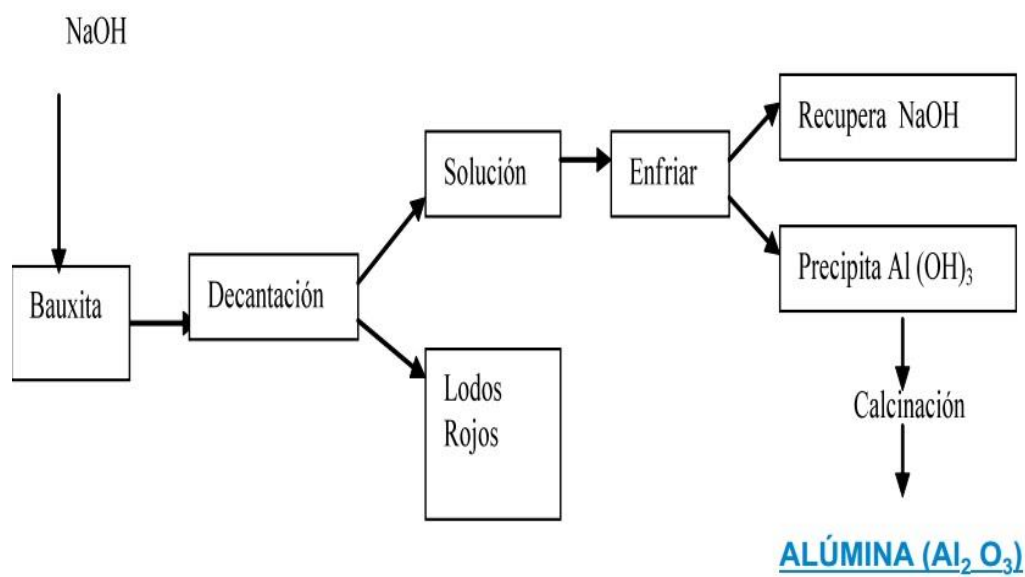
El aluminio así como la gran mayoría de elementos no se encuentra en forma libre en la naturaleza, sino formando parte de los minerales, de los cuales los más importantes son las bauxitas, que están formadas por un 62-65% de alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), hasta un 28% de óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 12-30% de agua de hidratación (H<sub>2</sub>O) y hasta un 8% de sílice (SiO<sub>2</sub>). (Echavarria & Orrego, 2012)

Para el caso del Al como ya se había expuesto anteriormente se lo obtiene del mineral llamado la bauxita, que es un mineral que se lo extrae de

las canteras; y a través de un proceso se obtiene la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ); que es el compuesto para poder realizar la metalurgia del elemento aluminio que se lo obtiene básicamente en dos fases las cuáles vamos a resumir en lo siguiente:

Fase Uno: la separación de la alúmina de la bauxita mediante el proceso Bayer, que comprende los siguientes pasos: se calienta la bauxita para ser deshidratada, enseguida se la pasa en un molino y se la ataca con lejía de sosa caliente y a presión para formar aluminato sódico  $\text{NaOAl}_2\text{O}_3$  que es el compuesto que se separa del resto de componentes de la bauxita y después con una pequeña cantidad de alúmina se inicia la reacción donde se hidroliza el aluminato de sodio dando como resultado alúmina hidratada e hidróxido de sodio y finalmente se quema la alúmina hidratada a una temperatura de  $1200^\circ\text{C}$ , quedando listo el compuesto para la fase siguiente.

Fase Dos: En un baño de criolita se reduce la alúmina disuelta y por electrolisis con electrodos de carbón para obtener finalmente el aluminio puro.



**Figura 12: Proceso metalúrgico del aluminio**

Fuente: (Ronald, 1998)

De este procedimiento se obtiene el dato que para obtener una tonelada de aluminio son necesarias 4 toneladas de bauxita, 80Kgs de criolita, 600Kgs de electrodos de carbón y 22000kw-hora, de donde se deduce que la metalurgia del aluminio es esencialmente electrolítica. (Echavarria & Orrego, 2012)

Hemos realizado la investigación del proceso de la metalurgia del aluminio ahora vamos a realizar lo mismo con el cobre; para el caso de la metalurgia de este elemento tenemos que depender del mineral que sea extraído de la cantera y se dividen en dos casos:

Pirometalurgia: cuando el mineral contiene sulfuros en donde se producen ánodos y cátodos El proceso de producción de cátodos vía pirometalúrgica es el siguiente:

1. Concentración del mineral
2. Fundición (Horno Fusión)
3. Convertidores
4. Afino y Moldeo de ánodos
5. Refinería (Electrorefinería)
6. Cátodo

El mineral de sulfuro de cobre en la mina tiene un contenido entre el 0,5-0,2% de cobre, por lo que hay que concentrarlo en la mina, mediante flotación, para su transporte y uso final en la fundición, obteniéndose un concentrado de cobre que contiene entre 20 y 45% de cobre; el concentrado de cobre se recibe en la Fundición, cuya primera etapa industrial es el Horno de Fusión, donde se recupera el cobre, eliminando el azufre y el hierro mediante oxidación en estado fundido a una temperatura entre 1200 y 1300 ° C. En esta fase líquida el cobre, por su mayor densidad, se deposita en la

parte inferior y se extrae del horno formando parte de un producto que se denomina mata de cobre, con un contenido del 62% de cobre,

La mata de cobre pasa a la sección de convertidores, para incrementar la riqueza en cobre del producto, donde se le somete a una gran oxidación adicional en un proceso discontinuo "batch", consiguiendo un producto intermedio denominado blister con un contenido en cobre del 99%, el blister pasa al horno de afino donde incrementa su contenido en cobre hasta el 99,6% y posteriormente a la rueda de moldeo de ánodos, donde se da a los ánodos la forma geométrica, semejante a una camiseta de mangas cortas extendidas "T-shirt", necesaria para su utilización en la Refinería; los ánodos pasan a la Refinería, que es la fase final del proceso de producción de los cátodos con un contenido del 99,9% de cobre.

Como regla general una Fundición que produzca 310.000Tm/año de ánodos consume 1.000.000 Tm/año de concentrado de cobre y como subproductos produce 900.000 Tm/año de ácido sulfúrico y 300.000 Tm/año de escorias. (José, 1999)

Hidrometalúrgica: Este proceso de producción de cátodos es también conocido como Sx-Ew y es el siguiente:

1. Mineral de cobre
2. Lixiviación
3. Extracción
4. Electrólisis
5. Cátodo

Del mineral de cobre extraído de la mina se lo tritura a tamaños inferiores a 10mm a esta material se lo lixivia (disuelve) mediante una disolución acua de ácido sulfúrico obteniéndose como resultado una solución



de sulfato de cobre; a esta solución se la trata con un reactivo extractante orgánico en un circuito cerrado y a contra corriente que extrae el cobre y permite obtener un electrolito ya con alto contenido de cobre ; la energía eléctrica hace que los iones de cobre presentes en la solución se depositen en los cátodos, de ahí su nombre de electrodeposición, a diferencia del electrorefino, que se realiza al pasar de ánodos de cobre a cátodos.

**Tabla 14**

**Producción Mundial de Cobre Refinado**

Expresado en millones de Tm de cobre				
	1990	2000	2005 (E)	2010 (E)
<b>Pirometalúrgica</b>	10,2	12,5	14,5	17,0
<b>Hidrometalúrgica</b>	0,6	2,3	3,0	3,7
<b>Producción Total</b>	10,8	14,8	17,5	20,7

**Fuente:** (José, 1999)

La metalurgia de una aleación sea cual sea esta se basa en el proceso que se haya utilizado para obtener la misma y dicho proceso puede ser no solamente la fundición a pesar que es el más utilizado para el caso de mejorar las propiedades tanto mecánicas como físicas de una aleación; para realizar el análisis metalúrgico de una aleación no se basa en el proceso por el cual se la haya obtenido sino en el resultado de ella; a partir de esto se hace el análisis de los cambios de fases mediante un diagrama que representa la temperatura, la presión y la composición de dicha aleación.

El diagrama de fase son representaciones gráficas de las condiciones termodinámicas de equilibrio es decir donde sus propiedades no cambian con el tiempo a menos que se ejerza una alteración externa como cambios de temperatura, aplicación de fuerzas externas, etc.

En sistemas binarios pueden coexistir tres fases produciendo una condición invariante denominada punto triple; dos fases producen una condición univariante es decir una línea y finalmente una fase bivariante denominada la zona de equilibrio; estos puntos invariantes tienen los siguientes nombres:

**Tabla 15**  
**Nombres de fases invariantes**

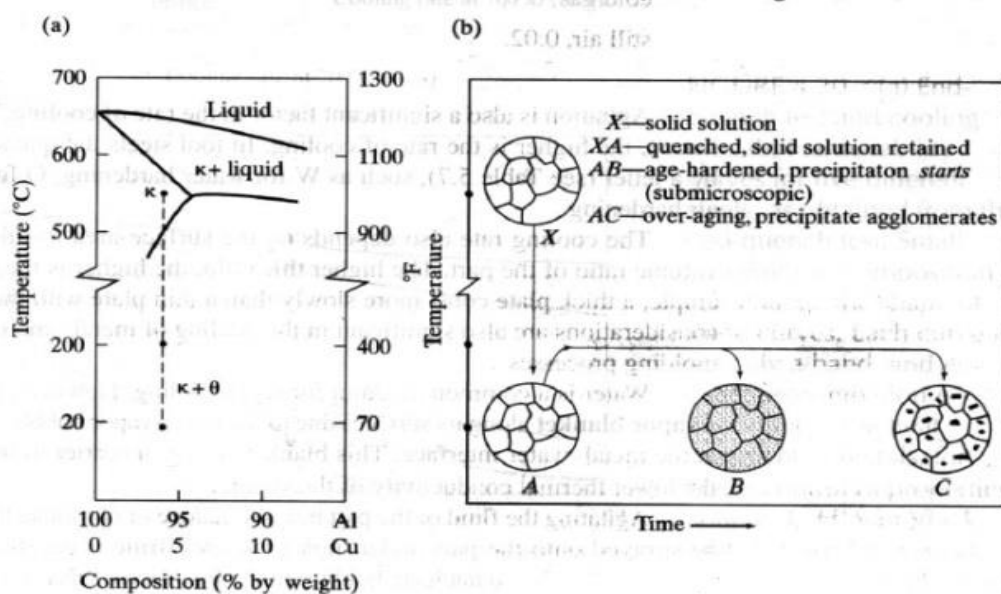
• Sólido $\alpha$ + Sólido $\beta$ Líquido	EUTÉCTICO
• Sólido $\alpha \leftrightarrow$ Sólido $\beta$ + Líquido	PERITÉCTICO
• Sólido + Líquido 1 $\leftrightarrow$ Líquido 2	MONOTÉCTICO
• Sólido $\leftrightarrow$ Líquido 1 + Líquido 2	SINTÉCTICA
• Sólido $\alpha$ + Líquido $\leftrightarrow$ Sólido $\beta$	METATÉCTICO
• Sólido $\gamma$ + Sólido $\beta \leftrightarrow$ Sólido $\alpha$	EUTECTOIDE
• Sólido $\gamma \leftrightarrow$ Sólido $\beta$ + Sólido $\alpha$	PERITECTOIDE
• Sólido $\beta$ + Sólido $\alpha_2 \leftrightarrow$ Sólido $\alpha_1$	MONOTECTOIDE

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

Por ende vamos a realizar el análisis del diagrama de fases del Al-Cu en sus distintas fases; en la figura 14 se presenta el diagrama en forma general de esta aleación con las variables temperatura versus composición química de cada elemento tanto del aluminio como del cobre, donde se pueden identificar claramente las fases sólida y líquida y además de esto la línea donde se mantienen los dos elementos separados al porcentaje de 95% de Al y 5% de Cu.

A medida que va aumentando la temperatura se van fundiendo en un

solo elemento cuando han superado la temperatura de 550°C hasta llegar a la temperatura de cambio de fase; donde a medida que la temperatura sobre pasa los 600°C donde la aleación llega al estado líquido, como lo muestra el diagrama de fases.



**Figura 13: Diagrama de fases Al – Cu**

**Fuente:** (Askeland D. , 1998)

En la figura se nota la porción rica en Al y la línea punteada representa la línea de solvus. Como se había anotado anteriormente en la serie 2XXX existen diferentes variantes acorde al porcentaje de composición del elementos aleante principal pero para el caso de nuestro estudio nos vamos a centrar en la serie 2024 que es el conocido comercialmente como DURALUMINIO.

La figura 13 nos muestra la metalografía de la aleación 2024 moldeada en arena, con una composición del 95% de Aluminio y el 5% de Cobre con un zoom de 200X, esta es la metalografía que debemos obtener en nuestra fundición o una cercana a esta que será comparada con las fotos normalizadas

ya que lo que debemos obtener es una imagen de microestructura que este dentro de la serie 2XXX, es decir no necesariamente esta imagen ya que la ponemos como un ejemplo demostrativo de cómo se visualiza la microestructura en un DURALUMINIO.



**Figura 14: Metalografía del Al 95% y Cu 5%**

**Fuente:** (ASM, 1992)

### **2.4.3. Propiedades mecánicas de la aleación**

Estas propiedades vienen dadas por la composición química de la aleación cuando llega a la temperatura de colada donde se toma ya el nombre de la aleación cuando la colada se solidifica y para determinar estas propiedades se realizan varias pruebas como elongación, esfuerzo a la tensión, dureza y estas deben cumplir con la norma ASTM B-211; de acuerdo a esta norma se tienen los siguientes datos para el DURALUMINIO.

Tomando en cuenta que se toman todos los datos de la serie 2XXX ya que es donde se encuentra al Cu en mayor porcentaje en la aleación con sus diferentes variantes acorde a la forma como se enfría o llamando también el tratamiento térmico utilizado es el motivo por el cuál varían las series pero en

si todas las series están dentro del grupo de los DURALUMINIOS.

**Tabla 16**  
**Propiedades Mecánicas de la serie 2XXX**

Temper	Specified Diameter or Thickness, in.	Tensile Strength, ksi		Yield Strength <sup>B</sup> (0.2 % offset), min, ksi	Elonga- tion <sup>B</sup> in 2 in. or 4 × Diam- eter, min, %
		min	max		
Alloy 2011					
T3	0.125–1.500	45.0	...	38.0	10
	1.501–2.000	43.0	...	34.0	12
	2.001–3.500	42.0	...	30.0	12
T4 and T451 <sup>D</sup>	0.125–8.000	40.0	...	18.0	16
T6 and T651	0.375–6.500	54.0	...	40.0	10
T8	0.125–3.250	54.0	...	40.0	10
Alloy 2014 <sup>E</sup>					
O	0.124 and under	...	35.0	...	...
	0.125–8.000	...	35.0	...	12
T4, T42 <sup>F</sup> , and T451 <sup>D</sup>	0.124 and under	55.0	...	...	...
	0.125–8.000 <sup>G</sup>	55.0	...	32.0	16
T6, T62 <sup>F</sup> , and T651 <sup>D</sup>	0.124 and under	65.0	...	...	...
	0.125–8.000 <sup>G</sup>	65.0	...	55.0	8
Alloy 2017 <sup>E</sup>					
O	0.124 and under	...	35.0	...	...
	0.125–8.000	...	35.0	...	16
T4, T42 <sup>F</sup> , and T451 <sup>D</sup>	0.124 and under	55.0	...	...	...
	0.125–8.000 <sup>H</sup>	55.0	...	32.0	12
Alloy 2024 <sup>E</sup>					
O	0.124 and under	...	35.0	...	...
	0.125–8.000	...	35.0	...	16
T36	0.124 and under	69.0	...	...	...
	0.125–0.375	69.0	...	52.0	10
T4 <sup>I</sup>	0.124 and under	62.0	...	...	...
	0.125–0.499	62.0	...	45.0 <sup>J</sup>	10
	0.500–4.500 <sup>G</sup>	62.0	...	42.0 <sup>J</sup>	10
	4.501–6.500 <sup>J</sup>	62.0	...	40.0	10
	6.501–8.000 <sup>J</sup>	58.0	...	38.0	10
T42 <sup>F</sup>	0.124 and under	62.0	...	...	...
	0.125–1.000	62.0	...	40.0	10
	1.001–6.500 <sup>G</sup>	62.0	...	40.0	10
T351 <sup>D</sup>	0.500–6.500 <sup>G</sup>	62.0	...	45.0	10
	6.501–8.000	62.0	...	45.0	9

**Fuente:** (Norma ASTM, 2009)

Acorde a esta tabla la resistencia a la tracción de estas aleaciones van desde 310 Mpa (45ksi) como valor mínimo a 476 Mpa (69 ksi) como valor máximo; y la elongación en 2 pulgadas va del 9% al 16% como mínimo; la dureza de estas aleaciones es de 92HB según la norma ASTM; estas son las propiedades que nos da la norma y las que debemos cumplir o llegar a obtener

en el resultado de nuestra fundición o si es posible mejorarlas con un adecuado control de la fundición para que el resultado sea el que esperamos; en el análisis de estos datos tenemos como conclusión que estamos frente a un material muy resistente y que por eso es usado en diferentes aplicaciones especiales de la ingeniería ya que va acompañado con su peso ligero y maquinabilidad ligera.

