

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA

---

**TEMA:** “ESTUDIO DE LA ALEACIÓN COMPUESTA COBRE - ZINC - PLOMO PARA DETERMINAR SUS PROPIEDADES QUÍMICAS Y MECÁNICAS”.

---

TRABAJO DE INVESTIGACION  
PREVIA A LA OBTENCION DE TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

**AUTOR:** PABLO ALEJANDRO FIALLOS ACOSTA

**TUTOR:** Ing. Mg. SEGUNDO MANUEL ESPÍN LAGOS

AMBATO – ECUADOR – 2013

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de Tutor del trabajo de investigación, previo a la obtención de título de Ingeniero Mecánico, con el tema: “ESTUDIO DE LA ALEACIÓN COMPUESTA COBRE - ZINC - PLOMO PARA DETERMINAR SUS PROPIEDADES QUÍMICAS Y MECÁNICAS”, elaborado por el Señor Pablo Alejandro Fiallos Acosta, egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

- Que la presente tesis es original de su autor.
- Ha sido revisada cada uno de sus capítulos.
- Esta concluida y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, Enero del 2014.

---

Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos

TUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

## **AUTORÍA DE LA TESIS**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de investigación con el tema: “ESTUDIO DE LA ALEACIÓN COMPUESTA COBRE - ZINC - PLOMO PARA DETERMINAR SUS PROPIEDADES QUÍMICAS Y MECÁNICAS” nos corresponde exclusivamente a Pablo Alejandro Fiallos Acosta Autor y al Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos Tutor del Trabajo de Investigación; el Patrimonio intelectual del mismo a la Universidad Técnica de Ambato.

---

Pablo Alejandro Fiallos Acosta

Autor

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación va dedicado con todo respeto y cariño a mi madre Narcisa que la amo mucho, quien siempre cree y confía en mí y con su apoyo sabe que voy a llegar muy lejos.

A mi esposa Verónica, a quien amo con todas las fuerzas de mi corazón y siempre estará apoyándome incondicionalmente en los momentos más importantes de nuestras vidas.

A mis hijos Sarahí Elizabeth y Joaquín Alejandro, ya que ellos son mi fuente de energía y el motor que da sentido a mi vida.

A mis hermanos Diego, Ismael, Eduardo, Fernando y Andrea que con su apoyo, cariño y sus ocurrencias completan mi vida llenándola de emociones y alegrías.

A mi tío Aurelio Fiallos, donde quiera que se encuentre, que ha sido como mi padre, ya que supo apoyarme en los momentos más críticos de mi vida y ser un consejero para guiarme por el camino del éxito.

A Rocío Fiallos que nos dejaste un vacío muy grande y fuiste un ejemplo vivo de superación.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer de todo corazón a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato y a todo el personal docente por haberme formado como profesional, brindándome una gran cantidad de conocimiento y sabiduría que estoy seguro me servirán para engrandecer a mi País.

A mi tutor Ing. Mg. Segundo Espín quien supo regalarme mucho de su valioso tiempo y es buen ejemplo a seguir, ya que ha formado más que profesionales excelentes personas con buenos valores de responsabilidad y honestidad.

A toda mi familia que creyó en mí y me brindo todo tipo de apoyo moral y económico y sé que nunca dejaran de estar a mi lado.

A todos mis amigos, compañeros y docentes de la Universidad Técnica De Ambato que me apoyaron para terminar mi carrera y siempre estuvieron presentes con sus consejos y sumando esfuerzos para ayudarme a concluir el presente trabajo.

## INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

### PAGINAS PRELIMINARES

PÁGINA DE TITULO	I
PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TUTOR	II
PÁGINA DE AUTORÍA DE LA TESIS	III
PÁGINA DE DEDICATORIA	IV
PÁGINA DE AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
RESUMEN EJECUTIVO	XXI

### CAPÍTULO I EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.	TEMA	1
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2.1	CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.2.2	ANÁLISIS CRÍTICO	3
1.2.3	PROGNOSIS	4
1.2.4	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2.5	PREGUNTAS DIRECTRICES	4
1.2.6	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.2.6.1	Delimitación del contenido	5
1.2.6.2	Delimitación espacial	5
1.2.6.3	Delimitación temporal	6
1.3	JUSTIFICACIÓN	6
1.4	OBJETIVOS	7
1.4.1	OBJETIVO GENERAL	7
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8

### CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.	MARCO TEÓRICO	9
2.1	Antecedentes investigativos	9
2.2	Fundamentación Filosófica	10
2.3	Fundamentación legal	10
2.4	Fundamentación Teórica	11
2.4.1	Aleaciones de Cobre Zinc y Plomo (latones al Plomo)	11
2.4.1.1	Razones para su utilización	12
2.4.2	Latón rico en Zinc al Plomo (Latón de maquinado Fácil)	15

2.4.2.1	Otros tipos de Latón	15
2.4.3	Diagramas de fase	16
2.4.3.1	Diagramas de fase ternarios	16
2.4.4	Propiedades del Cobre, Zinc y Plomo	18
2.4.4.1	El Cobre (Cu)	18
2.4.4.2	El Zinc (Zn)	19
2.4.4.3	El Plomo (Pb)	19
2.4.5	Resistencia a la tracción y deformación en metales	20
2.4.5.1	Deformación Plástica	20
2.4.5.2	Deformación elástica	21
2.4.5.3	Resistencia a la tracción	21
2.4.5.4	Ensayo de Tracción	22
2.4.5.5	Requerimientos para probetas de tensión	23
2.4.6	Usos de los durómetros Rockwel y Brinell	24
2.4.6.1	Dureza	24
2.4.6.2	Uso del durómetro Rockwel	25
2.4.6.3	Uso del durómetro Brinell	25
2.4.7	Propiedades Mecánicas, Químicas y Físicas de los materiales	28
2.4.7.1	Propiedades Mecánicas e importancias tecnológicas	28
2.4.7.2	Propiedades Químicas	30
2.4.7.3	Propiedades Físicas	31
2.5	CATEGORÍAS FUNDAMENTALES	33
2.6	HIPÓTESIS	34
2.7	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	34
2.7.1	Variable Independiente	34
2.7.2	Variable Dependiente	34

### **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

3.1	ENFOQUE	35
3.2	MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	35
3.3	NIVELES DE INVESTIGACIÓN	36
3.3.1	Investigación Exploratoria	36
3.3.2	Investigación Descriptiva	36
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA	37
3.4.1	Población	37
3.4.2	Muestra	38
3.5	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	38
3.5.1	Variable Independiente	38
3.5.2	Variable Dependiente	40
3.6	RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	41
3.6.1	Técnicas e instrumentos utilizados en la observación	41
3.6.2	Técnicas e instrumentos documentales	41

3.7	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	42
-----	--------------------------	----

## CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS	43
4.1.1	Prueba 1	43
4.1.2	Prueba 2	44
4.1.3	Prueba 3	45
4.1.3.1	Microestructura de la aleación Prueba 3	46
4.1.3.2	Ensayo de dureza Prueba 3	50
4.1.3.3	Análisis químico Prueba 3	51
4.1.3.4	Ensayo de tracción Prueba 3	52
4.1.4	Prueba 4	52
4.1.4.1	Microestructura de la aleación Prueba 4	53
4.1.4.2	Ensayo de dureza Prueba 4	60
4.1.4.3	Ensayo de tracción de la probeta, Prueba 4	60
4.1.4.4	Ensayo químico de análisis por Espectrometría de Chispa, Prueba 4	62
4.1.5	Prueba 5	63
4.1.5.1	Microestructura de la aleación Prueba 5	64
4.1.5.2	Ensayo de tracción de la probeta, Prueba 5	67
4.1.5.3	Ensayo de dureza Prueba 5	68
4.1.5.4	Análisis químico de la Prueba 5	68
4.1.6	Prueba 6	69
4.1.6.1	Microestructura de la aleación Prueba 6	70
4.1.6.2	Ensayo de dureza Prueba 6	72
4.1.6.3	Ensayo de tracción para la aleación obtenida, Prueba 6	72
4.1.6.4	Análisis químico, Prueba 6	75
4.1.7	Prueba 7	76
4.1.7.1	Microestructura de la aleación Prueba 7	77
4.1.7.2	Análisis químico para la Prueba 7	78
4.1.7.3	Ensayo de tracción en la Prueba 7	79
4.1.7.4	Ensayo de dureza en la Prueba 7	81
4.1.8	Prueba 8	82
4.1.8.1	Análisis metalográfico en la Prueba 8	83
4.1.8.2	Análisis químico para la Prueba 8	86
4.1.8.3	Ensayo de tracción para la Prueba 8	87
4.1.8.4	Ensayo de dureza para la Prueba 8	89
4.1.9	ENSAYO DE MAQUINABILIDAD	90
4.1.9.1	Ensayo del tiempo de vida de la herramienta	94
4.1.9.2	Desarrollo del experimento	96
4.1.9.3	Determinación de la ecuación de Taylor	101
4.1.9.3.1	Determinación de la ecuación de Taylor para la prueba 8	101



4.1.9.3.2	Determinación de la ecuación de Taylor para la prueba 4	103
4.1.9.4	Determinación del índice de maquinabilidad IM	105
4.1.9.5	Determinación de la maquinabilidad del material por otros parámetros	107
4.2	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	110
4.3	VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	114
4.3.1	Prueba t para 2 colas para la prueba 3 con un nivel de significancia $\alpha=0.05$	116
4.3.1.1	DUREZA (Prueba 3)	116
4.3.2	Prueba t para 2 colas para la prueba 4 con un nivel de significancia $\alpha=0.05$	117
4.3.2.1	DUREZA (Prueba 4)	117
4.3.3	Prueba t para 2 colas para la prueba 5 con un nivel de significancia $\alpha=0.05$	119
4.3.3.1	DUREZA (Prueba 5)	119
4.3.4	Prueba t para 2 colas para la prueba 6 con un nivel de significancia $\alpha=0.05$	120
4.3.4.1	DUREZA (Prueba 6)	120
4.3.5	Prueba t para 2 colas para la prueba 7 con un nivel de significancia $\alpha=0.05$	122
4.3.5.1	DUREZA (Prueba 7)	122
4.3.5.2	RESISTENCIA (Prueba 7)	123
4.3.6	Prueba t para 2 colas para la prueba 8 con un nivel de significancia $\alpha=0.05$	125
4.3.6.1	DUREZA (Prueba 8)	125
4.3.6.1	RESISTENCIA (Prueba 8)	126

## **CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	CONCLUSIONES	132
5.2	RECOMENDACIONES	134

## **CAPÍTULO VI PROPUESTA**

6.1	DATOS INFORMATIVOS	136
6.2	ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA	137
6.3	JUSTIFICACIÓN	137
6.4	OBJETIVOS	137
6.4.1	Objetivo general	137
6.4.2	Objetivos Específicos	138
6.5	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	138
6.6	FUNDAMENTACIÓN	139

6.7	METODOLOGÍA	140
6.7.1	Propósito	140
6.7.2	Alcance	141
6.7.3	Responsabilidades	141
6.7.3.1	Responsable 1	141
6.7.4	Proceso	141
6.7.4.1	Preparación de moldes, arenas de moldeo y moldeo en cajas.	141
6.7.4.2	Preparación del Cu, Zn, Pb.	149
6.7.4.3	Preparación del crisol A6.	151
6.7.4.4	Preparación del horno de inducción, control del sistema de enfriamiento y encendido.	151
6.7.4.5	Fusión del cobre, adición de los demás elementos y homogenización de la colada.	153
6.7.4.6	Colado de las cajas y desmolde de las mismas.	155
6.7.4.7	Desmolde de las cajas	156
6.7.4.8	Mecanizado de las probetas.	157
6.7.4.9	Análisis Químico.	158
6.7.4.10	Análisis Metalográfico	158
6.7.4.11	Ensayo de dureza	162
6.7.4.12	Ensayos de tracción.	165
6.7.4.13	Evaluación y resultados.	167
6.7.4.14	Determinación de una aplicación industrial	168
6.8	ADMINISTRACIÓN	170
6.9	PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN	173
7.	BIBLIOGRAFÍA	174
7.1	LINKOGRAFÍA	175

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Propiedades del cobre, zinc, plomo.	20
Tabla 2	Tabla de comparación entre la dureza y la resistencia a la tracción.	27
Tabla 3	Tabla de las propiedades mecánicas de los metales no ferrosos.	30
Tabla 4	Tabla de la clasificación de las propiedades de los materiales de ingeniería.	32
Tabla 5	Valores de Dureza BRINELL Prueba de fundición 3 realizada en la probeta (A) solamente.	51
Tabla 6	Resultados del ensayo químico de análisis por Espectrometría de Rayos X en la probeta B de la prueba 3	52
Tabla 7	Valores de Dureza BRINELL Prueba de fundición 4 realizada en la probeta (A) solamente.	60

Tabla 8	Resultados del ensayo químico de análisis por Espectrometría de Chispa de la prueba 4	63
Tabla 9	Valores de Dureza BRINELL Prueba de fundición 5.	68
Tabla 10	Análisis químico de la prueba 5	69
Tabla 11	Valores de Dureza BRINELL Prueba de fundición 6.	72
Tabla 12	Resultado del análisis químico prueba 6	75
Tabla 13	Resultado del análisis químico prueba 7	79
Tabla 14	Valores de Dureza BRINELL Prueba de fundición 7	82
Tabla 15	Resultado del análisis químico prueba 8	87
Tabla 16	Valores de Dureza BRINELL Prueba de fundición 8.	90
Tabla 17	Parámetros de corte seleccionados	94
Tabla 18	Resultado del ensayo de dureza en la primera prueba	98
Tabla 19	Resultado del ensayo de dureza en la segunda prueba	99
Tabla 20	Resultado del ensayo de dureza en la tercera prueba	100
Tabla 21	Resumen de ensayos realizados.	110
Tabla 22	Resultado de variación de propiedades de acuerdo a la variación de los porcentajes del material de aporte	129
Tabla 23	Resultado del análisis químico prueba 8	158
Tabla 24	Dureza Brinell para la prueba 8	163
Tabla 25	Resultado de los ensayos en la aleación compuesta con 100% de maquinabilidad Cu=58.978%, Zn=36.958%, Pb=3.357%.	167
Tabla 26	Detalle de gastos de materiales	171
Tabla 27	Detalle de gastos Recursos Humanos	172
Tabla 28	Detalle de gastos suministros	172
Tabla 29	Detalle de gastos totales	172

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Efecto de la adición de plomo en los latones	9
Figura 2	Nivel de maquinabilidad de los latones según contenido de plomo	13
Figura 3	Imagen de microscopía electrónica de barrido	14
Figura 4	Esquema para representar la composición de un sistema ternario	17
Figura 5	Diagrama ternario de fase ( Cu Pb Zn)	18
Figura 6	Máquina Universal para ensayos de Tracción, de la FICM de la Universidad Técnica de Ambato	22
Figura 7	Probeta cilíndrica espécimen 1 para el ensayo de tracción.	23
Figura 8	Esquema que muestra la aplicación de cargas mayor y menor	24
Figura 9	Durómetro de metales electrónico, gentileza de la facultad de ingeniería civil y mecánica del laboratorio de materiales de la UTA	26

Figura 10	Microestructura Prueba 3 (probeta A) a 200X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 7 segundos con presencia de fase alfa y beta	46
Figura 11	Microestructura Prueba 3 (probeta A) a 400X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 7 segundos con presencia de fase alfa y beta	47
Figura 12	Probeta (A) Prueba 3 tomada de una muestra regada, se observa agrietamientos, posiblemente debido al contacto con el suelo	47
Figura 13	Microestructura Prueba 3 (probeta B) a 200X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 7 segundos, observando claramente la presencia de plomo en la microestructura con fase alfa y beta	48
Figura 14	Microestructura Prueba 3 (probeta B) a 400X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 7 segundos, se observa fase alfa y beta	49
Figura 15	Probeta (B) Prueba 3 tomada de una muestra regada con mayor volumen, se observa secciones de diferente color que pueden ser partículas de zinc no fusionadas correctamente	50
Figura 16	Microestructura Prueba 4 (probeta A) a 200X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 2 segundos, se puede observar la fase alfa y beta	54
Figura 17	Microestructura Prueba 4 (probeta A) a 100X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 2 segundos, con presencia de fase alfa y beta	55
Figura 18	Microestructura Prueba 4 (probeta A) a 400X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 2 segundos, presencia de fase alfa y beta	56
Figura 19	Probeta (A) prueba 4, tomada del bebedero de entrada, luego del ensayo de microestructura y de dureza	56
Figura 20	Microestructura Prueba 4 (probeta B) a 100X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 4 segundos, se observa fase alfa y beta	57

Figura 21	Microestructura Prueba 4 (probeta B) a 200X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 4 segundos, con presencia de fase alfa y beta	58
Figura 22	Microestructura Prueba 4 (probeta B) a 400X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 4 segundos, con presencia de fase alfa y beta	59
Figura 23	Probeta (B), tomada del bebedero de salida con ataque químico	59
Figura 24	Probeta 4.1 para ensayo de tracción según norma ASTM-8	61
Figura 25a	Máquina universal del laboratorio de resistencia de materiales de la carrera de ingeniería civil	61
Figura 25b	Probeta ubicada en la máquina universal con el reloj palpador para medir la deformación	61
Figura 26	Diagrama Esfuerzo deformación para la probeta 4.1	62
Figura 27	Ensayo químico de análisis por Espectrometría de Chispa de la prueba 4	63
Figura 28	Microestructura Prueba 5 a 100X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 2 segundos	65
Figura 29	Microestructura Prueba 5 a 200X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 2 segundos	66
Figura 30	Probeta para ensayo de microestructura prueba 5,	66
Figura 31	Probeta para ensayo de tracción prueba 5 no concreta por ruptura al maquinar	67
Figura 32	Probeta para ensayo de tracción prueba 5, con exceso de porosidad, no apta para el ensayo.	67
Figura 33	Microestructura Prueba 6 a 100X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 3 segundos	70
Figura 34	Microestructura Prueba 6 a 100X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 3 segundos,	71
Figura 35a	Ruptura de la probeta al momento de maquinar la rosca	73
Figura 35b	Vista del tamaño de grano muy grueso	73
Figura 36	Probeta A de la prueba 6 para ensayo de tracción según norma ASTM-8.	73
Figura 37	Máquina universal de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, para ensayo de tracción según norma ASTM-8.	74
Figura 38	Diagrama Esfuerzo deformación para la prueba 6	74
Figura 39	Probeta prueba 6 ensayada a tracción	75