## **2.5 TECNOLOGÍA ACTUAL PARA LA OBTENCIÓN DEL DURALUMINIO**

### **2.5.1. Metodología para la obtención del Duraluminio**

Actualmente en el Ecuador se ha buscado en empresas o fábricas que tengan el proceso para la obtención del DURALUMINIO y es lamentable que no existe en nuestro medio en ninguna empresa el proceso para la fabricación de este importante material que es usado en aplicaciones de alta tecnología y sobre todo en lo más avanzado del uso de materiales en cuestión de alta resistencia y bajo peso que es requerido; lo que se encuentra en cada empresa cuando se tiene acceso al gerente es que es posible realizar la fundición basándose en la norma; claro está que no en todas ya que en la gran mayoría dicen tener el proceso para el aluminio común sin estar registrando normas sino más bien es un proceso empírico de obtención de aluminio a través de chatarra.

Debido a este factor es que nos hemos planteado la obtención de DURALUMINIO en nuestro medio y es lo que estamos haciendo un proceso para que sea obtenido a través o en base de chatarra o a su vez mediante la materia prima que se encuentra en el mercado; dicho proceso es el desarrollo de la tecnología y entre los objetivos fundamentales esta bajar el precio de la importación de este material.

En algunas tiendas donde se importan materiales para la industria se

encuentra el DURALUMINIO, pero luego de las respectivas pruebas de laboratorio se deduce que no es realmente el DURALUMINIO; sino más bien es la aleación de Al-Zn, que comercialmente se la conoce como la 7075; concluyendo que el mercado local no nos venden realmente DURALUMINIO.

### **2.5.2. Empresas importadoras de Aluminios en general**

Luego de buscar las empresas importadoras de metal tanto en Guayaquil, Quito y Loja se encontró que las empresas más grandes importadoras de materiales para la industria y en específico de Aluminio y sus aleaciones tenemos a las siguientes:

- IVAN BOHMAN, CA
- ACEROS INDUSTRIALES HGB
- MILVICON CIA. LTDA.

En pequeñas empresas ni siquiera se tiene pendiente el nombre del DURALUMINIO; y en las grandes empresas nos venden otra especificación a la que estamos pidiendo; en la lista tenemos las grandes empresas importadoras de las tres dos de ellas vende el 7075 como Duraluminio y una de ellas MILVICOM CIA. LTDA., no importa este tipo de material.

### **2.5.2. Material disponible en el mercado como Duraluminio**

Como la empresa IVAN-BOHMAN es la empresa más grande importadora de materiales para la industria en general y entre estos el aluminio nos acercamos a esta en la ciudad de Quito a la oficina ubicada en el sur de la ciudad en la avenida Mariscal Sucre en el sector de San Bartolo a comprar el DURALUMINIO en barra cilíndrica con las siguientes especificaciones técnicas que nos facilitaron en la misma empresa.

Cabe mencionar que este material ellos lo venden como el Duraluminio PRODAX; que es una fundición que es realizada por el Instituto Asteco en la ciudad de Medellín – Colombia y esta empresa es la que lo importa al mercado nacional para ser vendido equívocamente como Duraluminio; lo cual causaría graves inconvenientes si a este material se lo usaría en aplicaciones extremas dando como resultado la falla del elemento.

### 2.5.3. Propiedades de este material

De acuerdo a la hoja técnica facilitada tenemos la siguiente composición química ya que es lo único que se encuentra en esta hoja; los datos de propiedades mecánicas como tracción, dureza y propiedades metalográficas las vamos a obtener con los respectivos ensayos de laboratorio; y claro está que también vamos a realizar el ensayo de composición química para estar seguros que los datos proporcionados son reales.

Extent of delivery				Heat No	Manufacture
Item	Pcs	Kg	Dimension		
24	2	162	100 mm	A172356	L401685 01 01

Principal chemical composition			
Cu	Al	Zn	Mg
2.0	89.7	6.0	2.3

<b>UDDEHOLM</b> 2 Nykvisst. Gustafsgatan E Nykvisst. P. Bengtsson, A. Lundgren Uddeholm AB S-141 86 ALUMEC 89 BARS Ipitation hardened	Order No <b>2725594-24</b> Order Date <b>2014-08-11</b> Order/Prod. Collection Building <b>2014-05/</b>	EN 10 204 - 2.1 Compliance with the order Identitätsnrvg. Werksbescheinigung Seriennummer: 140168501 11045947-000010-900001 <b>37129/14</b>
Manufacturer <b>IVAN BOHMAN, CA</b> KM 6.5 VIA A DAULE EC-9999 GUAYAQUIL, ECUADOR	Manufacturer <b>IVAN BOHMAN, CA</b> KM 6.5 VIA A DAULE EC-9999 GUAYAQUIL, ECUADOR	

\* copies of certificates for all materials furnished are kept on file  
 \* certified that the material has been manufactured and inspected according to order conditions  
 \* wir bestätigen, dass die Lieferung gemäß Bestellbedingungen hergestellt und prüfungsgemäß war

**UDDEHOLM AB**  
 S-141 86 ALUMEC 89 BARS, SWEDEN  
 uddeholm.se

**TELEFON**  
 INT + 46 563 370 00  
 INT + 46 563 370 00

**TELEFAX**  
 NAT 563 374 60  
 INT + 46 563 374 60

100% ISO 9001  
 100% ISO 9001

*Evalytor*

Figura 15: Composición química del Aluminio – PRODAX

Fuente: (STOCK)



Como podemos ver en el informe proporcionado por la empresa IVAN BOHMAN, CA; la composición química de este material vendido como DURALUMINIO no cumple con la norma ASTM B-211, ya que iniciando el Zn es el principal aleante de esta aleación con un 6% y con este dato podemos concluir que estamos en la serie 7XXX en la cual el principal aleante si es el Zn, pero la norma nos dice que en el DURALUMINIO el principal aleante es el Cu y acorde a estos datos el Cu está presente en un 2%; por lo tanto podemos concluir que no se trata del material que estamos buscando; para concluir con pruebas vamos a realizar los diversos ensayos de laboratorio y poder certificar que en nuestro mercado no se vende DURALUMINIO sin un aluminio de la serie 7XXX o más conocido comercialmente como el 7075.

## **2.6. ENSAYOS DE LABORATORIO**

Los ensayos que se deben realizar para obtener las propiedades tanto mecánicas como químicas del material son las siguientes, las cuáles son de acuerdo a la norma ASTM que nos indica que es necesario un ensayo de análisis químico y un ensayo de tracción.

### **2.6.1. Ensayo de análisis de composición química**

Este ensayo consiste en realizar un análisis de los porcentajes de elementos presentes en una aleación y para ello existen algunos métodos que son utilizados al momento de requerir este ensayo en alguna investigación; como en todo se siguen normas y la muestra para el análisis químico debe ser tomada de acuerdo a la norma ASTM E 255 que nos manda a tomar una pequeña muestra de al menos 150 gramos del producto final.

La muestra debe ser tomada de tal manera que se evite todo tipo de contaminación como puede ser grasas u óxidos debido a la herramienta de corte para obtener la muestra; la preparación analítica de la muestra es responsabilidad del laboratorio que va a estar encargado del análisis químico.

De igual manera, el método utilizado para realizar el ensayo de análisis químico queda a discreción del mismo laboratorio.

### **Muestreo**

La broca, sierra, cortador o cualquier otra herramienta utilizada para extraer la muestra debe ser limpiada apropiadamente y con anterioridad. La velocidad de corte debe ser regulada para evitar calentamiento excesivo y cualquier tipo de oxidación consecuente al calor generado. Las herramientas comúnmente recomendadas son aquellas que tengan punta de carburo. En el caso de usarse herramientas de acero, deben ser magnetizables para ayudar con la extracción de partículas extrañas de hierro. Solo si el metal tuviese una fase magnética, las herramientas a utilizarse son las de punta de carburo.

Las piezas de ensayo deben estar limpias y libres de escala, suciedad, aceite, grasa, o cualquier contaminante extraño antes del muestreo.

Diferentes partes de una fundición pueden variar en su composición. Es por ello que una muestra de una única fundición debe ser tomada con precaución. Si es posible, dependiendo del tamaño y configuración de la fundición, la muestra debe ser tomada perforando cinco agujeros igualmente espaciados en forma circular o a lo largo de la misma. La perforación se la debe realizar en seco y el tamaño debe ser la mayor a  $\frac{1}{4}$  de pulgada. Si el tamaño o la forma es una limitación, la muestra debe ser tomada fresando la fundición a lo largo de su sección transversal o perforando la fundición en diferentes puntos.

### **Preparación de la Muestra**

La muestra para el ensayo debe ser una mezcla de masas iguales de las perforaciones, fresadas o cortes que se le realizó a la fundición. El material

que se oxida con rapidez o que varía su composición con cambios atmosféricos, debe ser almacenado con gases de protección, como con nitrógeno.

La preparación de la porción de muestra para el ensayo varía según el método que se vaya a utilizar y es responsabilidad del laboratorio que reporte dicho método.

### **Métodos de Análisis Químico**

- **Espectrometría de absorción:** es una variedad de técnicas que emplean la interacción de la radiación electromagnética con la materia. En este tipo de espectrometría, se compara un haz de luz previamente medido con el mismo medido después de interactuar con un objeto o una muestra. La transmisión se refiere a la dirección de viaje del haz de luz medido antes de la absorción; y remisión se refiere al haz de luz medido después de la absorción. En la transmisión, el haz se dispersa desde la muestra hacia un detector que se encuentra en el lado opuesto de ésta. En cambio, en la remisión, el haz se dispersa desde la muestra hacia un detector que se encuentra en el mismo lado de la muestra. La radiación que se remite puede estar formada por dos clases: reflexión especular y reflexión difusa.

Técnicamente, se basa en la absorción de fotones por una o más sustancias presentes en una muestra, que puede ser sólida, líquida o gaseosa, y la promoción subsiguiente del electrón o electrones desde un nivel de energía a otro. La espectrometría de absorción se utiliza no solo para determinar la composición química de la muestra, sino también las concentraciones relativas de los componentes de la misma. (Espectrometría)

- **Espectrometría de emisión óptica:** con la aplicación de esta técnica se puede determinar con exactitud la composición química de distintos

metales, entre ellos aceros, fundiciones de hierro, metales no ferrosos como aluminio y cobre. Con la espectrometría se logra obtener todos los elementos que forman parte de la aleación y el porcentaje de cada uno de ellos, permitiendo un control de calidad de precisión. El método consiste en evaporizar la muestra y analizar las chispas que se forman en este proceso. Se desprenden átomos e iones que emiten luz, la cual es transmitida al sistema óptico del espectrómetro. Esta luz se mide mediante detectores eléctricos fotosensibles, que convierten la luz en cargas eléctricas. Mediante esta chispa, los electrones de cada elemento son excitados y generan una determinada longitud de onda que es medida. Es considerado uno de los métodos más exactos. (Espectrometría)

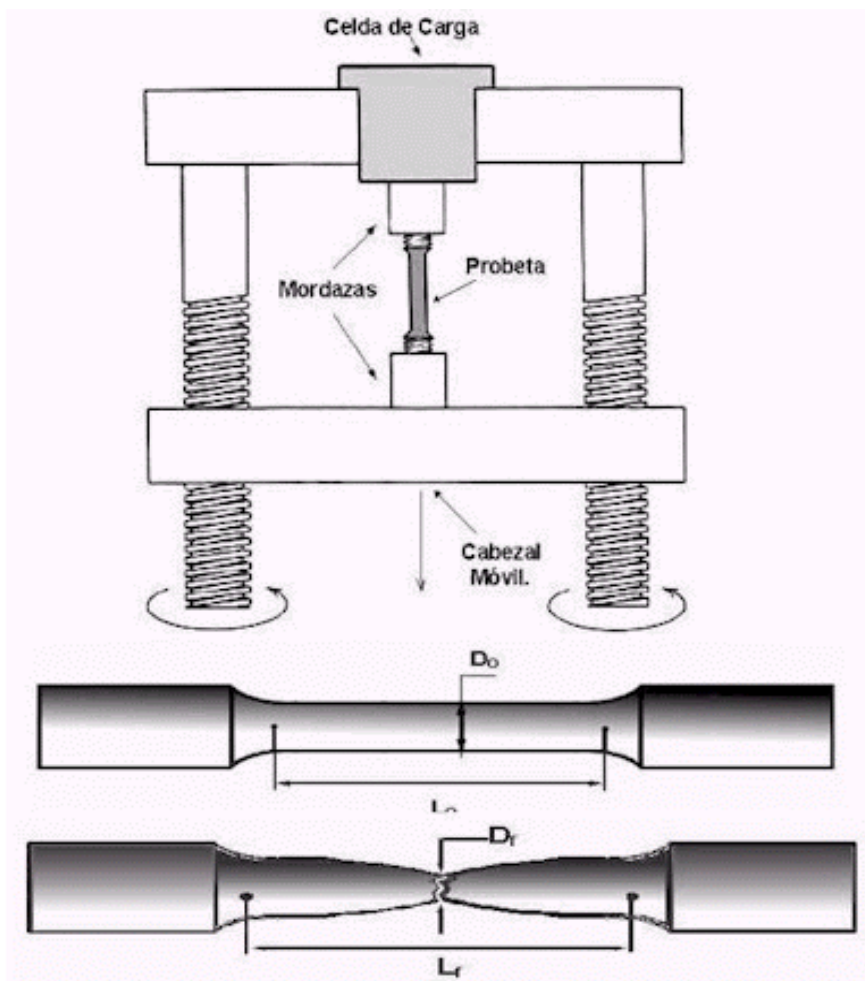
- **Difractometría de Rayos X:** este método permite determinar la composición química de materiales cristalinos, que pueden ser metálicos o cerámicos. Esta es una técnica cualitativa con la que se puede saber con exactitud el tipo de compuesto y el estado cristalino que posee. Es un método que se emplea con frecuencia para composición de minerales, productos de corrosión, productos industriales cristalinos, etc. (Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (ICMA))
- **Fluorescencia de Rayos X:** cuenta con un equipo portátil que determina, con bastante aproximación, la composición de aleaciones metálicas. La ventaja de este método es la rapidez con la que se efectúa el ensayo y es posible realizarlo en el área de trabajo, no específicamente en un laboratorio. En este método se detecta los rayos X característicos de cada elemento, que son producidos por distintas fuentes de energía. Los estándares utilizados para este método son varios, los cuales dependen de la fuente de energía que se va a utilizar. (UNED)

## 2.6.2. Ensayo de Tracción

El ensayo de tracción es el ensayo más importante para determinar las propiedades mecánicas de un material. Se lo realiza para conocer el comportamiento que van a tener las diferentes partes o elementos de máquina, contruidos con el material a ensayarse, cuando van a soportar fuerzas o cargas estáticas.