Figura 40	Microestructura Prueba 7 a 100X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 3 segundos,	77
Figura 41	Microestructura Prueba 7 a 200X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 7 segundos	78
Figura 42	Diagrama Esfuerzo deformación para la prueba 7 probeta 1 alcanzando una resistencia máxima de 2820.30 Kg/cm <sup>2</sup>	80
Figura 43	Diagrama Esfuerzo deformación para la prueba 7 probeta 2 alcanzando una resistencia máxima de 2393 Kg/cm <sup>2</sup>	81
Figura 44	Microestructura Prueba 8 a 100X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 4 segundos	84
Figura 45	Microestructura Prueba 8 a 100X, sin ataque	85
Figura 46	Microestructura Prueba 8 a 200X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 4 segundos	86
Figura 47	Diagrama Esfuerzo deformación para la prueba 8 probeta 1 donde se obtuvo una resistencia máxima de 1958.80 Kg/cm <sup>2</sup>	88
Figura 48	Diagrama Esfuerzo deformación para la prueba 8 probeta 2 donde se obtuvo una resistencia máxima de 2092.80 Kg/cm <sup>2</sup>	89
Figura 49	Probeta para el ensayo de maquinabilidad	92
Figura 50	Probeta 3 para el ensayo de maquinabilidad	92
Figura 51	Cuchilla de acero rápido de ¼ x 2 1/2 HSS Rc66 afilada en sus dos extremos	94
Figura 52	Toma de la medida del desgaste con la escala del macrómetro de la FICM	95
Figura 53	Huella en la punta de la cuchilla para realizar las respectivas medidas a 40 X tomada con el microscopio de la de la FICM	95
Figura 54	Sujeción de la probeta en el torno	96
Figura 55	Viruta que se obtuvo al maquinar con una profundidad de corte de 4.5mm	107
Figura 56	Punta de la cuchilla antes y después del maquinado	108
Figura 57	Probeta antes y después del maquinado	108
Figura 58	Comparación de las virutas	109
Figura 59	Crisol de grafito arcilla A6 sobresale la bobina del horno de inducción	112
Figura 60	Comparación de dureza Brinell en cada prueba	115
Figura 61	Comparación de resistencia a la tracción expresada en Kilo Newton para cada prueba	115
Figura 62	Moldes de madera cortados en la mitad en el proceso de moldeo	142

Figura 63	Tamizado de arena y arena fina lista para la primera capa de llenado del molde	143
Figura 64	Cajas de moldeo con las trabas y sujetadores	144
Figura 65	Colocación de los medios moldes para la primera caja	145
Figura 66	Unión de la otra parte de los moldes por medio de tornillos	146
Figura 67	Caja llena con los respectivos bebederos	147
Figura 68	Las dos partes de la caja una vez extraídos los moldes y bebederos y realizado los canales de distribución de la colada	147
Figura 69	Caja lista para el secado con mechero a gas	148
Figura 70	Secado de la arena con el mechero a gas para evitar porosidad en el material	148
Figura 71	Alambre de cobre y pesaje del mismo con el material preparado	149
Figura 72	Ánodo de zinc y pesaje del material cortado	150
Figura 73	Lingote de plomo y pesaje del material cortado	150
Figura 74	Horno de inducción del laboratorio de fundición de la FICM-UTA	152
Figura 75	Pantallas de los tiempos de Calentamiento, Retención y Enfriamiento respectivamente del horno de inducción del laboratorio de fundición de la FICM-UTA	152
Figura 76	Crisol A6 preparado con el cobre apunto de fundirse en la bobina del horno a inducción	154
Figura 77	Reacción química con desprendimiento de oxido de Zinc	154
Figura 78	Extracción del crisol y llenado en el molde de arena	155
Figura 79	Extracción de la aleación compuesta Cu, Zn y Pb de la caja de moldeo	156
Figura 80	Probeta para el ensayo a tracción según la norma ASTM E-8	157
Figura 81	Maquinado de probetas en el torno y probeta lista para el ensayo a tracción maquinada según la norma ASTM E-8	157
Figura 82	Pulido de la probeta antes del análisis químico en el banco de lijas	159
Figura 83	Pulido de la probeta en el paño y probeta lista para el ataque químico	159
Figura 84	Reactivo químico para aleaciones de cobre con su composición química: 20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada y ataque químico en las probetas	160
Figura 85	Microscopio utilizado para análisis metalográfico y la probeta en observación	161
Figura 86	Microestructura Prueba 5 a 100X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada) durante 2 segundos	162
Figura 87	Probeta lista para el ensayo de dureza	163

Figura 88	Impresión de las huellas en el durómetro de la FICM – UTA	164
Figura 89	Microscopio para medir el diámetro de la impresión y toma de medida de las impresiones	164
Figura 90	Diagrama Esfuerzo deformación para la prueba 8 probeta 1	166
Figura 91	Fabricación de los moldes de madera para la aplicación industrial	169
Figura 92a	Lingotes fundidos con la aleación antes de la fabricación de las bases de las puertas	169
Figura 92b	Bases de las puertas fabricadas	169
Figura 93	Ejes para los bujes de las puertas del autobús ORION 1	170



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**Autor:** Pablo Alejandro Fiallos Acosta  
**Tutor:** Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos.  
**Fecha:** Enero 2014

**RESUMEN**

El Presente trabajo muestra la investigación realizada en la fundición compuesta de Cobre, Zinc y Plomo, variando los porcentajes de dichos materiales para analizar el cambio de las propiedades en función a la variación de los porcentajes de la composición.

Se realizaron ensayos de tracción, dureza y análisis metalográfico en los laboratorios de la Facultad de ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato y ensayos de la composición química en la Escuela Politécnica Nacional así como también en la EMPRESA NOVACERO de la ciudad de Latacunga.

Se comprobó cómo cambian las propiedades mecánicas al variar los porcentajes de los elementos de la aleación Cu - Zn - Pb.

Se obtuvo conclusiones y recomendaciones en función de los resultados obtenidos, variando las propiedades mecánicas de acuerdo a las necesidades de aplicaciones industriales de dicha aleación.

Por último se obtuvo un proceso que determinó la aleación con mejores propiedades indicando el procedimiento apropiado para su generación.

**Palabras Clave:** Aleación, metalografía, espectrometría, propiedades mecánicas, tracción, dureza, ensayo, fundición, arenas de moldeo, bebederos, tamiz.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO**  
**SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING AND MECHANICS**  
**CAREER MECHANICAL ENGINEERING**

**Author:** Pablo Alejandro Acosta Fiallos

**Tutor:** Ing. Mg . Segundo Manuel Espín Lagos.

**Date:** January 2014

**ABSTRACT**

The present paper shows the research done in the composite cast Copper, Zinc and Lead, varying percentages of these materials to analyze the change of the properties according to the variation of the percentages of the composition.

Tensile, hardness and metallographic analyzes were performed in the laboratories of the Faculty of Civil Engineering and Mechanics at the Technical University of Ambato and testing of the chemical composition at the National Polytechnic School as well as the NOVACERO COMPANY city of Latacunga.

Checked how the mechanical switch to vary the percentages of the elements of the Cu alloy properties - Zn - Pb.

Conclusions and recommendations based on the results obtained by varying the mechanical properties according to the needs of industrial applications of this alloy.

Finally a process that determined the alloy with improved properties indicating the proper procedure for their generation was obtained.

Keywords: Wheels, metallographic, spectroscopy, mechanical properties, tensile, hardness, testing, casting, molding sands, drinkers, sieve.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1. TEMA:**

“ESTUDIO DE LA ALEACIÓN COMPUESTA COBRE – ZINC – PLOMO PARA DETERMINAR SUS PROPIEDADES QUÍMICAS Y MECÁNICAS”.

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN**

Las aleaciones a base de cobre zinc y plomo son aleaciones que permiten variar mucho sus propiedades de acuerdo a múltiples necesidades, éstas abren un nuevo campo de aplicaciones tecnológicas respecto a los materiales convencionales, al variar los porcentajes de sus componentes presentan otras propiedades que las hacen diferentes de las típicas de los metales, como puede ser: la mayor facilidad de maquinabilidad, dureza, resistencia a la corrosión, etc. Dentro de estas aleaciones hay algunos grupos importantes, las más comunes tienen de un 30 a 45% de Zn.

En octubre de 1999 el Fiscal general del Estado de California. Realizó pruebas de laboratorio, con varios productos de latón con plomo los investigadores estatales encontraron algunas propiedades en dichos materiales que fueron utilizados para numerosas aplicaciones.

En el estudio comparativo de barras de latón al plomo para procesos de forja en válvulas de gas realizado por Felipe Gutiérrez en la Universidad de Santiago de Chile, Departamento de Ingeniería Metalúrgica<sup>1</sup>.

Encontró que las macroestructuras de las barras obtenidas por colada continua son totalmente columnares lo que corresponde para la composición de la aleación. Por otro lado las macroestructuras de barras extruidas están exentas de granos columnares y notoriamente más finas que las de colada continua.

En el estudio comparativo de los parámetros que influyen en la maquinabilidad de los latones al plomo de Pablo García realizado en el Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Universidad de Oviedo. Se ha realizado dicho estudio comparativo entre dos barras de latón al plomo con el fin de determinar las causas del distinto comportamiento observado en ambas ante procesos de corte.

Tratándose de aleaciones idénticas del tipo CuZnPb y de igual geometría, se ha estudiado la composición química, las propiedades mecánicas y la microestructura en ambas muestras. Se han encontrado diferencias significativas en cuanto a la distribución y tamaño de los glóbulos de plomo y en cuanto a la proporción de fases, lo que indicaría que las velocidades de solidificación han sido distintas en cada una de las barras examinadas; siendo la distribución de plomo la causa fundamental que afecta a la maquinabilidad de dichas aleaciones.

En definitiva, a la vista del estudio realizado y de las diferencias puestas en evidencia entre las dos barras de latón, el quemado y mayor desgaste de la herramienta de corte

---

<sup>1</sup> Felipe Gutiérrez, 2010, estudio comparativo de barras de latón al plomo para procesos de forja Universidad de Santiago de Chile, Departamento de Ingeniería metalúrgica.

que ocasiona la muestra debe achacarse a la peor distribución del plomo en su microestructura, este metal aparece distribuido de manera mucho más heterogénea y en forma de glóbulos apreciablemente mayores, lo que dificulta el logro de una lubricación eficiente de la herramienta.

Dado que el plomo se forma durante la solidificación de la barra y, siendo un elemento totalmente insoluble en estado sólido, su distribución no resulta afectada por el proceso de extrusión posterior, parecería aconsejable aumentar la velocidad de enfriamiento de la colada de la barra con el propósito de obtener una precipitación de plomo más fina y dispersa<sup>2</sup>.

En nuestro País hasta el momento, no se conoce de ningún estudio realizado sobre materiales de latón al plomo, por esta razón se ha tomado la iniciativa en realizar ésta Investigación, en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato y con el apoyo de los Laboratorios de Tratamientos Térmicos, Resistencia de Materiales y Taller de Fundición.

### **1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO**

Debido a la limitada investigación de la aleación compuesta del Cobre, Zinc, Plomo, no se ha podido desarrollar nuevas aplicaciones industriales y productos de calidad por desconocimiento de sus propiedades.

---

<sup>2</sup> **García Pablo, 2009, Estudio comparativo de los parámetros influyentes en la maquinabilidad de los latones al plomo, Universidad de Oviedo**

Este tipo de aleación, nos ofrece grandes expectativas para aplicaciones Industriales, y es por esta razón que nos motiva a profundizar este estudio, para determinar parámetros desconocidos por los ingenieros de diseño, lo que limita su aplicación industrial.

Tecnológicamente es factible de realizarlo, la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato cuenta con los equipos necesarios y el personal técnico para ésta investigación, cuyos resultados serán aprovechados por los Ingenieros para desarrollar nuevos productos en nuestra Universidad y en nuestro país.

### **1.2.3 PROGNOSIS**

La falta de estudios en el área de latones al plomo limitaría la competitividad industrial de nuestro país.

### **1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿La determinación de propiedades químicas y mecánicas de la aleación compuesta de cobre zinc y plomo mejorará la calidad y productividad de elementos fabricados con dicha aleación en nuestro medio?

### **1.2.5. PREGUNTAS DIRECTRICES**

¿Con qué proceso se obtendrá la aleación compuesta cobre zinc plomo más apropiada?  
¿Qué porcentajes determinaran una mezcla con mejores propiedades para la aleación compuesta cobre zinc plomo?

¿Cómo variarán las propiedades que presentará la aleación compuesta cobre zinc plomo obtenida?

¿Cómo se podrá aplicar las propiedades obtenidas en la industria?

## **1.2.6. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.6.1. Delimitación de contenido**

Los parámetros están enmarcados dentro del campo de Ingeniería Mecánica, específicamente dentro de las líneas de investigación de la ingeniería ya que se estudiaron materiales que serán aplicados en el campo del diseño mecánico, para lo cual se hizo uso de los servicios de internet, biblioteca física y laboratorios, empleando normas y demás documentación relacionadas al ensayo de materiales.

### **1.2.6.2 Delimitación espacial**

La presente investigación con los diferentes procesos como la obtención de la aleación, y los ensayos de tracción se lo realizaron en la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica y laboratorio de ensayo de elementos de la carrera de Ingeniería Civil campus Huachi.

### **1.2.6.3 Delimitación temporal**

La ejecución de esta investigación sobre el estudio de la aleación compuesta del cobre, zinc y plomo para determinar sus propiedades químicas y mecánicas se realizaron durante el periodo establecido de Febrero 2013 – Octubre 2013.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Los latones con aleación compuesta de plomo poseen propiedades que los diferencian del resto de materiales. Estas propiedades no son propiedades mejoradas respecto a los materiales convencionales, sino que son nuevas propiedades que hacen que el proceso de diseño deba ser modificado.

La comprensión de estas propiedades y la estandarización de todos los parámetros que las caracterizan por parte de todas aquellas personas involucradas en el proceso de diseño, harán que estos materiales adquieran una importancia industrial que aún no tienen. En este estudio se constatarán propiedades que caracterizan a este tipo de aleación.

Para desarrollar este tipo de aleaciones compuestas se ha necesitado de algunas tecnologías, el origen de los materiales que dan lugar a las nuevas propiedades químicas y mecánicas son bien conocidos actualmente, no pudiendo decir lo mismo de los estudios de ingeniería. En segundo lugar a que estos materiales son bien conocidos por la comunidad científica, pero no así por los diseñadores e ingenieros de diseño.

Las nuevas aleaciones, no son simplemente un nuevo tipo de material, se presentan como una nueva filosofía en el campo de la ingeniería y el diseño. Es este hecho, el



responsable de que los parámetros de diseño utilizados para este tipo de materiales, sean diferentes a los utilizados para la mayoría de los materiales funcionales. Así, los parámetros de diseño como son el límite elástico, la resistencia máxima, el módulo elástico, la ductilidad, dureza, entre otros, son reemplazados por propiedades o parámetros tales como: maquinabilidad, resistencias térmicas, resistencias eléctricas, etc.

El estudio de las propiedades químicas y mecánicas de estas aleaciones compuestas abre nuevas posibilidades en el campo del diseño y la ingeniería de diseño. En nuestro país, hasta este momento existen escasas investigaciones sobre los materiales con latones al plomo. En la provincia de Tungurahua se están realizando varios estudios de materiales pero no concretamente de aleaciones compuestas de cobre zinc y plomo, es por este hecho, que he tomado la decisión, ya que es una investigación factible de realizarla, lo cual contribuirá en el desarrollo de nuevas aplicaciones de este tipo de materiales en el campo ingenieril del diseño industrial, aportando de alguna manera al desarrollo de la provincia y de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Determinar las propiedades químicas y mecánicas de la aleación compuesta del cobre zinc y plomo.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar el proceso idóneo para obtener la aleación compuesta de cobre zinc y plomo.
- Realizar ensayo de fundición variando los porcentajes del cobre, zinc y plomo.
- Determinar su composición química mediante una espectrometría.
- Realizar pruebas mecánicas de Tracción y Dureza a las probetas.
- Realizar el análisis metalográfico de las probetas obtenidas.
- Determinar el procedimiento de la aleación compuesta con mejores propiedades químicas y mecánicas, obtenida de los ensayos realizados de las probetas obtenidas.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes investigativos

La metalurgia del latón es casi tan antigua como la del cobre, en el último milenio se considera una aleación ingenieril, por sus aplicaciones industriales. Los egipcios representaban el cobre y sus aleaciones con el símbolo de vida eterna por sus propiedades de larga durabilidad. El latón, aleación de cobre y zinc, se empezó a usar con el fin de obtener el color dorado.

Durante el proceso de mezclado, el zinc se extrae de la calamina y se mezcla con el cobre. El zinc puro, por otra parte, tiene un bajísimo punto de fusión como para haber sido producido por las técnicas antiguas para el trabajo del metal. Otros elementos se alean en pequeñas cantidades para aumentar ciertas características, como pueden ser la resistencia a la corrosión o la maquinabilidad en el caso de aleación con plomo.

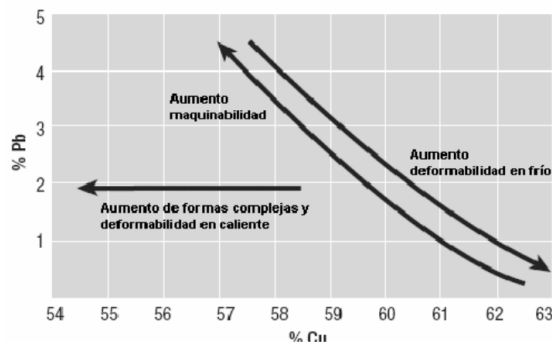


Figura 1. Efecto de la adición de plomo en los latones (Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/5703/1/PFC%20DEFINITIU%20Eul%20C3%A0lia%20Nogu%20C3%A9s.pdf>)

El plomo es un elemento de aleación muy común, hasta un 3% se adiciona en latones alfa-beta para mejorar la maquinabilidad.

El plomo es insoluble en las fases  $\alpha$  y  $\beta$ , por eso es una aleación compuesta, pero está en forma de finas partículas esféricas y distribuidas en forma discontinua y dispersa. No tiene efecto en la resistencia a la corrosión, pero puede dar lugar al agrietamiento en el trabajo en caliente.

Los latones de fácil mecanizado contienen alrededor del 39% de zinc y el 3% de plomo.

A medida que se fue descubriendo los cambios en las propiedades del latón, muchas más aleaciones fueron estudiadas. Aunque en la actualidad una amplia gama de aleaciones es conocida por exhibir un sin número de mejoras, solo aquellas que son capaces de resistir fuerzas, mejorar su maquinabilidad, tener excelente dureza, son de interés comercial.

## **2.2 Fundamentación Filosófica**

La presente investigación se realizó en el paradigma crítico propositivo; crítico porque aporta a una realidad de avances tecnológicos en el área de ingeniería de materiales y propositivo por que busca plantear una alternativa de solución a la escasa disponibilidad de materiales con propiedades optimas para cada necesidad.

## **2.3 Fundamentación legal**

La presente investigación se desarrollará basada en las normas técnicas

ASTM:

ASTM E-3 Norma Práctica para la Preparación de Muestras de Metalografía

ASTM E-7 Norma de la terminología que relaciona a la metalografía

ASTM E-8 Norma de la Prueba de Métodos para Tensión de Materiales Metálicos

ASTM E-18 Norma Para Ensayos de Dureza Rockwell y de la Dureza Superficial de los Materiales Metálicos

## **2.4. Fundamentación Teórica**

### **2.4.1 Aleaciones del Cobre Zinc y Plomo (Latones al Plomo)**

Los latones son la aleación de cobre más común. Comprenden una amplia zona de aleaciones que va desde un 45 al 95% de cobre y el resto de zinc, con o sin la adición de cantidades relativamente pequeñas de otros elementos (estaño, plomo, manganeso, níquel, aluminio y silicio). Debe tenerse en cuenta que los latones con más del 50 % de zinc son muy frágiles, por lo que no se emplean industrialmente.