Esta práctica se la realiza en la Máquina Universal de Ensayos. El ensayo consiste en someter un esfuerzo creciente hasta provocar la ruptura de probetas normalizadas, hechas del material que se requiere realizar el estudio. Se lo puede realizar a temperatura ambiente o en caliente. Lo que provoca la carga aplicada sobre la probeta es un alargamiento axial de la misma hasta provocar que se rompa. A su vez hay una disminución de la sección transversal en la zona cercana a la ruptura. (Kerguignas & Caignaert, 1980)

Esta máquina somete esfuerzos longitudinales a la probeta por medio de dos mordazas, que la sujetan de los extremos. Por lo general, estas máquinas trazan simultáneamente el diagrama de tracción mientras se va ejerciendo la carga.



**Figura 16: Principio del Ensayo de Tracción**

Fuente: (ASM, 1992)

Estos diagramas son la representación gráfica del comportamiento del material en coordenadas cartesianas, que relacionan las cargas o fuerzas ( $F$ ), o las tensiones o esfuerzos unitarios ( $\sigma$ ) y el alargamiento ( $\Delta L$ ) o el incremento de longitud unitaria ( $\epsilon$ ) que se provoca en la probeta. (Kerguignas & Caignaert, 1980)

El esfuerzo unitario es el esfuerzo que soporta el material por unidad de área:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

$\sigma$  = esfuerzo unitario

$F$  = carga aplicada

$A$  = sección transversal

El alargamiento unitario es la relación entre el alargamiento de la probeta y la longitud inicial:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_o} * 100 = \frac{L_u - L_o}{L_o} * 100$$

Donde:

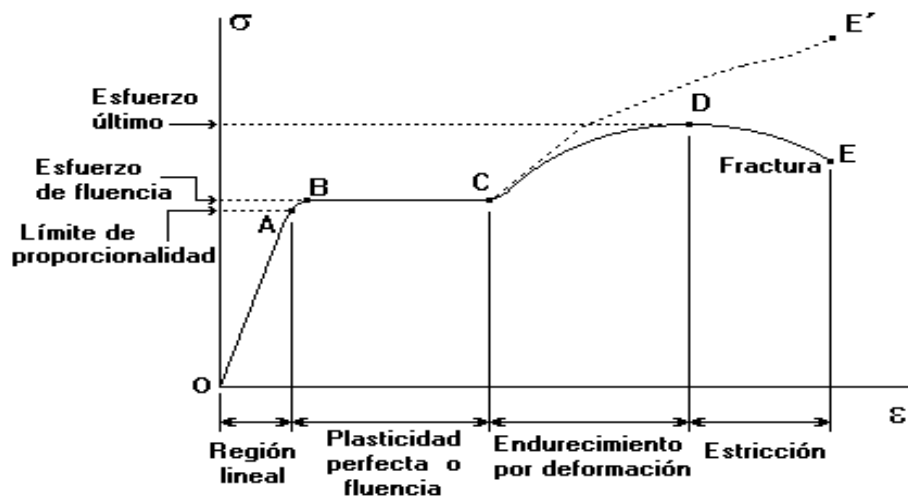
$\varepsilon$  = alargamiento unitario

$\delta$  = alargamiento de la probeta

$L_o$  = longitud inicial

$L_u$  = longitud final

Un diagrama de esfuerzo vs deformación viene a ser la curva resultante con valores de esfuerzo y la correspondiente deformación unitaria que sufre la probeta durante el ensayo.



**Figura 17: Diagrama Esfuerzo vs Deformación**

**Fuente:** (Appold, Feiler, Reinhard, & Schmidt, 1985)

- A. El límite de proporcionalidad: va desde el origen hasta el punto: Límite de Proporcionalidad. Este es un segmento rectilíneo. Llegado a este punto, la deformación deja de ser proporcional a la tensión. Esta línea permite obtener la relación de proporcionalidad entre la tensión y la deformación, conocida como la Ley de Hooke. La pendiente de esta recta permite calcular el módulo de elasticidad de un material o módulo de Young. Para el cobre y sus aleaciones, esta línea no es una recta, ya que va disminuyendo la pendiente conforme aumenta el esfuerzo. Es por ello que el módulo de elasticidad para estos materiales no está bien definido.
- B. Límite de elasticidad o límite elástico: a partir de este punto, el material no recupera totalmente su forma original cuando la carga es retirada. Si se sigue aplicando carga sobre la probeta, se da paso a la etapa de fluencia.
- C. Esfuerzo de fluencia: aparece un alargamiento considerable de la probeta sin que varíe mayormente el esfuerzo aplicado, que en ciertas ocasiones puede disminuir mientras continua la fluencia. La fluencia es una



característica esencial de los aceros, que no siempre aparece en otros materiales.

- D. Esfuerzo último: es el esfuerzo máximo que llega a soportar la probeta. Desde el punto anterior hasta este, se genera un endurecimiento del material por deformación hasta llegar a su punto más alto.
- E. Esfuerzo de ruptura: es el esfuerzo que se genera el momento en que ocurre la ruptura del material. (Appold, Feiler, Reinhard, & Schmidt, 1985)

Un diagrama de esfuerzo deformación varía su forma según el material y su naturaleza, es decir si es dúctil o frágil.

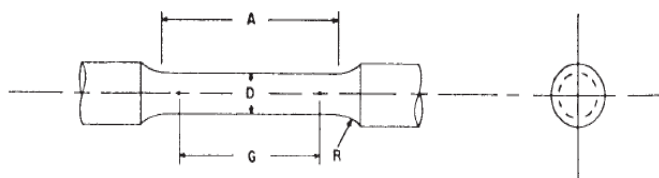


**Figura 18: Diagrama esfuerzo-deformación para material dúctil y frágil**

**Fuente:** (Askeland D. , 1998)

Las probetas que se van a utilizar para este ensayo deben cumplir los parámetros de la norma ASTM B208; las cuáles están formadas por una parte central circular y dos extremos de mayores dimensiones que el cuerpo central, los cuales sirven para ser sujetados por las mordazas de la máquina y evitar que se deslicen sobre la probeta. No es estrictamente necesario fundir las probetas siempre y cuando las probetas cumplan con las medidas

especificadas; estas dimensiones, según la norma ASTM B208, se presentan en la siguiente figura:



Nominal Diameter	Dimensions				
	Standard Specimen		Small-Size Specimens Proportional to Standard		
	in.	in.	in.	in.	in.
	0.500	0.350	0.250	0.160	0.113
G—Gage length	2.000 ± 0.005	1.400 ± 0.005	1.000 ± 0.005	0.640 ± 0.005	0.450 ± 0.005
D—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.350 ± 0.007	0.250 ± 0.005	0.160 ± 0.003	0.113 ± 0.002
R—Radius of fillet, min	3/8	1/4	3/16	5/32	3/32
A—Length of reduced section, min Note 2 )	2 1/4	1 3/4	1 1/4	3/4	5/8

**Figura 19: Probeta Redonda de 0.500 in Estándar para Pruebas de Tensión**

**Fuente:** (ASTM, 2000)

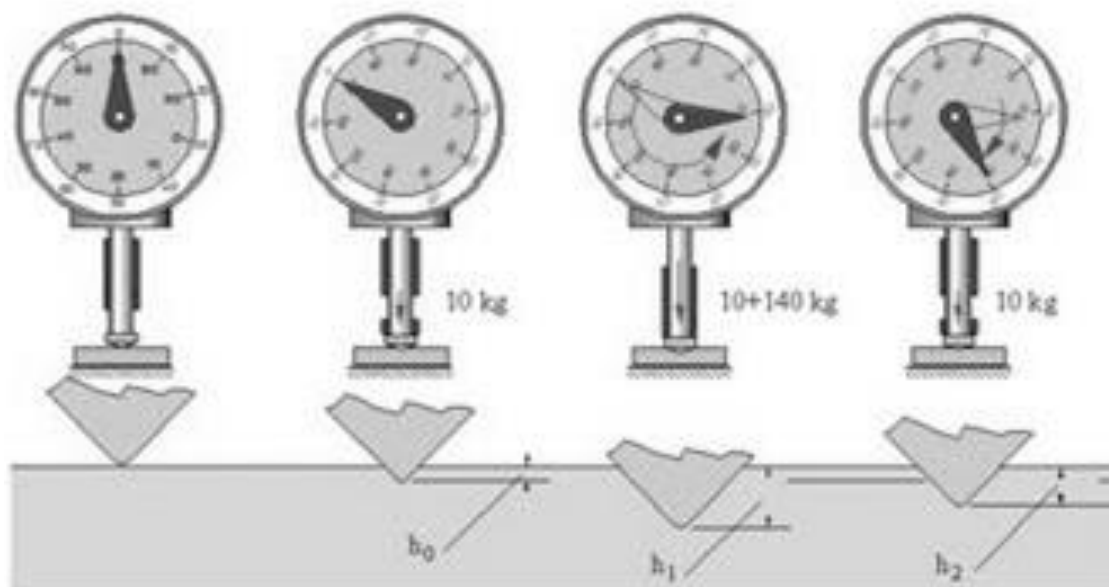
La probeta, que es una barra cilíndrica, normalmente esta rectificadas y maquinadas previo al ensayo. La sección transversal reducida debe ser rigurosamente constante, con un diámetro (D) de 0.5 pulgadas y una longitud (A) mínima de 2 1/4 de pulgada, pudiendo ser de mayor longitud si fuera necesario. La longitud calibrada (G) debe ser estrictamente de 2 pulgadas, así la longitud (A) sea mayor que el mínimo especificado.

### 2.6.3. Ensayo de Dureza

La dureza de un material es la resistencia superficial a ser deformado, es decir la resistencia que tiene un material a ser penetrado por otro más duro. Es una propiedad compleja y está determinada por la estructura cristalina. Los métodos más utilizados en la actualidad para determinar esta propiedad son los métodos Brinell, Vickers y Rockwell, los cuales se diferencian por la forma del penetrador.

### Método Rockwell:

La diferencia de este método con los demás es su penetrador, que es un cono de diamante de  $120^\circ$ . Es utilizado principalmente para medir la dureza de aceros templados. Su símbolo es HR. Se utiliza una fuerza previa de 98N para comprimir el cono de diamante sobre una superficie plana y lisa. Transcurrido esto, se coloca el reloj comparador en la marca 100 y se carga el cono con una fuerza adicional de 1371N. En el reloj comparador puede leerse el valor de la fuerza. Después de aplicar carga, queda sobre la superficie una huella permanente. Si la profundidad de la huella es 0.2 mm, se toma  $HR = 0$ . El valor de la dureza es 100 cuando la profundidad es 0 mm. Cada 0.002 mm son una unidad Rockwell. (Appold, Feiler, Reinhard, & Schmidt, 1985)



**Figura 20: Principio del Ensayo de Dureza Rockwell**

**Fuente:** (Askeland D. , 1998)

Para la designación de este método solo es necesario el grado de dureza Rockwell seguido por HR.

No existe un método general apropiado para convertir el grado de dureza Brinell a otras escalas de dureza. Dichas conversiones son aproximaciones las cuales deben ser evitadas salvo el caso en el cual se haga los diferentes métodos para el mismo material.

#### **2.6.4. Ensayo Metalográfico**

La metalografía permite conocer las características estructurales y cómo está constituido un metal y sus aleaciones, y poder relacionarlas con las propiedades mecánicas, físicas y químicas del mismo. Por medio de este ensayo se puede determinar el tamaño de grano, distribución de fases, inclusiones, cavidades, escorias, entre otros factores que de cierta forma llegan a modificar las propiedades mecánicas de la aleación.

Los procedimientos que se realizan en un ensayo metalográfico son la extracción, preparación y ataque químico de la muestra, antes de observarla en un microscopio. Las probetas para análisis metalográfico deben ser extraídas de grandes masas preferentemente con sierra metalográfica, que tiene gran caudal de refrigerante para evitar el sobrecalentamiento de la muestra, o simplemente con herramientas de corte como sierra manual o máquina con lubricación, disco abrasivo o cizalla. Estas herramientas se las debe mantener lo más afiladas posibles, para evitar el trabajo en frío del material y una posible modificación en su estructura cristalina.

Los tamaños por conveniencia de las muestras a ser pulidas son cuadrados de 12 a 25 mm de lado, o de 12 a 25 mm de diámetro si la muestra es cilíndrica; y la altura no tiene relevancia siempre y cuando sea cómoda para sostenerla durante el pulido que es normalmente de forma manual.

Las aleaciones de cobre son extremadamente susceptibles al endurecimiento por trabajo, es por ello que en lo posible, la cara que se va a usar para ser examinada debe ser la que menos ha sufrido cortes. La práctica común consiste en realizar un desbastado superficial grueso para remover el

metal que ha sufrido trabajo en frío, y progresivamente afinar el desbastado; el cuál por lo general se realiza con lijas de agua con tamaño de grano de 100, 240, 320, 400 y 600. Hay veces que se utiliza las ultrafinas de 800, 1200 y 1500. Se finaliza con un pulido con alúmina sobre un paño para pulir.

Después del pulido metalográfico es necesario un ataque químico, el cual depende del tipo de material principalmente. Se lo hace por inmersión o con algodón con el líquido escogido por la región pulida a ser observada; la norma utilizada para este ataque es la ASTM E407.

**Tabla 17**

**Reactivos y procedimientos para ataque químico del aluminio.**

Etchant	Composition	Procedure
1	1 ml HF 200 ml water	(a) Swab with cotton for 15 seconds. (b) Alternately immerse and polish several minutes. (c) Immerse 3 to 5 seconds. (d) Immerse 10 to 120 seconds.
2	1 g NaOH 100 ml water	(a) Swab 10 seconds to reveal general structure. (b) Immerse 15 min. wash 10 min. in water to form film with hatching which varies with grain orientation.
3	2 ml HF 3 ml HCl 5 ml HNO <sub>3</sub> 190 ml water	(a) Immerse 10 to 20 sec. Wash in stream of warm water. Reveals general structure. (b) Dilute with 4 parts water — colors constituents — <i>Mix fresh.</i>
4	25 ml H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 50 ml Carbitol (diethylene glycol monoethyl ether) 4 g boric acid 2 g oxalic acid 10 ml HF 32 ml water	Electrolytic: Use carbon cathode raising d-c voltage from 0 to 30 V in 30 sec. Total etching time 3 min. with agitation. Wash and cool. Repeat if necessary.

Metal	Etchants	Uses
Aluminum base:		
Pure Al	1a, 2, 3 4, 5 1b	general structure grain structure under polarized light grain boundaries and slip lines
1000 series	1a, 3, 2 4, 5 6, 7	general structure grain structure under polarized light phase identifications
2000 series	3, 2, 1a 8a, 6, 7	general structure phase identifications
3000 series	3, 1a 4, 5 8a, 6, 7	general structure grain structure under polarized light phase identifications
4000 series	3, 1a	general structure
5000 series	3, 1a, 2, 6, 8a 4, 5	general structure grain structure under polarized light
6000 series	3, 1a, 2, 6, 8a 4, 5	general structure grain structure under polarized light
7000 series	1a, 2, 7, 6, 8a 3, 1a, 2 4, 5 3b, 6	phase identifications general structure grain structure under polarized light phase identifications

\* Etchants are listed in order of preference when more than one is given for a specific use. Table II gives composition and procedure for individual etchants

Fuente: (ASM, 1992)

Después del ataque químico, se lleva la muestra al microscopio, que es el principal instrumento para la realización de un ensayo metalográfico. Es posible observar la muestra con aumentos que van desde 5x hasta 2000x, dependiendo su capacidad. (ASM, 1992)

## **2.7. PROCESOS DE FUNDICIÓN**

La fundición es el proceso más antiguo que existe para dar forma a un material después del forjado que es un proceso no exacto y mucho más complicado; en la fundición se obtienen piezas a la medida deseada y sobre todo en menor tiempo que el forjado; la fundición se basa en fundir los metales hasta obtener una colada y esa verterla en un molde para que se solidifique y luego de un proceso de enfriamiento que puede ser inducido o al ambiente obtener la pieza deseada.

El molde utilizado para el colado generalmente se lo hace en arena, que se obtiene a través de un apisonado manual o mecánico alrededor de un modelo que previamente se lo diseña o suele ser de madera por la facilidad de su fabricación; este modelo se lo extrae antes de realizar el colado del metal fundido.

En este proceso de fundición se pueden fabricar piezas de diferentes tamaños desde pequeñas piezas hasta grandes piezas; es por eso que este método es el más sencillo para la fabricación de piezas que en otros métodos o procesos sería imposible de obtenerlas como la forja, laminación, soldadura, etc.

Los procesos de fundición se clasifican e acuerdo al tipo de molde que se vaya a usar y estos pueden ser moldes permanentes o moldes desechables; el proceso en molde desechable quiere decir que se debe romper el molde para sacar la pieza fundida, este proceso implica que se pierde tiempo en el moldeo hasta obtener el molde y el tiempo de fundición es

relativamente bajo es por eso que se lo utiliza para piezas que no son fabricadas en línea sino más bien para piezas específicas; en cambio en el proceso con molde permanente que es fabricado de un material duro, permite que el proceso hasta obtener la pieza final sea mucho más bajo y es por eso que se lo utiliza cuando se fabrican piezas en línea.

### **2.7.1. Fundición en moldes desechables**

Ya se había descrito lo referente a los moldes desechables que son utilizados para piezas que no son producidas en línea y que el tiempo de producción no sea necesario disminuirlo ya que en solo realizar el proceso de moldeo conlleva mucho más tiempo que el tiempo de fusión de la colada para ser vertida; es el proceso más conocido y usado para estos tipos de moldes son el molde en arena y es el que vamos a describir a continuación detalladamente para que quede más especificado este proceso que es el más utilizado debido a los costos que son bajos pero en cambio el tiempo que conlleva realizar este molde es alto.

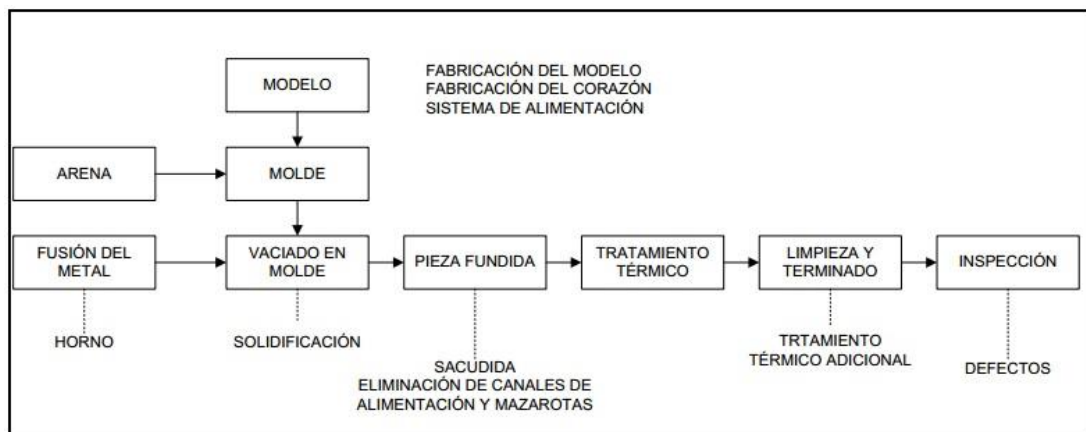
#### **a) Fundición en arena**

El trabajar el moldeo en arena conlleva que podemos fundir metales que tienen altos puntos de fusión lo que no se puede realizar en otro tipo de material utilizado para el moldeo; el proceso en general para realizar este moldeo comienza con la fabricación del modelo de la pieza que se desee fundir en un material duro que puede ser madera por ejemplo o algún otro tipo de material; a este modelo se lo coloca en la arena generando un cavidad a través de apisonamiento de la arena en el modelo y luego de un proceso minucioso que conlleva tiempo y experiencia se deja en la arena la cavidad idéntica al modelo es decir que ha realizado el moldeo de la pieza a fundir.

A este molde de le coloca las entradas de la colada fundida la cuál va

ser vertida a través de estas entradas que se les conoce como sistemas de alimentación y son quienes guiarán la colada hacia el molde el cuál se llenará de esta colada y lo sabremos porque existe una entrada y una salida de la colada, al momento que la colada sale se entiende que el molde está lleno y desde ese momento lo que debemos hacer es esperar que la colada se solidifique e inmediatamente proceder a destruir el molde para obtener la pieza sólida la cuál puede ser tratada térmicamente para mejorar sus propiedades mecánicas.

La siguiente figura nos muestra el proceso aquí descrito de la fundición en arena o conocido también como molde desechable.



**Figura 21: Pasos de producción de una pieza en fundición en arena**

Fuente: (William F. Smith, 2006)

### 2.7.2. Arenas de Fundición

La arena es una materia mineral básica que se mantiene unida por material aglutinante que generalmente es arcilla y bentonita; su definición de acuerdo a la American Foundryment's Society 1952 (A.F.S.), se trata de una materia mineral en gramos de tamaño variable de entre 0,05 y 2 mm. (Hoper, 1952)

Para los procesos de fundición en arena se utiliza arena de sílice o



conocida como el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) con una densidad de 2,5 – 2,8 g/cm<sup>3</sup>, su temperatura de fusión es de 1713°C, debido a su economía y resistencia a altas temperaturas.

Uno de los factores más importantes en la selección de la arena es el tamaño del grano. Los granos finos permiten un mejor acabado superficial de la cavidad y así de la pieza; sin embargo los granos finos reducen la permeabilidad del molde.

Para lograr una forma estable y mejorar la resistencia del molde la arena se mezcla de forma homogénea con bentonita la cual funciona como aglutinante para que la arena sea más homogénea; durante el proceso del moldeo la arena se tamiza y de esta forma la arena más fina entra en contacto con el modelo teniendo como resultado una pieza con un acabado superficial más fino y liso; en cambio la arena más gruesa da el cuerpo al molde y permite la salida de gases; a estas arenas también se le agregan resinas para mejorar el proceso de fundición.

### **2.7.3. Equipos necesarios**

Para la realización y puesta en marcha de una fundición se utilizan varios equipos que son necesarios para el correcto manejo y resultado de la pieza deseada; entre los equipos básicos tenemos los siguientes:

- Crisol
- Cucharillas
- Cucharetas
- Arena
- Arcilla
- Bentonita
- Caja de moldeo
- Modelo

- Diésel
- Tamiz
- Apisonador
- Espátula
- Tubos (entradas y salidas de la colada)
- Horno

De todos estos elementos ya hemos analizado la arena y ahora vamos a analizar un elemento importante que es el horno que se vaya a utilizar en la fundición y estos existen diversos y son acorde a varios factores como se va a llevar la fundición.

#### **a) Hornos de Fundición**

El horno que se vaya a utilizar en el momento para realizar la fusión de los materiales tiene mucho que ver ya que acorde a la capacidad del mismo se va a obtener una colada uniforme; estos hornos varían desde pequeños hornos de crisol con capacidad para pocos kilogramos hasta los hornos con capacidad para toneladas de metal fundido.

El tipo de horno usado para un proceso de fundición queda determinado por los siguientes factores:

- Necesidades de fundir la aleación tan rápidamente como sea posible y elevarla a la temperatura de vaciado requerida; esto se traduce en ahorro de energía y lo que es más importante en ahorro de tiempo en la producción de la pieza requerida.
- La necesidad de mantener tanto la pureza de la carga, como precisión de su composición; esto se refiere a que se debe manejar un control de calidad de la fundición obtenida porque acorde a los materiales

colocados en el crisol para obtener la colada se espera un resultado que cumple con las expectativas del diseñador.

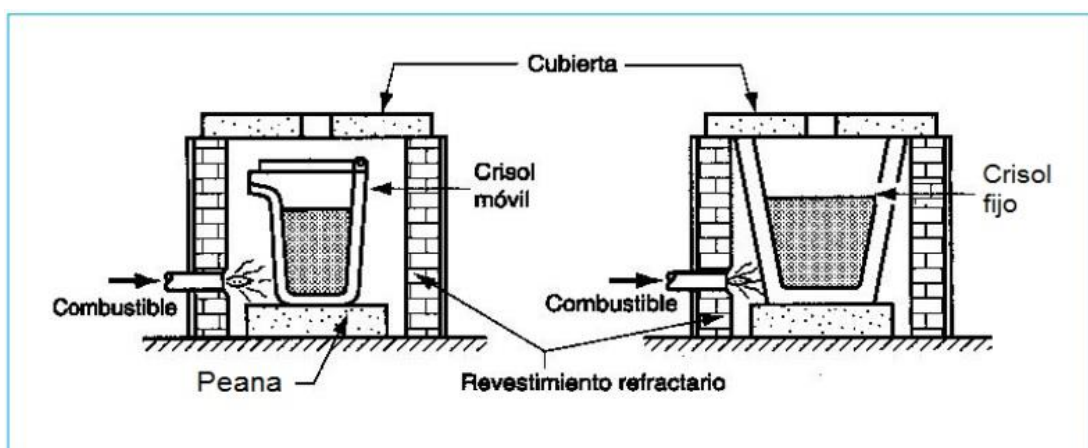
- Producción requerida del horno, al tomar en cuenta este factor se traduce también en el costo de operación del horno; ya que manejando adecuadamente estos factores la productividad aumentaría y la economía en costos de combustible o energía y sobre todo tiempo se traduce en dinero ahorrado.
- Interacción entre la carga el combustible y los productos de la combustión; cuando se produce esta interacción se puede hablar de eficiencia del horno a la que uno esperar que trabaje para que el producto final sea el planificado y se dividen en los siguientes tres tipos de hornos:
  - La carga se encuentra entre el combustible y los productos de la combustión. (Hornos cubilote).
  - La carga está aislada del combustible, pero en contacto con los productos de la combustión. (Horno hogar abierto para la fabricación de acero).
  - La carga está aislada tanto del combustible como de los productos de la combustión. (hornos de crisol calentado por combustión de gas, carbón pulverizado ó petróleo).

#### **b) Hornos de Crisol**

Este tipo de hornos trabajan por combustión de GLP, el cuál calienta el crisol que en su interior contiene el material o materiales a ser fundidos para obtener la colada; ese tipo de hornos también pueden ser calentados por energía eléctrica y se denomina horno de inducción; ya que lo que se calienta y se desea que llegue a la temperatura de fundición es para los materiales que contiene el crisol.

El crisol que es el recipiente donde se coloca el material o materiales a ser fundidos que generalmente es diseñado de grafito para poder soportar altas temperaturas superiores a los  $1200^{\circ}\text{C}$  que es la temperatura de fusión del acero, la cuáles inferior a la de fusión del grafito que bordea los  $1700^{\circ}\text{C}$ ; este crisol se lo coloca en la cavidad que lo contiene que está hecha en material refractario y se le da la posición necesaria con respecto a la salida del gas para lograr concentrar el calor alrededor del crisol.

Existen hornos con crisol móvil o con crisol fijo; la diferencia entre estos es que el crisol móvil al fundir el metal y tener la colada este se levanta y sirve como cuchara para colar en el molde, generalmente estos tipos de hornos de crisol móvil son para realizar elementos pequeños donde no se necesita grandes cantidades de colada fusionada; y los hornos con crisol fijo a diferencia de los de crisol móvil contienen grandes cantidades de colada es son usados para el diseño de elementos de máquina en serie donde se tiene que para realizar la fundición e ir sacando la colada acorde sea el requerimiento de los elementos que se estén fabricando.



**Figura 22: Horno de crisol fijo y horno de crisol móvil**

Fuente: (Askeland D. , 1998)

### **c) Hornos eléctricos**

En este tipo de hornos se hace pasar un flujo de corriente eléctrica por una resistencia que rodea las paredes internas del horno con lo cual se genera calor en la parte interna donde se encuentra el material a fundir; a este tipo de hornos que es el más sencillo de los hornos eléctricos se lo conoce como horno de resistencia y son utilizados en aplicaciones en las que se necesita un horno pequeño cuya temperatura pueda controlarse de forma precisa a través de una termocupla instalada en el horno.

El poder controlar la temperatura en un horno es esencial ya que cada material tiene su propia temperatura de fusión y es por esto que se debe saber acorde al material que se vaya a fundir hasta que temperatura es la que se desea llegar ya que en el caso de las aleaciones se trabaja con la temperatura del material de más alto punto de fusión sin descartar el análisis del material con temperatura menor punto de fusión y de esta manera llegar a punto de fusión controlando y que no vaya a llegar a un punto de evaporación lo que cambiaría totalmente el resultado de la aleación y las propiedades que se están buscando como resultado final.

Es por esto que con el debido control de la temperatura se puede realizar sin ningún inconveniente la colada deseada y finalmente el material deseado; para esto se involucran factores como el saber a qué temperatura se está llegando y mantenerla en esta temperatura corrigiendo el aumento o caída de temperatura de manera controlada y a tiempo evitando con esto aumentos o disminuciones bruscas que provocarían fallas en el diseño.



**Figura 23: Horno eléctrico**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

#### **2.7.4. Complicaciones al momento de fundir**

Al momento de fundir debemos tener en cuenta varios factores que se pueden tomar como posibles complicaciones; que una piza o elemento presente algún defecto no solo afectan a la forma de a pieza sino que en algunos casos terminan involucrando las propiedades mecánicas del elemento generando putos débiles que se traducen en concentradores de esfuerzos que a la final cuando la pieza o elemento este trabajando puede ocasionar una ruptura.

Se debe considerar los materiales utilizados para realizar la fundición y en varios casos en la gran mayoría se utiliza chatarra para bajar costos pero esto genera que se tenga en la colada escoria y no siempre una colada homogénea para lo cual en primera instancia en el caso del aluminio se hace una primera colada para contar con tochos de aluminio lo más puros posibles para de ahí si ser usado como chatarra para futuras fundiciones más específicas.

Al referirse a la fundición que se va a realizar en arena las posibles

complicaciones que se pueden ocasionar son las siguientes:

- Sopladuras o puntos de alfiler: se refiere cuando se forma una cavidad que es formada por gases atrapados y esto se genera por la baja permeabilidad o alta humedad de la arena utilizada.
- Caídas de arena: esto provoca una irregularidad en la superficie de la pieza y se genera debido a que el moldeo no fue hecho de forma adecuada y en el momento del vaciado estas caídas provocan deformaciones en la pieza final.
- Fundición incompleta: se producen debido a las fallas de llenado y se puede deber a temperaturas muy bajas del metal fundido o a su vez tiempos muy largos de vaciado.

#### **2.7.6. Elementos mejoradores de una fundición**

Estos elementos mejoradores de la fundición dependerán del proceso que se va a seguir y el método que cada empresa se haya planteado para la obtención del material final y también se considera acorde a la experiencia del trabajo en diferentes fundiciones de aleaciones o a su vez e materiales puros.

En el caso de Fundireciclar, utilizan gas argón como desgasificador y desoxidante de la aleación y brassfundex como pastillas fundentes que se utiliza en peso de 0,5% del material de carga. (Loachamin Quinga, 2013)

En cambio, en la empresa FUNSA, utilizan pastillas que son a la vez fundentes y escoriantes, las que se pueden conseguir en Galvano. Como elemento desoxidante se utiliza balas de fosforo de litio. (Orozco, 2013)

Como elementos fundentes se puede utilizar bórax o vidrio ámbar, si es necesaria una cobertura de la fundición, se utiliza grafito cuando se va a

fundir por periodos extensos, y como elemento desoxidante y desgasificante interviene fosforo de cobre. Esta es la práctica que se realiza en Intramet. (Wiesner Falconí, Gerente General Intramet, 2013)

### **2.7.7. Control de calidad que se debe realizar**

Para asegurar que el material obtenido como resultado de la fundición cumpla con las propiedades exigidas por el diseñador existen varios procedimientos que se pueden utilizar como un control de calidad en la línea de producción; generalmente en una fundidora no se realizan estos controles más que a pedido por parte de cliente y es cuando se realizan los ensayos de laboratorio como composición química, ensayo de tracción, pruebas metalográficas, dureza, rayos x, entre otros.