El latón, es una aleación de cobre y zinc. Las proporciones de cobre y zinc pueden variar para crear una variedad de latones con propiedades diversas. En los latones industriales el porcentaje de Zn se mantiene siempre inferior al 20%. Su composición influye en las características mecánicas, la fusibilidad y la capacidad de conformación por fundición, forja, troquelado y mecanizado.

En frío, los lingotes obtenidos pueden transformarse en láminas de diferentes espesores, varillas o cortarse en tiras susceptibles de estirarse para fabricar alambres. Su densidad también depende de su composición. En general, la densidad del latón ronda entre 8,4g/cm<sup>3</sup> y 8,7g/cm<sup>3</sup>. Los latones al plomo son aleaciones Cu-Zn-Pb que no suelen

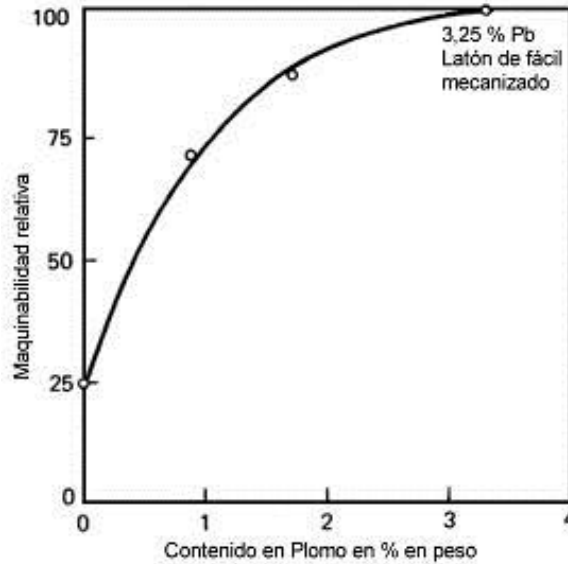
sobrepasar el 40% en Zn, el plomo es prácticamente insoluble en el latón, y se separa en forma de finos glóbulos, lo que favorece la fragmentación de las virutas en el mecanizado. También el plomo tiene un efecto de lubricante por su bajo punto de fusión, lo que permite disminuir el desgaste de la herramienta de corte. El latón admite pocos tratamientos térmicos y sólo se realizan recocidos de recristalización y homogeneización.

La mayoría de los productos de latón para fundir o estampar en caliente necesitan ser fácilmente mecanizados (aleación para tornos automáticos) lo que se consigue con la adición de plomo (1 a 3 %), siendo este uno de los requisitos, por razones económicas y de procesos de fabricación, para poder ser mecanizados de forma rápida y automática. Tengamos en cuenta que el precio de un material depende cada vez menos de su costo de adquisición y cada vez más de los tratamientos y pos tratamientos industriales.

#### **2.4.1.1. Razones para su utilización**

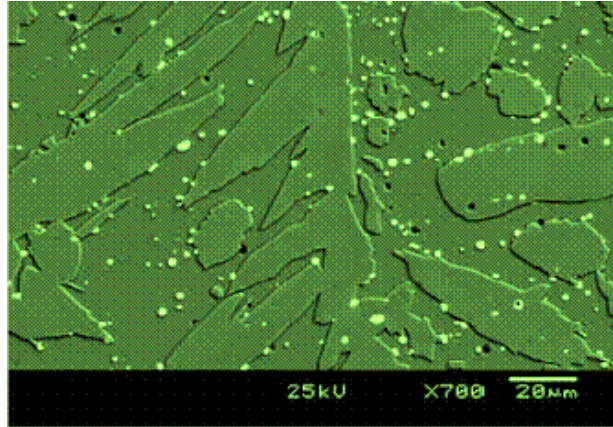
El rango de maquinabilidad de los latones se determina a partir del latón de fácil mecanizado, cuya composición típica es 57-59 % de Cu, 2,5 – 3,5 % de Pb y el resto zinc. Este latón tiene el 100% de maquinabilidad frente a 30 o 40 para los latones sin plomo. Esta propiedad hace disminuir directamente los costos del mecanizado al obtenerse alta velocidad y bajo consumo de herramienta. Las tolerancias se mantienen durante la producción y el acabado superficial es excelente. De hecho desde el punto de vista de la maquinabilidad, los latones con plomo están a la cabeza de todas las demás aleaciones. La solubilidad del plomo en los latones, muy débil a alta temperatura (0.2 a 0.7 % a 750 °C en el Cu-Zn40 y es prácticamente nula en frío (máximo 0.01 %), segregándose en los intersticios del grano como partículas discretas o inclusiones ovoidales que provocan la fragmentación de las virutas que saltan de la herramienta actuando como rompevirutas durante el mecanizado, interviniendo también, debido a su bajo punto de fusión, como lubricante, disminuyendo así el coeficiente de fricción entre la pieza y la herramienta, con un calentamiento menor (aumenta la vida en

servicio) reduciéndose el desgaste del utillaje de corte y la consiguiente mejora de la calidad y de la velocidad del proceso, aunque puede dar lugar al agrietamiento en el trabajo en caliente por corrosión intergranular o tensocorrosión.



**Figura 2. Nivel de maquinabilidad de los latones según contenido de plomo**  
(Fuente:<http://www.monografias.com/trabajos76/griferias-domesticas-plontaminacion>)

En la figura 2 se representa la facilidad de mecanizado en función del contenido en plomo en porcentaje de peso considerando la maquinabilidad relativa igual a 100 para el latón mecanizado con un 3,2 % de plomo. El plomo es insoluble pero está en forma de finas partículas ovoidales (menos de 5  $\mu\text{m}$ ) y distribuidas en forma discontinua y dispersa, presentándose en las micrografías ópticas en forma de esferas oscuras y esferas brillantes en la microscopia electrónica de barrido.



**Figura 3. Imagen de microscopía electrónica de barrido**

(fuente:[http://www.monografias.com/trabajos76/griferias-domesticas-contaminacion-plomo/griferías domesticas-contaminacion-plomo2.shtml#ixzz2Ha6C0RQU](http://www.monografias.com/trabajos76/griferias-domesticas-contaminacion-plomo/griferías%20domesticas-contaminacion-plomo2.shtml#ixzz2Ha6C0RQU))

En las imágenes de microscopía electrónica de barrido (figura 3) se observan las mismas partículas ovoidales de tonalidad clara y brillante. En el pulido de las probetas las partículas de plomo se desprenden y dejan, en su lugar, un poro de tono más oscuro.

En general, poseen las propiedades esenciales del cobre (dúctiles, maleables, buenos conductores, etc.), pero con un menor costo, mayor facilidad para ser trabajados y algo más de resistencia mecánica. Su color varía entre un gris oscuro hasta un amarillo a medida que disminuye el contenido en zinc. Tienen excelente resistencia a la corrosión, siendo económicamente la primera opción para muchas aplicaciones. Con la exposición al aire libre se puede crear una fina película protectora no muy estética de carbonato cúprico.

Las conductividades eléctrica y térmica son propiedades secundarias, siendo el objetivo principal de las aleaciones de cobre conseguir buenas propiedades mecánicas, facilidad de conformación, tanto por forja como por moldeo, y alta resistencia a la corrosión. Esta última propiedad quizás sea la más importante, puesto que, al igual que los aceros inoxidables especiales, el cobre es el único metal apto para ambientes agresivos con un costo considerablemente más bajo que el de los aceros. Estas aleaciones poseen un



contenido en zinc máximo de 50%, pues a porcentajes superiores las aleaciones resultantes son muy frágiles; también el peso específico depende del porcentaje de aleación así como las demás propiedades físicas entre ellas las mecánicas en las que además influye el proceso que se haya utilizado en ellos, así por ejemplo los deformados en frío, igual que ocurre con el cobre, son mucho más resistentes que los latones recocidos.

#### **2.4.2 Latón rico en Zinc al Plomo (Latón de alta velocidad o de maquinado fácil)**

Esta es una aleación que contiene aproximadamente 65% de cobre, de 0.5 % a 3.5 % de plomo y el resto de zinc.

Se usa especialmente par piezas de forma de copa, estiradas o formadas, en las cuales deba hacerse un fileteado preciso. El plomo está presente en forma de partículas finamente dispersas y la propiedad del maquinado o corte fácil se obtiene a costa de su capacidad de estirado, pero el material se emplea en su mayor parte en forma de varillas para máquinas automáticas para roscar o en láminas para punzonado o recortado. La varilla de latón para maquinado fácil contiene 61% de cobre, 32.5% de zinc y 3% de plomo. Todas las impurezas incluyendo el hierro hacen un total inferior al 0.25% pues un porcentaje de hierro tan pequeño como 0.5% endurece al latón 20 puntos Rockwell. Existe otro latón de maquinado fácil que tiene la misma cantidad de cobre 3.5% de plomo y tiene una resistencia a la tensión de 4011 kg/cm<sup>2</sup>, un alargamiento de 25% y una dureza Brinell hasta 110.

##### **2.4.2.1 Otros tipos de Latón**

**Latón ledrita**, Es un latón al plomo que contiene 60 a 63% de cobre de 2.5 a 3.75% de plomo.

**Bronce arquitectónico**, es una aleación usada para molduras troqueladas y para piezas forjadas, contiene 57% de cobre, 40% de zinc, 0.25% de estaño y 2.75% de plomo.

**Bronce arsenical**, es una aleación de maquinado fácil rica en zinc al plomo, modificado con otros elementos.

Un análisis típico es cobre, 56.5%; zinc, 39%; plomo, 0.70%; níquel, 2%; hierro, 1.2%; y arsénico 0.60%. Su resistencia a la tensión es de 4574 a 6122 kg/cm<sup>2</sup>, su alargamiento de 11 a 40%. Es resistente tanto al desgaste como a la corrosión.

### 2.4.3 Diagramas de fase

Son representaciones gráficas de las fases que están presentes en un sistema de materiales a varias temperaturas, presiones y composiciones. La mayoría de los diagramas de fase han sido construidos según condiciones de equilibrio (condiciones de enfriamiento lento), siendo utilizadas por ingenieros y científicos para entender y predecir muchos aspectos del comportamiento de los materiales. Los diagramas de fases más comunes involucran temperatura versus composición.

#### 2.4.3.1 Diagramas de fase ternarios

Para un sistema de tres componentes la regla de las fases se convierte en  $F = 5 - P$  (donde F, del inglés Freedom, son los grados de libertad del sistema, P, de Phase, el número de fases presentes). Aún a presión y temperatura constante se necesita un diagrama triangular que represente las variaciones independientes en la cantidad de cada componente. (Figura 4).

Un equilibrio de dos fases será univariante y estará representado por una línea en este esquema. Si coexisten tres fases (considerando que se está trabajando a presión y temperatura constantes) el sistema es invariante y se representa con un punto en el diagrama, la intersección de tres líneas.

En el caso de estudiar el efecto de variaciones de temperatura en el sistema ternario deberá recurrirse a diagramas en tres dimensiones. (Figura 5)

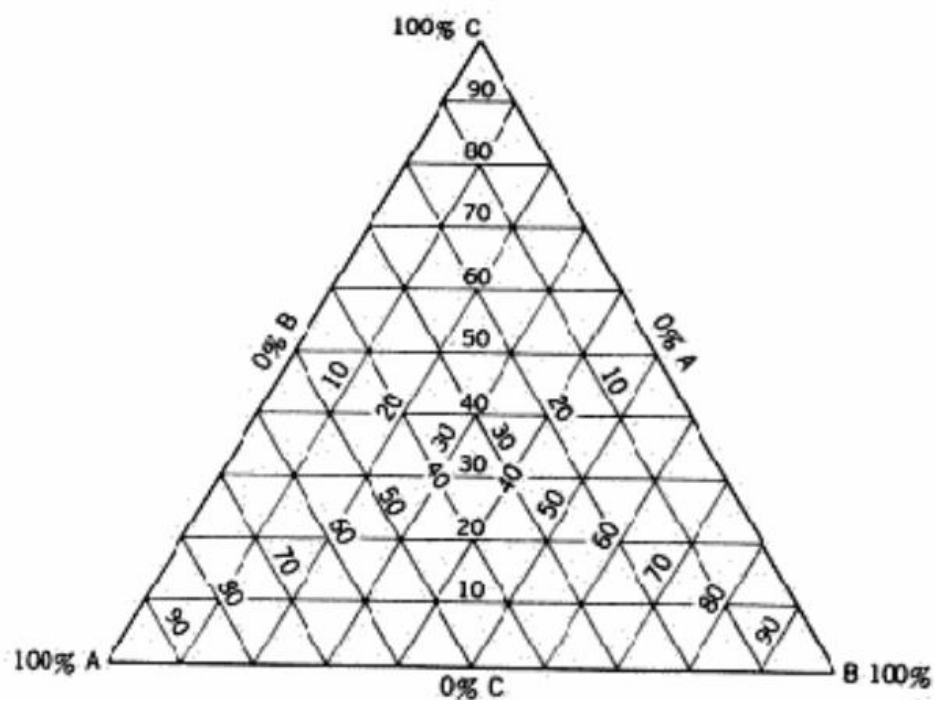


Figura 4. Esquema para representar la composición de un sistema ternario (Fuente: <http://www.unlu.edu.ar/~qui10192/qi0020405.htm>)

En la figura 5 podemos ver el diagrama ternario de fase (Cu Pb Zn)

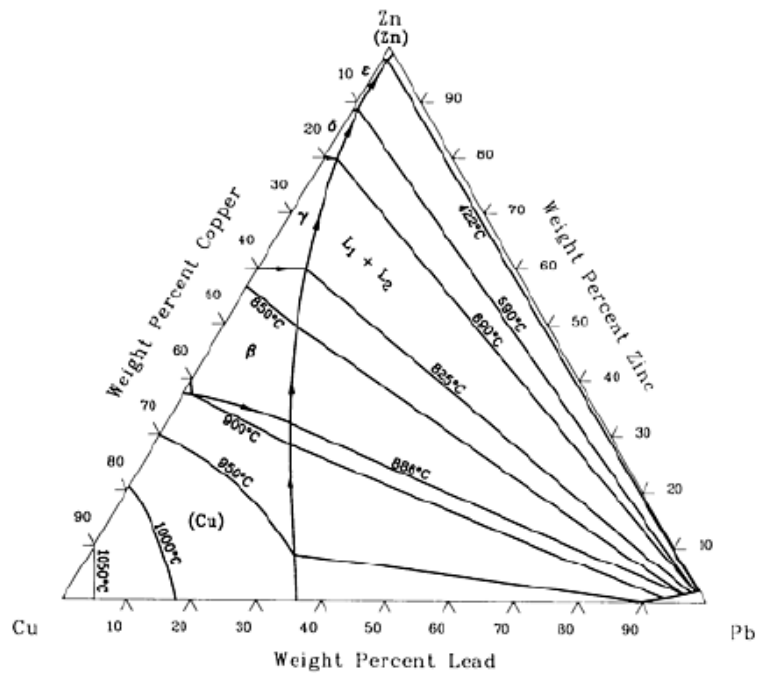


Figura 5. Diagrama ternario de fase (Cu Pb Zn) (Fuente: ASM Metal Handbook 2004)

## 2.4.4 Propiedades del Cobre, Zinc, y Plomo

### 2.4.4.1 El Cobre (Cu)

El cobre recocido es relativamente débil, pero muchas de sus propiedades, tales como la resistencia y la resistencia a la fatiga, pueden mejorarse mediante la adición de elementos aleados y un tratamiento térmico subsecuente. Es uno de los mejores conductores eléctricos, además de ser muy resistente a la corrosión atmosférica<sup>3</sup>.

La mayor parte del cobre se utiliza para conductores eléctricos ya que contienen el 99.99 % de pureza.

---

<sup>3</sup>Harmer E. Davis, Ensaye e inspección de los materiales de ingeniería tercera edición (página489)

Por otra parte, el cobre es un metal duradero porque se puede reciclar un número casi ilimitado de veces sin que pierda sus propiedades mecánicas.

#### **2.4.4.2 El Zinc (Zn)**

Las propiedades mecánicas ordinarias del zinc no poseen mucha significatividad porque tiende a un continuo aumento de deformación con esfuerzos y temperaturas bajas. Tiene buena resistencia a la corrosión, y cuando se le usa como recubrimiento protector sobre placas de hierro y de acero, el producto es conocido como hierro galvanizado.

Es un metal de color blanco azulado que arde en aire con llama verde azulada. El aire seco no le ataca pero en presencia de humedad se forma una capa superficial de óxido o carbonato básico que aísla al metal y lo protege de la corrosión. Prácticamente el único estado de oxidación que presenta es el +2. Reacciona con ácidos no oxidantes pasando al estado de oxidación +2 y liberando hidrógeno y puede disolverse en bases y ácido acético.

El metal presenta una gran resistencia a la deformación plástica en frío que disminuye en caliente, lo que obliga a laminarlo por encima de los 100 °C. No se puede endurecer por acritud y presenta el fenómeno de fluencia a temperatura ambiente<sup>4</sup>.

#### **2.4.4.3 El Plomo (Pb)**

Industrialmente, sus compuestos más importantes son los óxidos de plomo y el tetraetilo de plomo.

---

<sup>4</sup> Harmer E. Davis, 1989. Ensayo e inspección de los materiales de ingeniería tercera edición (página 489)

El plomo forma aleaciones con muchos metales y, en general, se emplea en esta forma en la mayor parte de sus aplicaciones. Todas las aleaciones formadas con estaño, cobre, arsénico, antimonio, bismuto, cadmio y sodio tienen importancia industrial, El uso más amplio del plomo, como tal, se encuentra en la fabricación de acumuladores. Otras aplicaciones importantes son la fabricación de municiones y también para crear nuevas aleaciones al juntarse con otros elementos para mejorar sus propiedades.

Es blando y dúctil, no es buen conductor de la electricidad, es resistente a las radiaciones, tiene una temperatura de fusión baja, es bastante resistente a la corrosión.

**Tabla 1. Propiedades del cobre, zinc, plomo.**

PROPIEDADES	COBRE	ZINC	PLOMO
Número atómico	29	30	82
peso molecular (gr/mol)	63,54	65,37	207,19
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	8,96	7,14	11,35
Radio atómico (A <sup>0</sup> )	1,28	1,38	1,75
Estructura cristalina	FCC	HEXAGONAL	FCC
Punto de fusión (°C)	1083	419,5	327,4
Punto de ebullición (°C)	2595	906	1725
Módulo de elasticidad (Kg/mm <sup>2</sup> )	12500	9400	1700
Conductividad eléctrica (S)	0,593	0,167	0,00483

Fuente: Tabla Periódica Universal Actualizada. Ediciones Didácticas Internacionales

## **2.4.5. Resistencia a la tracción y deformación en metales**

### **2.4.5.1 Deformación plástica**

La capacidad de un metal para sufrir deformación plástica cuando se somete a esfuerzos más allá de su límite elástico es una de sus características más útiles. El forjado, el

estirado, el conformado, la extrusión, el laminado, el estampado y el embutido implican deformación plástica. Se puede obtener gran cantidad de información útil concerniente al comportamiento de los metales cuando ocurre la deformación plástica mediante el estudio de las estructuras cristalinas y reticulares bajo la acción de esfuerzos. La deformación puede ocurrir por deslizamiento, por maclado o por una combinación de éstos.