Actualmente existen diversos procesos o procedimientos para realizar la inspección a los productos fundidos como puede ser una simple inspección visual o algo más técnico que es el uso de tintas penetrantes que pueden detectar defectos superficiales en los productos a este procedimiento se le denomina ensayo no destructivo (END); cuando se realizan pruebas destructivas se escogen muestras de un lote de producción y se realizan ensayos que permiten determinar la presencia y localización de cavidades u otros defectos internos y se utiliza la inspección con partículas ferromagnéticas, ultrasonido o radiografía son ideales para la inspección de piezas, sin necesidad de alterar las mismas; estos tipos de ensayos son los mismos que se utilizan para inspeccionar el resultado de una soldadura.



## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA EN EL LABORATORIO**

En nuestro caso lo que vamos a realizar es la reingeniería de este proceso ya que partimos de un material que es comercializado en el mercado local como DURALUMINIO y lo que vamos a realizar son las pruebas necesarias para probar que es o no es verdaderamente ese material acorde a los porcentajes de composición química y también a las propiedades mecánicas que nos brinda la norma ASTM – B211; por ende, se van a aplicar todas estas pruebas a este material comprado en el mercado local.

#### **3.1. MATERIALES UTILIZADOS**

##### **3.1.1. Materia prima**

La materia prima la compramos en la empresa IVAN – BOHMAN, CA; ya que es la empresa que nos brinda este material comercialmente y es la empresa más grande en cuestión de importación de materiales para la industria en el mercado nacional; es por eso que confiamos en ella para poder realizar estos ensayos y sacar los resultados y poder concluirlos.

Se adquirió una barra redonda de 40 mm por 400mm para que a partir de esta barra realizar las pruebas necesarias para probar si se trata o no del material referente a nuestra investigación, los datos técnicos, formas de presentación en el mercado, costos de ese material se encuentran en los anexos de esta investigación como hojas demostrativas que respaldan el presente proyecto.



**Figura 24: Barra de “Duraluminio” PRODAX**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

### **3.2. EQUIPOS UTILIZADOS**

Los equipos utilizados para realizar la toma de datos fueron los siguientes:

#### **Microscopio electrónico de barrido**

Es un microscopio utilizado para el análisis de la composición química de un material o en si de una aleación cuando se desea saber que elementos son los que constituyen el material que se está estudiando.

Este microscopio electrónico de barrido es un bien de ESPE – Innovativa que es una empresa pública que pertenece a la Escuela Politécnica del Ejército.



**Figura 25: Microscopio electrónico de barrido**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

### **Máquina de ensayos universales**

Esta máquina se encuentra en el Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, tiene una capacidad máxima de tracción de 10 toneladas y de compresión de 200 toneladas.

Esta máquina es usada para realizar los ensayos a tracción de las probetas tanto del material comprado como DURALUMINIO y también de la colada a fundirse; con los ensayos de tracción de los elementos se puede determinar la resistencia a la tracción, el límite elástico y la elongación del material sometido al ensayo.



**Figura 26: Máquina de Ensayos Universales**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

### **Microscopio Metalúrgico:**

Este microscopio es utilizado en para poder observar la metalografía es decir la estructura interna de los materiales y acorde a esto se determina de que material se trata ya que con las imágenes que nos arroja el microscopio se las compara con las que existen que son normalizadas para los diferentes tipos de materiales y aleaciones.

Este microscopio se encuentra en el laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.



**Figura 27: Microscopio Metalúrgico**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

### **Medidor de Dureza:**

Este equipo se encuentra en el Laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE; y sirve para medir la dureza de distintos tipos de materiales; su funcionamiento es a través de indentadores de diferentes diámetros que se penetran en el material a medir la dureza y en la parte interior consta de un juego de pesas o llamadas también cargas que deben ser utilizadas acorde a la escala que se vaya a usar; recordando que la dureza es un valor adimensional.



**Figura 28: Medidor de Dureza**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

### **Lijadora:**

Esta máquina sirve para poder darle el acabado a la muestra para realizar el ensayo metalográfico; consta de cuatro barras donde se deben colocar diferentes tipos de lijas con tamaños de grano que de a poco van disminuyendo acorde a cómo va avanzando nuestro acabado en la probeta hasta alcanzar un espejo; esta prevista de cañerías donde baja agua para ir limpiando impurezas e ir mejorando el acabado de la muestra.

El laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE cuenta con varias de estas lijadoras.



**Figura 29: Lijadora**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

### **3.3. ENSAYOS PRELIMINARES**

Lo que vamos a hacer son los diferentes ensayos que son necesarios para determinar las propiedades mecánicas y la composición química del material usado como base para acorde a estos resultados realizar la conclusión respectiva.

#### **3.3.1. Análisis de la composición química.**

Luego de realizar el respectivo trámite para poder hacer uso del microscopio de barrido nos dirigimos a conversar con el Ph.D Carlos Arroyo quien es el Director del Laboratorio de Caracterización de Nanomateriales del Centro de Nanociencia y Nanotecnología (CENCINAT) de la Universidad de las Fuerzas Armadas; quien nos pidió las muestras para poder realizar el ensayo; dichas muestras se las obtuvo de la materia prima utilizada como base; el requerimiento de las muestras son pequeñas plaquetas de espesor 1mm por 12mm de diámetro; las cuáles no precisan una exactitud ya que

fueron maquinadas por nuestra propia cuenta tanto del material base como de la fundición realizada.



**Figura 30: Muestra para ensayo de barrido de la materia prima**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

Los resultados de este ensayo realizado a la materia prima utilizado como base se resumen en lo siguiente:

**Tabla 18**

**Composición química de la muestra de la materia prima**

PROMEDIO	
Elemento	Porcentaje
Mg	2,30
Al	86,75
Zn	6,58
Ag	4,37

**Fuente:** (Nanotecnología, 2016)

Como podemos observar los datos de la composición química de la muestra de la materia prima usada como base no reflejan los datos que la norma ASTM-B211 nos da para las series 2XXX que es en la que debemos



referirnos para el DURALUMINIO; en este caso se observa que existen el Zn y el Al prácticamente en el mismo porcentaje y que como se había anotado anteriormente no cumple con que se tenga un 5% al 6% de Cu y el resto Al, es decir que por el momento con el primer análisis de laboratorio no se trata del material que estamos buscando pero que si se lo vende en el mercado como un DURALUMINIO cuando en realidad no lo es.

Los resultados del informe del laboratorio de estos ensayos con el microscopio de barrido se encuentran en los anexos.

### **3.3.2. Propiedades Mecánicas**

Se van a realizar estos tres ensayos para que con los resultados poder compararlos con los que nos da la norma y poder hacer nuestras conclusiones.

#### **a) Ensayo de Tracción**

Este ensayo se lo realiza en la máquina de ensayos universales en la cual tomamos datos y uno de ellos es la escala de 200mm = 10000Kg, al momento de someter la probeta normalizada a esta prueba en el diagrama esfuerzo – deformación tenemos que a los 171 mm el diagrama nos presenta el salto del esfuerzo; con estos datos se realiza una simple regla de tres para saber a los 171mm cuántos kg; y a partir de esto se realizan los demás cálculos.



**Figura 30: Probeta para ensayo a tracción**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

**Esfuerzo de fluencia:**

$$\frac{200mm}{171mm} = \frac{10000kg}{X}$$

$$171mm \cdot X = 10000kg \cdot 200mm$$

$$X = 8550$$

A este valor encontrado le restamos el peso del cabezal de la máquina que es de 135kg; por ende:

$$X = 8550 - 135$$

$$X = 8415kg$$

Por fórmula el esfuerzo de fluencia viene dado por:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

En esta fórmula ya contamos con el dato de Fuerza; por lo tanto vamos calcular el área que se refiere al área de la sección transversal de la probeta y viene dado por:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Donde  $D=1,256\text{cm}$

$$A = \frac{\pi(1,256 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A = 1,239 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto el esfuerzo de fluencia será:

$$\sigma = \frac{8415 \text{ kg}}{1,239 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 6791,7 \text{ kg/cm}^2$$

Para pasar este valor a psi usamos el factor de conversión: 14,23

$$\sigma = 6791,7 \text{ Kg/cm}^2 * 14,23$$

$$\sigma = 96646,8 \text{ Psi}$$

**Esfuerzo máximo:**

La ecuación para encontrar el esfuerzo máximo viene dada por:

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$$

Donde  $F_{max}$  es la carga al límite elástico que nos da la máquina de ensayos universales al momento que en el diagrama esfuerzo – deformación la curva salta hacia la zona elástica; y en este caso para los 171mm la máquina nos da un valor de 9060kg a los cuáles así mismo se le debe restar el peso del cabezal de la máquina que es 135kg por ende nos queda un valor de 8925kg; por lo tanto:

$$\sigma_{max} = \frac{8925 \text{ kg}}{1,239 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_{max} = 7203,39 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{max} = 7203,39 \text{ kg/cm}^2 * 14,23$$

$$\sigma_{max} = \mathbf{102504,23 \text{ Psi}}$$

### **Porcentaje de Alargamiento:**

Este porcentaje viene dado por la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o} * 100$$

Entonces los valores para esta ecuación se toman de la siguiente manera al momento de colocar la probeta normalizada en la máquina de ensayos universales se le realiza unas marcas a una distancia de 50mm la que corresponde a la  $L_o$  y luego que se ocasione la rotura de la probeta se le mide cuál fue la  $L_f$  al momento de la fractura.

$$\varepsilon = \frac{(56,58 - 50,00) \text{ mm}}{50,00 \text{ mm}} * 100$$

$$\varepsilon = 13,16\%$$

Las hojas de resultados de la realización de estos esfuerzos se encuentran en el anexo 3, con su respectivo respaldo fotográfico.



**Figura 31: Probeta luego del ensayo a tracción**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

## **b) Ensayo de Dureza**

Para este ensayo se toma una muestra del material usado como materia prima y no existe una norma que nos recomiende una probeta dimensionada para poder realizar este ensayo sino más bien queda a libre albedrío para poder tomar una muestra del material con el que se vaya a realizar el ensayo.



**Figura 32: Probeta después del ensayo de dureza**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

En nuestro caso tomamos una muestra de 40 mm de diámetro y 13 mm espesor de nuestro material usado como materia prima para realizar el ensayo de dureza y el equipo que utilizamos es el Medidor de Dureza Rockwell que se encuentra en el Laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE; y estos fueron los resultados que nos arrojó a máquina:

**Tabla 19**

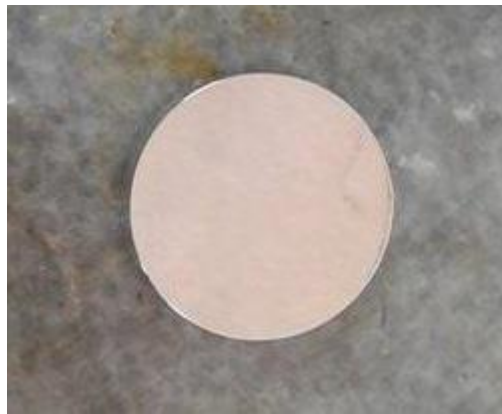
**Resultados del ensayo de Dureza realizado a la materia prima**

<b>RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA</b>	
<b>ESCALA : Rockwell B</b>	
<b>IDENTADOR: 1/16 pulg.</b>	
<b>ENSAYO</b>	<b>HB</b>
1	92
2	93
3	91
<b>PROMEDIO</b>	<b>92</b>

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

### c) Ensayo Metalográfico

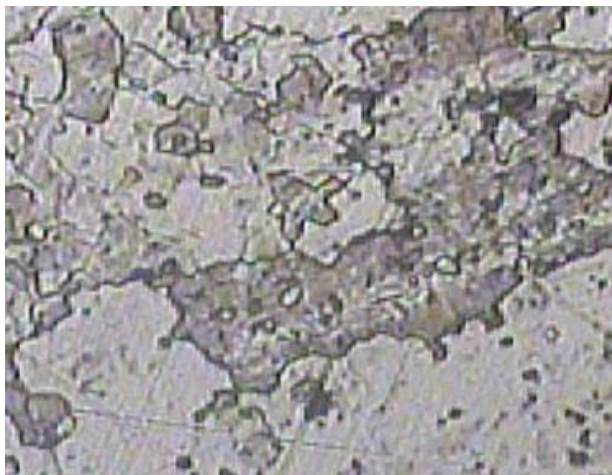
Para el ensayo metalográfico debemos tomar una muestra de la materia prima que estamos realizando el estudio y pasarla por la máquina lijadora hasta obtener una cara de la muestra en espejo; en la máquina lijadora se colocan lijas desde 200, luego 400, estas dos para quitar las rayas gruesas; luego aumentamos a 1000 para ir obteniendo el espejo que se desea; con la lija 1200 se pule mucho más la cara y finalmente se pasa la lija 1500 de tamaño de grano con la cual ya se obtiene la cara espejo y se tiene la muestra lista para realizarle el ataque químico y enseguida al microscopio para poder hacer unas capturas de la metalografía del material.



**Figura 33: Muestra luego de lijar y obtener el espejo**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

Luego de realizar el lijado se obtiene el espejo como lo muestra la figura 36; a esta muestra se le realiza el ataque químico acorde a la norma ASTM E407; que para este caso se emplea 0,5 ml HF más 100 ml de agua destilada; de este compuesto se coloca en una plaqueta y se sumerge la cara espejo en este compuesto por 30 segundos y enseguida esta la muestra lista para ir al microscopio.



**Figura 34: Metalografía a 200X de la fundición**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

Si comparamos esta imagen con la normalizada no nos muestra la misma microestructura para la aleación de aluminio con cobre sino más bien nos muestra una microestructura para las aleaciones del aluminio con el zinc con son similares con la obtenida.

### 3.4. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Con los resultados obtenidos vamos a realizar la comparación de estos con los de la norma y concluiremos si cumple con el material especificado o no lo hace.

#### 3.4.1. Composición Química

**Tabla 18**

**Comparación de resultados obtenidos con la norma ASTM B-211**

<b>COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS CON LA NORMA ASTM B-211</b>					
<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>					
	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>Zn</b>	<b>Ag</b>	<b>Cu</b>
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>	2,30	86,75	6,58	4,37	0
<b>NORMA ASTM B – 211 PARA LA SERIE 2XXX</b>	0,9	93,8	0,3	0	5
<b>NORMA ASTM B – 211 PARA LA SERIE 7XXX</b>	0,3	91,7	6	0	2

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)



Como nos damos cuenta los valores en la composición química no se acercan a los valores de la norma en la serie 2XXX sino más bien se acerca a la serie 7XXX; y con eso vamos comprobando que este material es el 7075; vamos a analizar las propiedades mecánicas para poder concluir con esta hipótesis.

### 3.4.2. Propiedades Mecánicas

Tabla 19

Comparación de resultados para las propiedades mecánicas.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS CON LA NORMA ASTM B - 211			
PROPIEDADES MECÁNICAS			
	Resistencia a la Tracción	Límite elástico	Elongación en 2 pulg D=0,5pulg
	Ksi	Ksi	%
RESULTADOS OBTENIDOS	96,64	102,5	13,16
NORMA ASTM B - 211 PARA LA SERIE 2XXX	40	30	10
NORMA ASTM B - 211 PARA LA SERIE 7XXX	68	66	10

Fuente: (Saavedra Alberca Patricio)

En el análisis de estos resultados igualmente se verifica que los datos no corresponden a la serie 2XXX sino a la serie 7XXX.