Algunos de los factores que influyen en el deslizamiento y el maclado en los metales son: presencia de partículas de precipitado o de inclusiones en los granos, átomos extraños agregados intencional o no intencionalmente, vacancias en donde no existen átomos en la red, átomos ordenados y acomodados en un patrón o desordenados, átomos intersticiales, dislocaciones o distorsión de la red y factores que implican material policristalino (granos cuyos ejes cristalinos están orientados al azar)<sup>5</sup>.

#### **2.4.5.2 Deformación elástica**

Cuando se somete una pieza de metal a una fuerza de tracción uniaxial, se produce la deformación del metal. Si el metal recupera sus dimensiones originales cuando se elimina la fuerza, se considera que el metal ha sufrido deformación elástica. La cantidad de deformación elástica que puede soportar un metal es pequeña pues durante la deformación elástica, los átomos del metal se desplazan de sus posiciones originales, pero sin llegar a alcanzar nuevas posiciones.

#### **2.4.5.3 Resistencia a la tracción**

De este modo, cuando la fuerza sobre el metal deformado elásticamente se elimina, los átomos del metal vuelven a sus posiciones iniciales y el metal recupera su forma inicial.

---

<sup>5</sup> JOHN E. NEELY, 2008 Metalurgia y materiales industriales. Tercera Edición. Editorial Limusa S. A.

La prueba de tensión se utiliza para obtener información acerca de las propiedades mecánicas de un material incluyen ductilidad, resistencia a la tensión, límite proporcional, límite elástico, módulo elástico, resistencia, punto cedente, resistencia final y resistencia a la ruptura. La resistencia a la tracción de un material en libras por pulgada cuadrada, puede determinarse si se divide la carga (en libras) entre el área de la sección transversal (en pulgadas cuadradas) antes del ensayo. Por tanto,

Resistencia a la tracción (LPC):

$$LPC = \frac{\text{carga máxima (libras)}}{\text{área de sección transversal original (pu.cuad.)}} \quad (1)$$

#### 2.4.5.4 Ensayo de Tracción

El ensayo de tracción se utiliza para evaluar la resistencia de metales y aleaciones, se utiliza la Norma ASTM E-8, en la figura 6 se muestra la máquina Universal para ensayos de tracción, de la Facultad de Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



Figura 6. Máquina Universal para ensayos de Tracción, gentileza de la FICM de la Universidad Técnica de Ambato. (Fuente: El autor)



#### 2.4.5.5. Requerimientos para probetas de tensión.

Aunque ciertos requerimientos fundamentales pueden establecerse y ciertas formas de probetas se acostumbran a usar para tipos particulares de ensayos, las probetas para ensayos de tensión se hacen en una variedad de formas. La sección transversal de la probeta es redonda, cuadrada, o rectangular. Para los metales, si una pieza de suficiente grueso puede obtenerse de tal manera que pueda ser fácilmente maquinada, se usa comúnmente una probeta redonda; para láminas y placas en almacenamiento usualmente se emplea una probeta plana. La porción central del tramo es usualmente (aunque no siempre), de sección menor que los extremos para provocar que la falla ocurra en una sección donde los esfuerzos no resulten afectados por los dispositivos de sujeción.

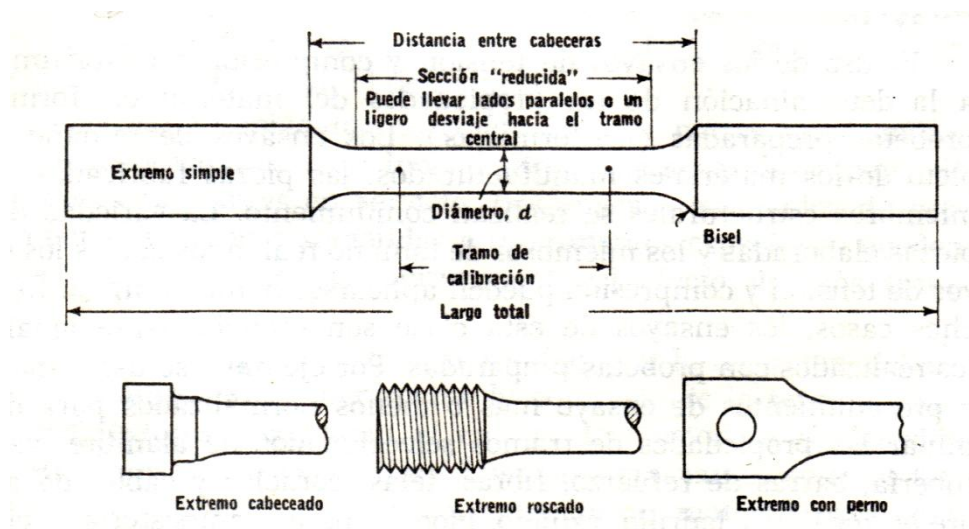


Figura 7. Probeta cilíndrica espécimen 1 para el ensayo de tracción.

(Fuente: Harmer E. Davis, Ensayo e inspección de los materiales de ingeniería.)

## 2.4.6. Usos de los durómetros Rockwell y Brinell

### 2.4.6.1 Dureza

La dureza de un metal es su capacidad para resistir una deformación permanente. Existen tres métodos para medir la dureza: la resistencia a la penetración, dureza elástica y la resistencia a la abrasión.

La dureza varía considerablemente de un material a otro. Esta variación puede ilustrarse realizando una penetración primero en un metal blando tal como el aluminio, y luego en un metal duro tal como un acero aleado para herramienta. La penetración podría hacerse con un punzón común y un martillo, dando un golpe suave de igual fuerza sobre cada una de las muestras.

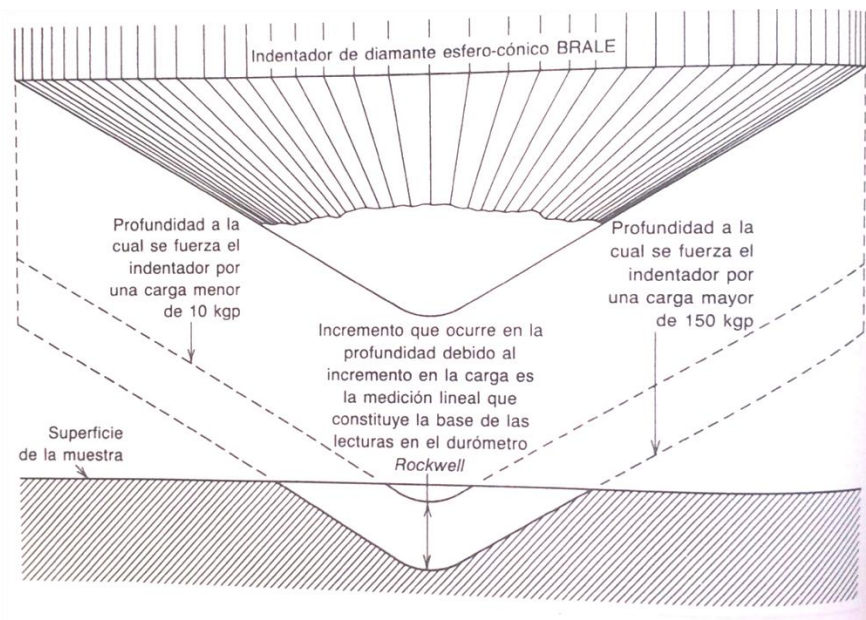


Figura 8. Esquema que muestra la aplicación de cargas mayor y menor. (Fuente: JOHN E. NEELY, Metalurgia y materiales industriales)

En este caso, por simple inspección visual se puede decir cuál muestra es más dura. Desde luego éste no es un método confiable para probar la dureza, pero muestra uno de los principios de los durómetros Rockwell y Brinell la medición de la penetración de la muestra por indentador, tal como una bola de acero o una punta de diamante.

#### **2.4.6.2 Uso del durómetro Rockwell**

La prueba de dureza Rockwell se realiza aplicando dos cargas a una muestra y midiendo luego la diferencia en la profundidad de penetración entre la carga menor y la carga mayor. La carga menor se utiliza en el durómetro Rockwell estándar para eliminar los errores que podrían deberse a las irregularidades de la superficie de la muestra. La carga menor es de 10 kilogramos fuerza (kgf) cuando se usa con una carga mayor de 60, 100 ó 150 kgf y de 3 kgf en las pruebas superficiales en las cuales las cargas mayores son de 15,30 y 45 kgf.

La carga mayor se aplica después de que la carga menor asienta firmemente el penetrador en la pieza. La lectura de la dureza Rockwell se basa en la profundidad adicional a la cual se fuerza el penetrador por la carga mayor (figura arriba). Cuando la carga mayor se elimina, la profundidad de penetración queda indicada en la carátula. El grado de penetración disminuye conforme se incrementa la dureza de la muestra. Por lo general, cuando más duro es el material, mayor será su resistencia a la tracción, es decir, su capacidad para resistir la deformación y la rotura cuando se le aplica una carga.

#### **2.4.6.3 Uso del durómetro Brinell**

La prueba de dureza Brinell se efectúa forzando la penetración de una esfera de acero, usualmente de un diámetro de 10 milímetros (mm), en la muestra de prueba utilizando

una carga conocida y midiendo el diámetro de la impresión resultante. El valor de la dureza Brinell es la carga dividida entre el área de la impresión, expresada como sigue.