### 3.5. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Se investigó acerca del material necesario inicialmente en empresas internacionales y en el mercado local y se adquirió DURALUMINIO que es la materia prima para el presente trabajo y la encontramos en IVAN BOHMAN, CA; ya que es la empresa más grande en el país que importa materiales para la industria; de esta manera concluimos que no fue necesario realizar la importación de una empresa que se investigó en internet que se llama

INSTITUTO ASTECO que su sede es el Cali – Colombia que es el más cercano que nos ofrecía vendernos, pero al ponernos en contacto con ellos nos supieron decir que la empresa IVAN BOHMAN, CA les compra a ellos este material y lo comercializa en el Ecuador; todos estos datos nos dieron al inicio la seguridad de hacer en esta empresa la compra.

En la adquisición del material nos aseguramos que se nos entregue la hoja de los datos técnicos con las respectivas especificaciones a fin de determinar sus propiedades a través de ensayos de laboratorio y que los resultados cumplan con las propiedades que manda la norma citada.

Al realizar los ensayos se obtuvieron resultados diferentes a los establecidos en la norma; en el análisis de las propiedades mecánicas se nota que así mismo los resultados se apegan a la serie 7XXX, recordando que los valores que nos da la norma tanto en la resistencia a la tracción y en el límite elástico son valores mínimos desde donde el material puede fallar pero eso no implica que puede superarlos es decir es el valor donde puede fallar pero no necesariamente en ese valor va a fallar.

Es importante aclarar esto para no tener confusiones ya que en el momento de diseñar se busca el valor mínimo donde el elemento va a fallar y con esto sabemos que si pasa de ese valor mucho mejor; ya que el rendimiento del elemento sobrepasará el esperado y esto dará mucha más confiabilidad en el trabajo de la máquina, sin dejar de lado que el aumento de vida útil de una pieza mecánica genera costos adicionales.

Los valores aquí anotados nos da a entender que lo que encontramos en nuestro mercado local es un aluminio que se le denomina aluminio PRODAX que se lo importa de Cali – Colombia y que se lo fabrica en el Instituto Asteo y que no cumple con la norma citada para poder llamarse un DURALUMINIO, lo que no implica que es un aluminio de muy buena calidad

y es por eso que el costo también es muy alto por kg ya que bordea los \$25; el inconveniente aquí es que cuando se van a diseñar partes y elementos de máquinas se debe cumplir exactamente los requerimientos de las normas ya que un factor que no se cumpla puede ser la causa de un desperfecto en la máquina diseñada; es por esto que vamos a desarrollar la tecnología para poder obtener el DURALUMINIO en el mercado local y la idea es que el costo sea bajo para que el trabajo sea viable.

Con este análisis queda comprobado que en el mercado local es muy complicado comprar este importante elemento aleado e incluso es prácticamente imposible que en alguna fábrica de fundición tengan entre sus actividades el producir este material bajo la norma citada; y lo que queda claro que lo que se vende es el aluminio aleado con el Zinc de la serie 7XXX o más conocido en el mercado como el aluminio 7075.

## **CAPITULO IV**

### **DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA**

#### **4.1. SELECCIÓN DE MATERIALES**

Acorde a la norma ASTM – B211, debemos hacer uso de materiales en el porcentaje en el que esta norma nos pide; es por eso que ya se hizo la descripción de cada uno de los materiales a ser utilizados en este proceso del desarrollo de la tecnología; en su gran mayoría esta fundición tiene Aluminio prácticamente en un 95% y Cu en un 5%, teniendo otros elementos que están en porcentajes que prácticamente imperceptibles o producto de la fundición; ya que en la colada al ser fundidos los materiales principales estos pueden arrojar otros elementos para lo cual vamos a realizar el control de los mismos, para que se tenga la seguridad que se va a utilizar materiales libres prácticamente puros.

La idea en esa investigación al momento de desarrollar la tecnología es usar materiales que sean considerados como chatarra, ya que el aluminio y el cobre tienen un grado alto de ser reciclados, esto nos facilitará el proceso de seleccionar materiales para la fundición.

##### **4.1.1. Materia prima utilizada como base para la fundición del DURALUMINIO**

Para la fundición se utilizó los siguientes materiales:

- Chatarra de Aluminio de alta pureza; que puede ser conseguida en cualquier local donde compran y venden chatarra, se debe tener cuidado que no sean partes de vehículos o maquinarias ya que este no es un aluminio al 99%; para tener un aluminio cercano al 99% haciendo una investigación se determinó que tienen más alto grado de pureza la chatarra

de llaveros, insignias, bloques de presentación de empresas, etc, estos nos dan la seguridad que contamos con aluminio de más pureza.



**Figura 35: Chatarra de Aluminio**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

- Chatarra de Cobre al 99%, para asegurarnos tener un cobre al 99% es preferible comprar en los locales de chatarra el alambre de cobre, ese nos da la seguridad que contamos con un cobre prácticamente puro.



**Figura 36: Chatarra de Cobre**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

- Para el caso del magnesio que esa en un porcentaje bajo en esta aleación que es casi imperceptible peor no podemos descartarlo debemos utilizar chatarra de perfiles de aluminio, los que se usan para ventanas y divisiones ya que en estos perfiles el aluminio tiene pequeñas cantidades de magnesio que nos sirven al momento de la fundición y que la colada tenga el pequeño índice de porcentaje de este elemento.

## **4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN**

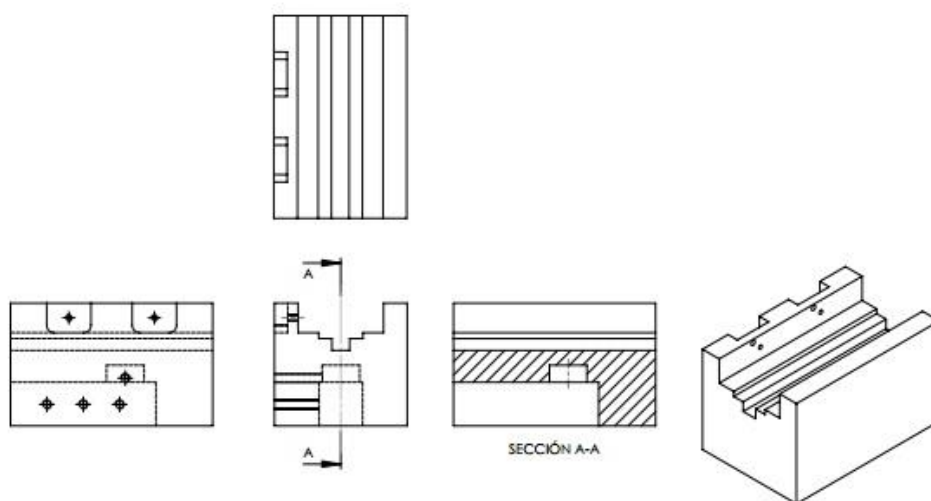
### **4.2.1. Calculo de cargas**

Acorde a la pieza que se va a diseñar vamos a realizar el cálculo de cargas necesarias para obtener el Duraluminio en base a los materiales especificados en la norma; todo el proceso de fundición se lo va a realizar en el laboratorio de fundición de la carrera de ingeniería mecánica de la ESPE; para ello se verificó una pieza a ser utilizada y que sea necesario diseñarla y en si fabricarla en este tipo de material; luego de hacer varias apreciaciones dentro y fuera de la universidad se encontró que en el laboratorio de metrología existe la necesidad del diseño de una base para un Rugosímetro y es precisamente este elemento el que vamos a diseñar y fabricar en Duraluminio.

El elemento que se necesita en dicho laboratorio va ser la base para poder realizar el cálculo de la carga para la fundición ya que cumple con los requisitos para ser construido en este material; se necesita que sea liviano y resistente ya que se trata de una pieza usada para un artefacto de medición exacta y no debe presentar cambios o variaciones con el uso; con el uso de este material se garantiza que el elemento va a mantener sus dimensiones y que no habrá variaciones con el tiempo.

Las dimensiones de la pieza a fabricar se presentan en la siguiente figura; a partir de estas dimensiones vamos sobredimensionar para poder sacar de la

misma colada las probetas para realizar los mismos ensayos que se realizó con el material comprado en el mercado y de esta manera probar que ahora si estamos trabajando con el verdadero Duraluminio y sobre todo cumpliendo con la norma citada para este tipo de aleación.



**Figura 37: Pieza a construir**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

Para el cálculo de las cargas se parte del volumen de colada de fundición que se necesita para obtener un tocho con las dimensiones alteradas para poder maquinar y también para tener un margen de rechupe en la pieza fundida; en el momento de fundir se obtiene un porcentaje de quemado de los elementos se debe de tomar en cuenta este porcentaje para lo cual citamos dicho porcentaje tanto para el aluminio como para el cobre.

**Tabla 20****Porcentajes de quemado de varios elementos al fundirse**

Elemento	Cu	Al	Zn	Pb	Si	Mn	Sn	Ni
% de quemado	1,0 – 5,0	8,0 – 10,0	2,0 - 5,0	10 – 20	0,40 – 0,80	0,20 – 0,30	2,0	3,0

**Fuente:** (Titov & Stepánov, 1981)

De acuerdo a esta tabla analizamos el porcentaje de quemado del Al y del Cu; en el modelo que se hizo de madera hacemos el cálculo del volumen del mismo y las dimensiones nos arrojan que el modelo es un paralelepípedo de las siguientes dimensiones:

Volumen del Modelo:

$$V = 10cm * 10cm * 15cm$$

$$V = 1500 \text{ cm}^3 = 0,0015m^3$$

Cálculo de la masa del Modelo:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho_{aluminio} = 2698,4 \frac{Kg}{m^3}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 2698,4 \frac{Kg}{m^3} * 0,0015m^3$$

$$m = 4,05kg = 4050gr$$

Esta es la masa total que se necesita para poder llenar el modelo, por lo tanto, acorde a la norma debemos hacer el cálculo del 95% de aluminio y 5% de cobre; entonces de esta masa total vamos a sacar estos porcentajes requeridos:



*Para el Aluminio:  $4050 * 0,95 = 3847,5gr$*

*Para el Cobre:  $4050 * 0,05 = 202,5gr$*

Este es el cálculo de la carga, pero sin tomar en cuenta el porcentaje de quemado; ahora tomando en cuenta el porcentaje de quemado tenemos los datos siguientes:

*Para el Aluminio:  $3847,5 * 0,10 = 384,75gr$*

*Gramos de Aluminio netos para la fundición: 4232,25gr*

*Para el Cobre:  $202,5 * 0,05 = 10,125gr$*

*Gramos de Cobre netos para la fundición: 212,62gr*

Con estos datos tenemos los cálculos exactos para saber cuántos gramos se deben de pesar de cada elemento para ponerlos en el crisol y los que deben ser fundidos tomando en cuenta el porcentaje de quemado; cabe indicar que se deben realizar al menos dos pruebas para poder obtener los porcentajes requeridos y además para poder obtener material para poder realizar los ensayos químicos y mecánicos al material obtenido y que estos resultados sean acordes a la norma citada.

#### **4.2.2. Preparación de la Arena**

El uso de la arena es el proceso de fundición que generalmente más se utiliza; y entre las arenas la más usada es la arena sílice que es el producto de la desintegración de las rocas a lo largo del tiempo; a esto se suma que es económica y sobre todo el factor que hace que sea utilizada en la gran mayoría de fundiciones es que es resistencia a altas temperaturas.

La arena que se encuentra en el laboratorio de fundición de la Escuela

Politécnica Nacional, es una arena sílice y como está sometida a varias fundiciones lo que se hace es prepararla y en primera instancia se la debe cernir muy finamente para lo cual se utiliza un tamiz que es si es un cernidor para obtener una arena de grano muy fino que es la arena que va a estar en contacto con el modelo; la arena que ya no está en contacto con el modelo puede tener grano más grueso y finalmente la arena que se utiliza para apelmazar la caja de moldeo es una arena burda.

A esta arena se la debe de tratar con un aglutinante y también debe tener un porcentaje de humedad el cuál va del 3 al 4% en peso de la arena que se vaya a preparar para esto se le agrega este porcentaje en agua y se mezcla durante 5 a 10 minutos para obtener una arena factible para la fundición y no se presenten inconvenientes sobre todo al momento del moldeo.



**Figura 38: Arenas de Fundición**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

### 4.2.3. Modelo

El modelo a utilizarse se lo fabrico en madera ya que es un material de fácil maquinado, liso, liviano; generalmente todos los modelos para realizar el proceso de moldeo dela pieza a fundir se los hace en madera ya que es más económico que hacerlo en otro material.

Acorde a la pieza que se va a maquinar y luego de tener la fundición se sobre dimensiono el modelo, es el que se tiene en la siguiente figura cuyas dimensiones son 10\*10\*15 es decir es un paralelepípedo en el cuál luego se lo máquina y se obtienen las dimensiones deseadas, tomando en cuenta el rechupe, factores predominantes al momento de fundir.



**Figura 39: Modelo en madera**

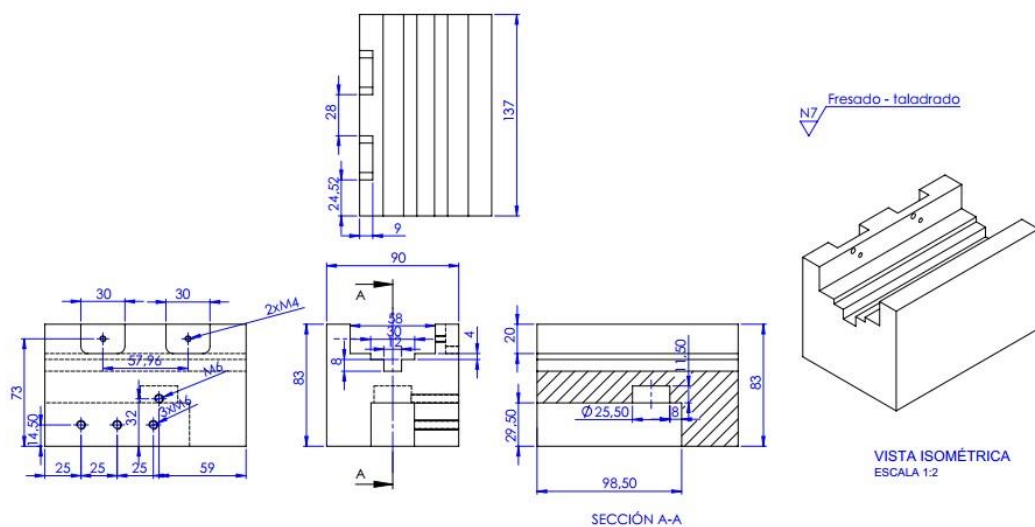
**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

### 4.2.4. Diseño de la Pieza

Luego de realizar los ensayos necesarios para verificar que la fundición realizada cumple con la norma citada se debía diseñar una pieza y como ya se describió lo que se va a realizar es el diseño y construcción dela base para un Rugosímetro para el laboratorio de metrología de la Universidad de

las Fuerzas Armadas – ESPE; para lo cual se debió hacer un análisis detallado de cómo debería ir esta base para que el Rugosímetro esté totalmente firme y no hayan vibraciones o movimiento al momento de realizar las mediciones con el mismo.

Para lo cual se analizaron hasta los más mínimos detalles y se realizaron varios planos hasta poder llegar al final en el cuál se asegura que la base diseñada no presentará problemas y su vida útil será larga; con este criterio de tomaron medidas y se levantó el respectivo plano para acorde a este luego de obtener el tocho de fundición maquinarlo exactamente a las medidas del plano mencionado; este plano se encuentra en el anexo 3.



**Figura 40: Vistas de la pieza a diseñar**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

#### 4.2.5. Proceso de moldeo

El moldeo es el proceso donde en la caja de moldeo se coloca el modelo y se empieza a utilizar la arena que previamente ha sido tratada para poder cubrir de a poco el modelo que así mismo previamente ha sido diseñado para el objetivo planteado; la idea del moldeo es que se vaya

tamizando la arena e ir de a poco cubriendo el modelo con la arena; en este proceso se le coloca al modelo una capa de bentonita que es una resina que sirve para evitar que la arena que está en contacto con el mismo se pegue y de esta manera evitar que al momento de liberar el modelo la arena se desprenda y se pierda la forma deseada; por ende el colocar esta capa de bentonita nos ayuda que al momento de separar el modelo de la arena sea mucho más sencillo y que logremos tener el molde deseado.

Este proceso de moldeo se lo debe realizar minuciosamente y con la paciencia del caso teniendo en cuenta que es el que más tiempo conlleva en el proceso de la fundición ya que depende del mismo para que al momento de colar o verter la colada fundida el molde se llene por completo; como ya se había anotado primero se rellena con arena fina como una primera capa y de a poco se va colocando arena más gruesa hasta que la última capa es una arena gruesa que sirve nada más para compactar el modelo y que el molde sea perfecto.



**Figura 41: Aplicación de bentonita en el modelo**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

En cada etapa del moldeo se debe ir compactando la arena hasta que quede una textura dura, esto se lo verifica al simple tanteo es decir se va presionando con los dedos y verificando si esta la capa de arena compacta

y si no lo esta se utilizan los apisonadores para lograr este objetivo ya que mientras más compacta más nos asegura que el molde final sea perfecto y una manera o técnica para apisonar es desde los extremos de la caja de moldeo hacia el centro.



**Figura 42: Moldeo del modelo**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

Mientras se va colocando las capas de arena se debe tomar en cuenta que se tienen que poner los vertederos o vástagos tanto el de entrada de la colada como el de salida; estos luego que la caja de moldeo este llena se deben retirar para que nos quede el ingreso de colada y la salida de la colada.



**Figura 43: Arena apisonada**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

#### 4.2.6. Preparación de la mezcla

Como ya se había calculado la carga para ponerla en el crisol se lo realiza de la siguiente manera: realizando el análisis de los puntos de fusión de los elementos aleantes se tiene que el cobre tiene su punto de fusión a los 1200°C y el aluminio a los 800°C, por ende, el procedimiento que se debe realizar es primero fundir el cobre y ya que se tenga el cobre fundido se coloca en el crisol el aluminio y con una cuchara revolver hasta obtener una colada homogénea.

No debemos olvidar que, aunque en pequeño porcentaje en esta aleación existe el magnesio y para lograr que la colada tenga magnesio se le coloca 50gr de perfiles de aluminio tomando en cuenta que en estos perfiles está presente el elemento magnesio, estos perfiles se los coloca en el momento cuando el crisol se lo ha sacado del horno ya que se derriten inmediatamente, realizando este procedimiento evitamos que se evapore el magnesio contenido en esta materia prima.



**Figura 44: Preparación de la Mezcla**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

#### **4.2.7. Vertido.**

Ya que se tiene la colada homogénea es muy importante el proceso del vertido o llamado colado ya que este proceso debe ser un vertido continuo para que la colada ingrese por el vertedero del molde previamente preparado hasta que salga por el desfogue; si no se realiza un proceso de colado continuo de la colada se corre el riesgo que se formen cavidades ya que el hecho de colar en forma discontinua hace que la colada no se solidifique de manera homogénea.

Un vertido continuo y usando un desgasificante adecuado garantiza que la pieza final obtenida no contenga porosidades es por eso que no debemos olvidar el uso de un desgasificante para evitar porosidades o alguna otra formación de gases en la mezcla, el desgasificante usado en nuestro proceso fue el llamado fundente para aluminio que se lo compra en locales donde venden productos para la industria metalmecánica; la forma de uso de este producto es que se colocan 100 gr por cada kilo de colada.

#### **4.2.8. Desmolde**

Luego de haber colado y esperar que se enfrié la colada en el molde de arena se procede al desmolde que es básicamente quitar la arena para que nos quede el modelo que previamente se lo realizó en madera y para este que este mismo modelo se lo obtenga en la aleación previamente estudiada y realizada los cálculos respectivos.

Para el desmolde se usa cucharetas para de a poco ir quitando la arena de la pieza fundida, se debe evitar realizar golpes fuertes a la arena ya que estos golpes pueden generar fisuras a la fundición o generar cualquier anomalía es por eso que este proceso se lo debe realizar con cautela.





**Figura 45: Desmolde del modelo fundido**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

### **4.3. NORMAS DE SEGURIDAD E HIGIENE**

Para la fundición se deben de seguir las normas que rigen en un laboratorio de fundición que son básicamente las siguientes:

- Zapatos de punta de acero
- Mandil
- Guantes
- Casco
- Gafas de protección

Esto lo referente al uso de la persona que va a manipular los equipos y en cuanto al laboratorio se deben de seguir las normas de seguridad como:

- Capacitación previa para el uso de equipos
- Revisar manual de instrucciones y uso de los equipos a utilizar
- Revisar riesgos eléctricos y manipulación de combustibles
- Mantener orden y limpieza en el sitio de trabajo

#### **4.4. RIESGOS FÍSICOS**

Si se siguen al pie de la letra las normas de seguridad e higiene citadas en el ítem anterior no van a ocasionarse ningún tipo de accidente es por eso que se debe de tomar muy en cuenta que el manipular y hacer uso de un laboratorio de fundición o cualquier otro implica que nos sometemos a tener accidentes y para evitar los mismos debemos cumplir con las normas de seguridad que están en cada laboratorio y de esta forma evitaremos accidentes y sobre todo riesgos físicos.

#### **4.5. ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA FUNDICIÓN OBTENIDA**

De la fundición obtenida se van a realizar los análisis necesarios para probar que ahora si el material desarrollado en esta investigación cumple con la norma ASTM-B211; por lo tanto, vamos a realizar el mismo procedimiento que con el material encontrado en el mercado como Duraluminio y que ya se comprobó que se trata de la aleación de aluminio con Zinc; es decir es el aluminio 7075.

##### **4.5.1. Ensayo del análisis químico**

Se tomaron muestras para realizar el ensayo de análisis químico en el Laboratorio de Caracterización de Nanomateriales del Centro de Nanociencia y Nanotecnología (CENCINAT) de la Universidad de las Fuerzas Armadas; las muestras son pequeñas plaquetas de espesor 1mm por 12mm de diámetro; las cuáles no precisan una exactitud ya que fueron maquinadas por nuestra propia cuenta.

Los resultados de este ensayo realizado de la fundición obtenida son los siguientes:

**Tabla 21****Composición química de la fundición obtenida**

PROMEDIO	
Elemento	Porcentaje
Mg	0,40
Al	93,70
Zn	0,10
Cu	6,0

**Fuente:** (Nanotecnología, 2016)

Como podemos observar los datos de la composición química de la fundición obtenida se acercan a los datos que nos da la norma ASTM-B211 para las series 2XXX; que cumple con que se tenga un 5% al 6% de Cu y el resto Al, es decir que por el momento con el primer análisis de laboratorio estamos verificando que se cumplimos con la norma.

#### 4.5.2. Ensayo a tracción

Así mismo como con la materia prima se realizó probetas patrón para este caso se realiza exactamente la misma probeta y se realiza exactamente el mismo procedimiento; para la escala de 200mm = 10000Kg, al momento de someter la probeta normalizada a esta prueba en el diagrama esfuerzo – deformación tenemos que a los 120 mm el diagrama nos presenta el salto del esfuerzo; con estos datos se realiza una simple regla de tres para saber a los 120mm cuántos kg; y a partir de esto se realizan los demás cálculos.



**Figura 46: Probeta para ensayo a tracción de la fundición**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

**Esfuerzo de fluencia:**

$$\begin{array}{r} 200mm \\ 120mm \end{array} \quad \begin{array}{r} 10000kg \\ X \end{array}$$

$$X = 6000$$

A este valor encontrado le restamos el peso del cabezal de la máquina que es de 135kg; por ende:

$$X = 7400 - 135$$

$$X = 5865kg$$

Por fórmula el esfuerzo de fluencia viene dado por:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

En esta fórmula ya contamos con el dato de Fuerza; por lo tanto, vamos calcular el área que se refiere al área de la sección transversal de la probeta

y viene dado por:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Donde  $D=1,256\text{cm}$

$$A = \frac{\pi(1,256 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A = 1,239 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto, el esfuerzo de fluencia será:

$$\sigma = \frac{5865 \text{ kg}}{1,239 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 4733,6 \text{ kg/cm}^2$$

Para pasar este valor a psi usamos el factor de conversión: 14,23

$$\sigma = 4733,6 \text{ Kg/cm}^2 * 14,23$$

$$\sigma = 67359,9 \text{ Psi}$$

**Esfuerzo máximo:**

La ecuación para encontrar el esfuerzo máximo viene dada por:

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$$

Donde  $F_{max}$  es la carga al límite elástico que nos da la máquina de ensayos universales al momento que en el diagrama esfuerzo – deformación la curva salta hacia la zona elástica; y en este caso para los 120mm la máquina nos da un valor de 5800kg a los cuáles así mismo se le debe restar el peso del cabezal de la máquina que es 135kg por ende nos queda un valor de 5665kg; por lo tanto:

$$\sigma_{max} = \frac{5665 \text{ kg}}{1,239 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_{max} = 4572,23 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{max} = 4572,23 \text{ kg/cm}^2 * 14,23$$

$$\sigma_{max} = 65062,29 \text{ Psi}$$

### **Porcentaje de Alargamiento:**

Este porcentaje viene dado por la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o} * 100$$

Entonces los valores para esta ecuación se toman de la siguiente manera al momento de colocar la probeta normalizada en la máquina de ensayos universales se le realiza unas marcas a una distancia de 50mm la

que corresponde a la  $L_0$  y luego que se ocasione la rotura de la probeta se le mide cuál fue la  $L_f$  al momento de la fractura.

$$\varepsilon = \frac{(54,80 - 50,00) \text{ mm}}{50,00 \text{ mm}} * 100$$

$$\varepsilon = 9,6\%$$

Las hojas de resultados de la realización de estos esfuerzos se encuentran en el anexo, con su respectivo respaldo fotográfico.



**Figura 47: Probeta en el ensayo a tracción**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

### 4.5.3. Ensayo metalográfico

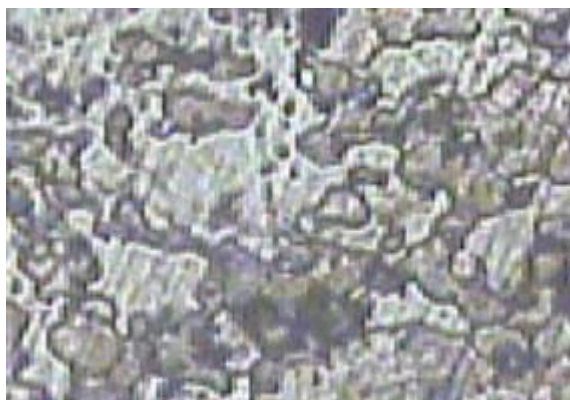
Para el ensayo metalográfico tomamos una muestra de la fundición y realizamos el mismo procedimiento que con la materia prima comprada; así mismo usando las lijas hasta llegar a una lija de grano muy fino como la 1200.



**Figura 48: Muestra luego de lijar y obtener el espejo**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

Se siguen los mismos pasos que se realizaron anteriormente; el ataque químico acorde a la norma ASTM E407 que nos designa el empleo de 0,5 ml HF más 100 ml de agua destilada, se sumerge la cara espejo en este compuesto por 30 segundos y esta la muestra lista para ir al microscopio.



**Figura 49: Metalografía a 200X del material fundido**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)



Este resultado es muy parecido al que nos da la norma en cuanto al ensayo metalográfico para la aleación del Al- Cu; dicha imagen esta descrita anteriormente y si se las compara tienen mucha similitud lo que no sucedía con el ensayo anterior que se realizó al material de prueba.

#### 4.5.4. Ensayo de dureza

Así mismo tomamos una muestra de 40 mm de diámetro y 13 mm espesor de nuestro material fundido para realizar el ensayo de dureza y el equipo que utilizamos es el Medidor de Dureza Rockwell que se encuentra en el Laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE; y estos fueron los resultados que nos arrojó a máquina:

**Tabla 22**

**Resultados del ensayo de Dureza realizado a la materia prima**

<b>RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA</b>	
ESCALA : Rockwell B	
IDENTADOR: 1/16 pulg.	
<b>ENSAYO</b>	<b>HB</b>
1	86
2	84
3	86
<b>PROMEDIO</b>	<b>85</b>

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

## 4.6. ANÁLISIS COMPARATIVO NORMA y DATOS OBTENIDOS

### 4.6.1. Composición Química

Tabla 23

Comparación de resultados obtenidos de la fundición composición química

COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS CON LA NORMA ASTM B-211					
COMPOSICIÓN QUÍMICA					
	Mg	Al	Zn	Ag	Cu
RESULTADOS OBTENIDOS	0,40	86,75	0,10	0	5,50
NORMA ASTM B – 211 PARA LA SERIE 2XXX	0,90	93,8	0,3	0	5

Fuente: (Saavedra Alberca Patricio)

En este caso la composición química prácticamente cumple con los valores de la norma, esto nos indica que la fundición fue hecha correctamente en todas sus etapas desde el cálculo de cargas hasta la selección de materiales.

### 4.6.2. Propiedades Mecánicas

Tabla 24

Comparación de resultados obtenidos de la fundición propiedades mecánicas.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS CON LA NORMA ASTM B - 211			
PROPIEDADES MECÁNICAS			
	Resistencia a la Tracción	Límite elástico	Elongación en 2 pulg.
	Ksi	Ksi	%
RESULTADOS OBTENIDOS	67,35	65,06	9,6
NORMA ASTM B - 211 PARA LA SERIE 2XXX	40	30	10

Fuente: (Saavedra Alberca Patricio)

En el análisis de estos resultados verifica que estamos dentro del rango para las aleaciones de la serie 2XXX de los aluminios; los valores sobrepasan pero esto es un indicador que cumplimos con los valores mínimos que la norma nos da y si los valores tanto de resistencia como de elasticidad son mayores es mucho mejor ya que lo que se desea es llegar al mínimo y si resiste mas mucho mejor.

#### **4.6.3. Resultados finales**

Como resultado final podemos concluir que con el manejo correcto del desarrollo de la tecnología y en fin del proceso cumpliendo todos los pasos aquí especificados se llega a obtener una fundición que cumpla con las propiedades mecánicas y con los porcentajes químicos, de esta manera queda comprobado que es posible obtener este material a partir de chatarra previamente analizada y que cumpla con las especificaciones aquí descritas.

#### **4.7. PIEZA A FABRICAR COMO ELEMENTO DE MAQUINARIA**

De las múltiples aplicaciones que tiene el Duraluminio gracias a sus propiedades hemos realizado un barrido de alguna necesidad en alguno de los laboratorios de la ESPE donde se necesite la fabricación de una pieza en este material y en nuestro recorrido nos dirigimos al laboratorio de metrología ya que específicamente una de las aplicaciones de este material es en elementos y piezas donde se necesite exactitud y que en el momento del maquinado las fuerzas de corte no desgasten el material o lo sometan a fatiga provocando el desgaste del mismo.

Conversamos con el laboratorista Lcdo. Edwin Tayupanta y nos supo manifestar que en el laboratorio existe un Rugosímetro que necesita una base para poder ser utilizado y que sería de mucha ayuda que se la diseñe para

poder ser utilizado este equipo muy importante para medición de rugosidad de diversos materiales y que los alumnos de la carrera lo necesitan para sus prácticas; teniendo en cuenta la necesidad presentada, que el elemento se necesita que sea estable y de peso ligero a esto se le suma que se debe evitar la corrosión nos pusimos en marcha en el diseño y construcción de la base para el Rugosímetro del laboratorio de metrología de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

#### **4.7.1. Criterio para determinar la pieza a fabricar**

El criterio que se debe tomar en cuenta es que realmente el elemento sea necesario fabricarlo con Duraluminio y en este caso de la base se hizo el análisis y se concluyó que todos los parámetros nos indican que se debe construir con Duraluminio; enlistamos los criterios analizados:

- Bajo peso
- Exactitud
- Fácil maquinado
- Dureza del material
- Resistencia a la oxidación
- Resistencia a la corrosión

#### **4.7.2. Maquinado de la pieza determinada**

Después de haber realizado el diseño de la base lo que vamos a realizar es el maquinado y lo vamos a realizar en una máquina CNC en el laboratorio de máquinas herramientas del Colegio Técnico Don Bosco.

Para realizar el maquinado primero se realiza el plano del elemento a mecanizar el Solid Word y este archivo se lo lleva al laboratorio especificado para realizar este trabajo y ellos nos ayudan con la programación para ser

utilizada la máquina CNC.



**Figura 50: Mecanizado de la pieza**

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

#### **4.7.3. Pieza terminada**

Finalmente tenemos la pieza terminada y esta se la entregaremos al laboratorio de metrología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE para que este en uso y servicio de los alumnos del Departamento de Ciencias y Energía.

## CAPITULO V

### ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

#### 5.1 COSTOS DIRECTOS

**Tabla 25**

**Costos de Materia Prima**

ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Aluminio - PRODAX	Kg	2	\$ 25,50	\$ 52,75
2	Chatarra de Cobre	Kg	5	\$ 1,90	\$ 9,50
3	Chatarra de Aluminio	Kg	10	\$ 0,85	\$ 8,50
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 70,75</b>

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

**Tabla 26**

**Costos de Mano de Obra Directa**

ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Fundidor	hr.	8	\$ 8,0	\$ 64,00
2	Asistente de fundición	hr.	8	\$ 5,00	\$ 40,00
3	Tesista	hr.	400	\$ 5,00	\$ 2000,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 2104,00</b>

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

Tabla 27

## Servicios Especiales Contratados

ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Maquinado de probetas de tracción	U	2	\$ 50,00	\$ 100,00
2	Molde madera	U	1	\$ 10,00	\$ 10,00
3	Maquinado de la pieza final	U	3	\$ 25,00	\$ 75,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 185,00</b>

Fuente: (Saavedra Alberca Patricio)

Tabla 28

## Ensayos de Laboratorio

ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Ensayo en microscopio electrónico de barrido para la determinación de composición química	U	2	\$ 37,50	\$ 75,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 75,00</b>

Fuente: (Saavedra Alberca Patricio)

## 5.2. COSTOS INDIRECTOS

Tabla 29

**Materiales e Insumos para ensayos de laboratorio y fundición**

ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Diésel	Gl	10	\$ 1,10	\$ 11,00
2	Franela	M <sup>2</sup>	1	\$ 2,00	\$ 2,00
3	Mascarillas	U	3	\$ 2,50	\$ 7,50
4	Guantes	U	2	\$ 5,50	\$ 11,00
5	Gafas de seguridad	U	1	\$ 4,50	\$ 4,50
6	Lijas de agua	U	10	\$ 0,80	\$ 8,00
7	Fundente de Aluminio	Kg	3	\$ 3,00	\$ 9,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 53,00</b>

Fuente: (Saavedra Alberca Patricio)

Tabla 30

**Otros Costos Indirectos necesarios para el desarrollo del proyecto**

ITEM	RUBRO	VALOR
1	Transporte	\$ 300,00
2	Internet	\$ 60,00
3	Impresiones	\$ 80,00
4	Material de Oficina	\$ 50,00



<b>5</b>	Imprevistos	\$ 400,00
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 890,00</b>

Fuente: (Saavedra Alberca Patricio)

### 5.3. COSTOS TOTALES

Tabla 31

**Total Costos Directos**

<b>Costos Directos</b>	<b>VALOR</b>
<b>Costos de Materia Prima</b>	\$ 70,75
<b>Costos de Mano de Obra Directa</b>	\$ 2104,00
<b>Servicios Especiales Contratados</b>	\$ 185,00
<b>Ensayos de Laboratorio</b>	\$ 75,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2434,75</b>

Fuente: (Saavedra Alberca Patricio)

Tabla 32

**Total Costos Indirectos**

<b>Costos Indirectos</b>	<b>VALOR</b>
<b>Materiales e Insumos para ensayos de laboratorio y fundición</b>	\$ 53,00
<b>Otros Costos Indirectos necesarios para el desarrollo del proyecto</b>	\$ 890,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 943,00</b>

Fuente: (Saavedra Alberca Patricio)

**Tabla 33****Costo Total del Proyecto**

<b>Costo Total</b>	<b>VALOR</b>
<b>Total Costos Directos</b>	<b>\$ 2434,75</b>
<b>Total Costos Indirectos</b>	<b>\$ 943,00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3377,75</b>

**Fuente:** (Saavedra Alberca Patricio)

## **CAPITULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 CONCLUSIONES**

- Luego de varios ensayos y experimentaciones se logró implementar un procedimiento para obtener un modelo de una aleación perteneciente a la serie 2XXX o lo que es lo mismo el denominado DURALUMINIO; basado en materiales y chatarra obtenida en nuestro medio.
- En cuanto a la investigación en el mercado local sobre DURALUMINIO se comprobó que el mercado local no nos vende el material que cumple con la norma ASTM – B211 sino más bien ofrecen un material de muy buena calidad que se le denomina el Aluminio PRODAX que se enmarca en las propiedades de las aleaciones de Aluminio con el Zinc que es la serie 7XXX y no la 2XXX que es la serie de aleaciones con el Cobre que son los Duraluminios.
- Con el uso de chatarra tanto de aluminio como de cobre se logró realizar una fundición técnica en el laboratorio de fundición de la Escuela Politécnica Nacional donde los costos fueron totalmente bajos en relación del costo de la importación de este material e inclusive mucho más barato que comprar el aluminio PRODAX que el kilo llega a costar los \$25 y en este caso como mucho el kilo cuesta \$10 y obtenemos un material que cumple con las normas especificadas y lo que es más obtenido en nuestro medio que es uno de los objetivos planteados ya que este material no se lo encuentra fácilmente.

- Después de haber realizado todo el proceso tanto de verificación y de desarrollo de la tecnología para el duraluminio concluimos que no es un proceso extremadamente complicado sino más bien es solamente investigación y seguir las normas citadas y de esta manera y muy económica logramos obtener una aleación que se enmarca en la serie 2XXX que es lo que deseábamos comprobar que si es posible lograrlo y sobre todo con costos sumamente bajos.
- Se verificaron las propiedades de tracción, compresión, dureza, metalográficas y composición química de la aleación obtenida y todos estos resultados se los comparó con la norma obteniéndose valores semejantes.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda que antes de usar un material a pesar que donde lo compremos nos especifiquen las propiedades del mismo se deben de realizar ensayos que comprueben que es realmente el material solicitado y sobre todo que cumpla las propiedades enmarcadas en normas; ya que se puede variar las propiedades y si vamos a diseñar y construir un elemento que necesite las propiedades específicas estrictamente al usar otro material este elemento va a fallar en cualquier momento.
- Para trabajos de extrema exactitud se debe verificar no solo las propiedades tanto mecánicas y químicas del material sino también se debe tener en cuenta la vida útil del elemento y a qué tipo de trabajo va a ser sometido ya que depende de esto el material a usarse; es decir usar el material acorde a al trabajo a realizar.

- Con el proceso ya realizado se debe de seguir el procedimiento exactamente como aquí esta descrito para poder obtener el material que se describe en esta investigación sin dejar ningún detalle a un lado y de esta manera se contará con un material de excelente calidad y sobre todo que cumple con la norma citada.
- La materia prima que se utiliza para obtener esta aleación debe ser la más pura posible es por eso que se recomienda usar alambre de cobre, aluminio chatarra lo menos mezclado y se logra esto con chatarra que venga de llaveros, insignias, recuerdos, etc; y para el magnesio se usan perfiles de puertas y ventanas y como está especificado este elemento va en mínimo porcentaje; siguiendo los pasos aquí escritos no va a haber ningún inconveniente en la obtención de esta aleación.
- El uso de los equipos de protección personal y de las reglas que rigen a un laboratorio evitan correr tanto riesgos tanto físicos como materiales; no se debe descuidar para nada ninguna norma de seguridad ya que el mínimo error o descuido puede causar daños irreparables sobre todo en el tema físico.
- En cuanto al proceso de fundición se recomienda usar el proceso con arena ya que es el más usado en las fundidoras y sobre todo es el más económico y como sabemos siempre debemos buscar calidad pero mientras más bajo sea el costo mucho mejor teniendo en claro que la calidad no puede fijarse con el precio; buscamos abaratar costos pero siempre acompañado de calidad de material para este caso.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, J. (2014). *Aluminio*.
- Alue. (s.f.). *Aluminio historia* . Recuperado el 8 de Julio de 2016, de <http://www.alue.cat/documents/alumini/historia.pdf>
- Appold, H., Feiler, K., Reinhard, A., & Schmidt, P. (1985). *Tecnología de los metales*. (F. Besante, Trad.) Barcelona, España: Reverté S.A.
- Askeland, D. (1998). *Ciencia e Ingeniería de Materiales*. Missouri: International Thomson Editores.
- Askeland, D. (2010). *Science and Engineering Materials*. Stamford: Cengage Learning.
- ASM. (1992). ASM Handbook. En *Metallography and microstructures* (Vol. IX, págs. 13-35).
- Asteco, I. (Junio de 2012). *Características del Duraluminio Produx*.
- ASTM. (2000). ASTM B584 Standard Specification for Copper Alloy Sand Castings for General Applications.
- Automoción, J. (2012). *Uniones móviles y fijas*. Obtenido de [http://eafjimpereda2012.blogspot.com/2012\\_10\\_01\\_archive.html](http://eafjimpereda2012.blogspot.com/2012_10_01_archive.html)
- Caro, J. (2013). *Scribd*. Obtenido de Ensayo de Dureza: <http://es.scribd.com/doc/2469674/Ensayos-de-Dureza>
- Echavarria, A., & Orrego, G. (2012). *Ingeniería de Materiales*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Espectrometría. (s.f.). *Espectrometría de absorción*. Recuperado el Junio de 2013, de [http://www.espectrometria.com/espectrometra\\_de\\_absorcin](http://www.espectrometria.com/espectrometra_de_absorcin)
- Espectrometría. (s.f.). *Espectrometría de emisión*. Recuperado el Junio de 2013, de [http://www.espectrometria.com/espectrometra\\_de\\_emisin](http://www.espectrometria.com/espectrometra_de_emisin)
- Garavito, J. (2008). *Curso de Procesos de Manufactura* . Bogotá.
- Gockel, F. (1986). *Metalotecnica Fundamental*. España: Reverté.
- Handbook, M. (2009). *Metallography and Microstructures*. Ninth Edition.
- Hoper, H. (1952). *Principles of Metal Casting*.

- <http://apps.inen.gob.ec/descarga/index.php/buscar>. (s.f.). Obtenido de [5]  
<http://apps.inen.gob.ec/descarga/index.php/buscar>
- <http://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>. (s.f.). Obtenido de [6]  
<http://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>.
- [http://www.espe.edu.ec/portal/files/ley\\_transparencia/archivos/PEICUADROMANDORIESGOS.pdf](http://www.espe.edu.ec/portal/files/ley_transparencia/archivos/PEICUADROMANDORIESGOS.pdf). (s.f.). Obtenido de  
[http://www.espe.edu.ec/portal/files/ley\\_transparencia/archivos/PEICUADROMANDORIESGOS.pdf](http://www.espe.edu.ec/portal/files/ley_transparencia/archivos/PEICUADROMANDORIESGOS.pdf)
- <http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=aluminio>. (s.f.). Obtenido de <http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=aluminio>
- <http://www.industrias.gob.ec/np-64-ministerio-promueve-empresas-que-dinamizaran-la-industria-de-partes-y-piezas-en-el-ecuador/>. (s.f.). Obtenido de [4]  
<http://www.industrias.gob.ec/np-64-ministerio-promueve-empresas-que-dinamizaran-la-industria-de-partes-y-piezas-en-el-ecuador/>
- <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/5505-El-aluminio-gana-terreno-en-la-fabricacion-de-moldes.html>. (s.f.). Obtenido de [3]  
<http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/5505-El-aluminio-gana-terreno-en-la-fabricacion-de-moldes.html>.
- José, A. (1999). *La Metalurgia del Cobre*. Atlanta: Atlantic Copper S.A.
- Kalpakjian, S. S. (2008). *Manufactura, ingeniería*. México: Pearson Educación.
- Kerguignas, M., & Caignaert, G. (1980). *Resistencia de materiales*. (A. Rodríguez de Torres, Trad.) Barcelona, España: Reverté S.A.
- Kurt, M. (1990). *Enciclopedia de la Mecánica Ingeniería y Técnica*. Barcelona: Océano.
- Kutz, M. (1990). *Enciclopedia de la Mecánica Ingeniería y Técnica*. Barcelona: Océano.
- Kutz, M. (1993). *Enciclopedia de la Mecánica Ingeniería Técnica*. México: U.S. Metric association.
- L.Mangonan, P. (2001). *Ciencia de los Materiales, Selección y Diseño*. México DF.: Prentice Hall.
- Loachamin Quinga, O. G. (29 de Julio de 2013). Coordinador de diseño, desarrollo y producción de Fundirecicar. (A. M. Narvárez Chediak, Entrevistador) Quito.

- Metalografía Universidad Tecnológica de Pereira.* (2012). Obtenido de Propiedades Mecánicas de los Materiales: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2012/07/31/2-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/>
- Nanotecnología, C. d. (2016). *Microscopio de Barrido*. Sangolquí.
- Norma ASTM, B. (2009).
- Orozco, G. (29 de Julio de 2013). Gerente general Funsá. (A. M. Narváez Chediak, Entrevistador) Quito.
- Ortola, S. (17 de Abril de 2009). *Ingeniería de Materiales*. Recuperado el 14 de Octubre de 2016, de <https://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>
- Payno, M. L., & Setien, J. (2014). *Metalurgia y Siderurgia*. Santander: Universidad de Cantabria.
- Ronald, E. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Thomson editores.
- Saavedra Alberca Patricio, W. (s.f.).
- STOCK, A. . (s.f.). *ALUMINIO - Información Técnica*. Madrid: ALU - STOCK S.A.
- SUMITEC, S. T. (2015). GENERALIDADES DEL ALUMINIO. *SUMITEC S.A. SOLUCIONES SÓLIDAS Y DURADERAS*, 6.
- Timings, R. (2002). *Tecnología de la Fabricación: Procesos y Materiales de Taller*. Mexico DF: Alfa-Omega .
- Titov, N., & Stepánov, Y. A. (1981). *Tecnología del proceso de fundición*. (D. U. Okulik, Trad.) Moscú, Rusia: Mir.
- UDDEHOLM. (2014). *Principal chemical composition*. GUAYAQUIL: IVAN BOHMAN, CA.
- UNED. (s.f.). *Espectrometría de fluorescencia de rayos x*. Obtenido de [http://imaisd.usc.es/riaidt/raiosx/formularios/UNED\\_Curso\\_Fluorescencia.pdf](http://imaisd.usc.es/riaidt/raiosx/formularios/UNED_Curso_Fluorescencia.pdf)
- Vlack, L. V. (1982). *Materials for Engineering*. Addison-Wesley Publishing.
- Wiesner Falconí, I. V. (1 de Agosto de 2013). Gerente General Intramet. (A. M. Narváez Chediak, Entrevistador) Guayaquil.
- William F. Smith, J. H. (2006). *Fundamentos de Ciencia de Ingeniería de los Materiales*. México D.F.: McGraw-Hill.
- [www.cedal.com.ec](http://www.cedal.com.ec). (s.f.). Obtenido de [www.cedal.com.ec](http://www.cedal.com.ec)



## **ANEXOS**