BHN = número de dureza Brinell en kilogramos por milímetro cuadrado



**Figura 9. Durómetro de metales electrónico, gentileza de la facultad de ingeniería civil y mecánica del laboratorio de materiales de la UTA (Fuente: el autor)**

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi D}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2)$$

Donde:

$D$  = diámetro de la esfera de acero en milímetros

$P$  = carga aplicada en kilogramos

$d$  = diámetro de la impresión en milímetros

Para medir el diámetro de las impresiones se utiliza un pequeño microscopio. Se utilizan varias cargas para medir la dureza en diferentes materiales: 500 kilogramos (kg) para materiales blandos tales como cobre y aluminio y 3000 kg para aceros y fundiciones de hierro.

**Tabla 2 .Tabla de comparación entre la dureza y la resistencia a la tracción.**

TABLA DE CONVERSIÓN DE DUREZA									
Brinell		Rockwell			Brinell		Rockwell		
Diámetro de indentación				Resistencia a la tracción, 1000 lb/pulg <sup>2</sup> aproximadamente	Diámetro de indentación				Resistencia a la tracción, 1000 lb/pulg <sup>2</sup> aproximadamente
mm	No.	B	C		mm	No.	B	C	
2,25	745		65,3		3,75	262	(103.0)	26,6	127
2,30	712		-		3,80	255	(102.0)	25,4	123
2,35	682		61,7		3,85	248	(101.0)	24,2	120
2,40	653		60,0		3,90	241	100,0	22,8	116
2,45	627		58,7		3,95	235	99,0	21,7	114
2,50	601		57,3		4,00	229	98,2	20,5	111
2,55	578		56,0		4,05	223	97,3	(18.8)	-
2,60	555		54,7	298	4,10	217	96,4	(17.5)	105
2,65	534		53,5	288	4,15	212	95,5	(16.0)	102
2,70	514		52,1	274	4,20	207	94,6	(15.2)	100
2,75	495		51,6	269	4,25	201	93,8	(13.8)	98
2,80	477		50,3	258	4,30	197	92,8	(12.7)	95
2,85	461		48,8	244	4,35	192	91,9	(11.5)	93
2,90	444		47,2	231	4,40	187	90,7	(10.0)	90
2,95	429		45,7	219	4,45	183	90,0	(9.0)	89
3,00	415		44,5	212	4,50	179	89,0	(8.0)	87
3,05	401		43,1	202	4,55	174	87,8	(6.4)	85
3,10	388		41,8	193	4,60	170	86,8	(5.4)	83
3,15	375		40,4	184	4,65	167	86,0	(4.4)	81
3,20	363		39,1	177	4,70	163	85,0	(3.3)	79
3,25	352	(110.0)	37,9	171	4,80	156	82,9	(0.9)	76
3,30	341	(109.0)	36,6	164	4,90	149	80,8		73
3,35	331	(108.5)	35,5	159	5,00	143	78,7		71
3,40	321	(108.0)	34,3	154	5,10	137	76,4		67
3,45	311	(107.5)	33,1	149	5,20	131	74,0		65
3,50	302	(107.0)	32,1	146	5,30	126	72,0		63
3,55	293	(106.0)	30,9	141	5,40	121	69,8		60
3,60	285	(105.5)	29,9	138	5,50	116	67,6		58
3,65	277	(104.5)	28,8	134	5,60	111	65,7		56
3,70	269	(104.0)	27,6	130					

Fuente: JOHN E. NEELY, Metalurgia y materiales industriales

Los números de dureza Brinell se obtienen al leer el diámetro de la impresión en milímetros sobre la muestra de prueba y leyendo el número Brinell en la tabla 2 bajo la carga apropiada. La conversión a números de dureza Rockwell se realiza fácilmente si se leen los números Rockwell apropiados partiendo de los números Brinell. También se muestran las resistencias a la tensión. Tal como para las pruebas Rockwell, la impresión de la esfera de acero no debe mostrarse en el lado inferior de la muestra y se realiza la misma preparación de la superficie antes del ensayo. Las pruebas no deben efectuarse demasiado cerca del borde del espécimen<sup>6</sup>.

## **2.4.7 Propiedades de Mecánicas, Químicas y Físicas de los materiales**

### **2.4.7.1 Propiedades mecánicas e importancias tecnológicas.**

En su acepción amplia, la resistencia se refiere a la capacidad de una estructura o máquina para soportar cargas sin fallar, lo cual puede ocurrir por la ruptura debida al esfuerzo excesivo o verificarse a causa de la deformación excesiva. La segunda causa de la falla, a su vez, puede ser el resultado de que un esfuerzo limitativo haya sido excedido o de una rigidez inadecuada. Las propiedades de los materiales que poseen significación en relación con este problema general son las propiedades mecánicas. Las propiedades mecánicas pueden definirse específicamente como aquellas que tienen que ver con el comportamiento (ya sea elástico o inelástico) de un material bajo fuerzas aplicadas.

Las propiedades mecánicas se expresan en términos de cantidades que son funciones del esfuerzo o de la deformación o ambas simultáneamente.

---

<sup>6</sup> JOHN E. NEELY, 2008 *Metalurgia y materiales industriales*. Tercera Edición. Editorial Limusa S. A.

El ensayo mecánico se ocupa de la determinación de las medidas de las propiedades mecánicas. Las mediciones primarias involucradas son la determinación de la carga y el cambio de longitud. Estas se convierten en términos de esfuerzo y deformación por medio de la consideración de las dimensiones de la probeta.

Las propiedades mecánicas fundamentales son la resistencia, la rigidez, la elasticidad, la plasticidad y la capacidad energética. La resistencia de un material se mide por el esfuerzo según el cual se desarrolla alguna condición limitativa específica.

Las principales condiciones limitativas o criterios de la falla son la terminación de la acción elástica y la ruptura. La dureza, usualmente indicada por la resistencia a la penetración o la abrasión en la superficie de un material, puede considerarse como un tipo o una medida particular de resistencia.

La rigidez tiene que ver con la magnitud de la deformación que ocurre bajo la carga; dentro del rango del comportamiento elástico, la rigidez se mide por el "módulo de elasticidad". La elasticidad (mas no el "módulo de elasticidad") se refiere a la capacidad de un material para deformarse no permanentemente al retirar el esfuerzo. El término plasticidad se usa en su acepción genérica para indicar la capacidad para deformarse en el rango elástico o plástico sin que ocurra ruptura; la plasticidad puede expresarse de varias maneras; por ejemplo, en conexión con los ensayos de tensión de los metales dúctiles, nos referimos a ella como "ductilidad". La capacidad de un material para absorber energía elástica depende de la resistencia y la rigidez; la capacidad energética en el rango de acción elástica se denomina resiliencia; la energía requerida para romper un material se toma como la medida de su tenacidad.

En muchas de las tecnologías emergentes en la actualidad se hace hincapié en las propiedades mecánicas de los materiales que se usan. Por ejemplo, en la fabricación de aviones, las aleaciones de aluminio o los materiales compuestos reforzados con carbono

usados para componentes de aviones, deben ser ligeros, resistentes y deben resistir cargas mecánicas cíclicas durante un período largo predecible.

Tabla 3. Tabla de las propiedades mecánicas de los metales no ferrosos.

Metal	Resistencia a la cedencia por tensión, lb/plg <sup>2</sup> †	Resistencia a la tensión, lb/plg <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad en tensión, 10 <sup>6</sup> lb/plg <sup>2</sup>	Elongación en 2 plg, porcentaje	No. de dureza de Brinell	Peso, lb/plg <sup>3</sup>
<b>Cobre, 0.25 plg grueso:</b>						
Recocidos grano de 0.05 mm	10 000	32 000	16	45	47	0.320
Duro .....	45 000	50 000	16	12	105	0.320
<b>Níquel:</b>						
Rolado en caliente .....	25 000	75 000	30	45	110	0.319
Rolado duro .....	120 000	140 000	30	2	...	0.319
<b>Cinc:</b>						
Vaciado .....	.....	6 000	11	1	...	0.260
Lámina rolada dura .....	5 000	24 000	12	35	...	0.260
<b>Aluminio:</b>						
Vaciado en arena, 1100-F ....	6 000	11 000	9	22	...	0.097
Lámina recocida, 1100-O ..	5 000	13 000	10	35	23	0.097
Lámina dura, 1100-H18 .....	21 000	24 000	10	5	44	0.097
<b>Magnesio:</b>						
Vaciado .....	600	13 000	6	6	30	0.063
Extruido .....	1 200	28 000	6	8	35	0.063
Rolado .....	3 000	25 000	6	4	40	0.063

\* Basado en el *Metals Handbook* (Manual de Metales), 1961 [143].

† Resistencia al relajamiento con graduado de, aproximadamente, 0.2%.

Fuente: Donald R. Askeland 2009 ciencia e ingeniería de los materiales

#### 2.4.7.2. Propiedades Químicas.

Es característico de los metales tener valencias positivas en la mayoría de sus compuestos. Esto significa que tienden a ceder electrones a los átomos con los que se enlazan. También tienden a formar óxidos básicos. Por el contrario, elementos no metálicos como el nitrógeno, azufre y cloro tienen valencias negativas en la mayoría de sus compuestos, y tienden a adquirir electrones y a formar óxidos ácidos.



Los metales tienen energía de ionización baja: reaccionan con facilidad perdiendo electrones para formar iones positivos o cationes. De este modo, los metales forman sales como cloruros, sulfuros y carbonatos, actuando como agentes reductores (donantes de electrones).

Entre las principales propiedades químicas tenemos:

Oxido o composición compleja, Acidez o alcalinidad, Resistencia a la corrosión o a la intemperie, etc.

#### **2.4.7.3. Propiedades Físicas.**

El comportamiento físico de los materiales está definido por una gran cantidad de propiedades eléctrica, magnéticas ópticas y térmicas. La mayoría de estas propiedades está determinada por su estructura y arreglo atómicos, así como por la estructura cristalina del material, estas propiedades determinan dimensiones, forma, densidad o gravedad específica, porosidad, contenido de humedad, Macroestructura, microestructura, etc.

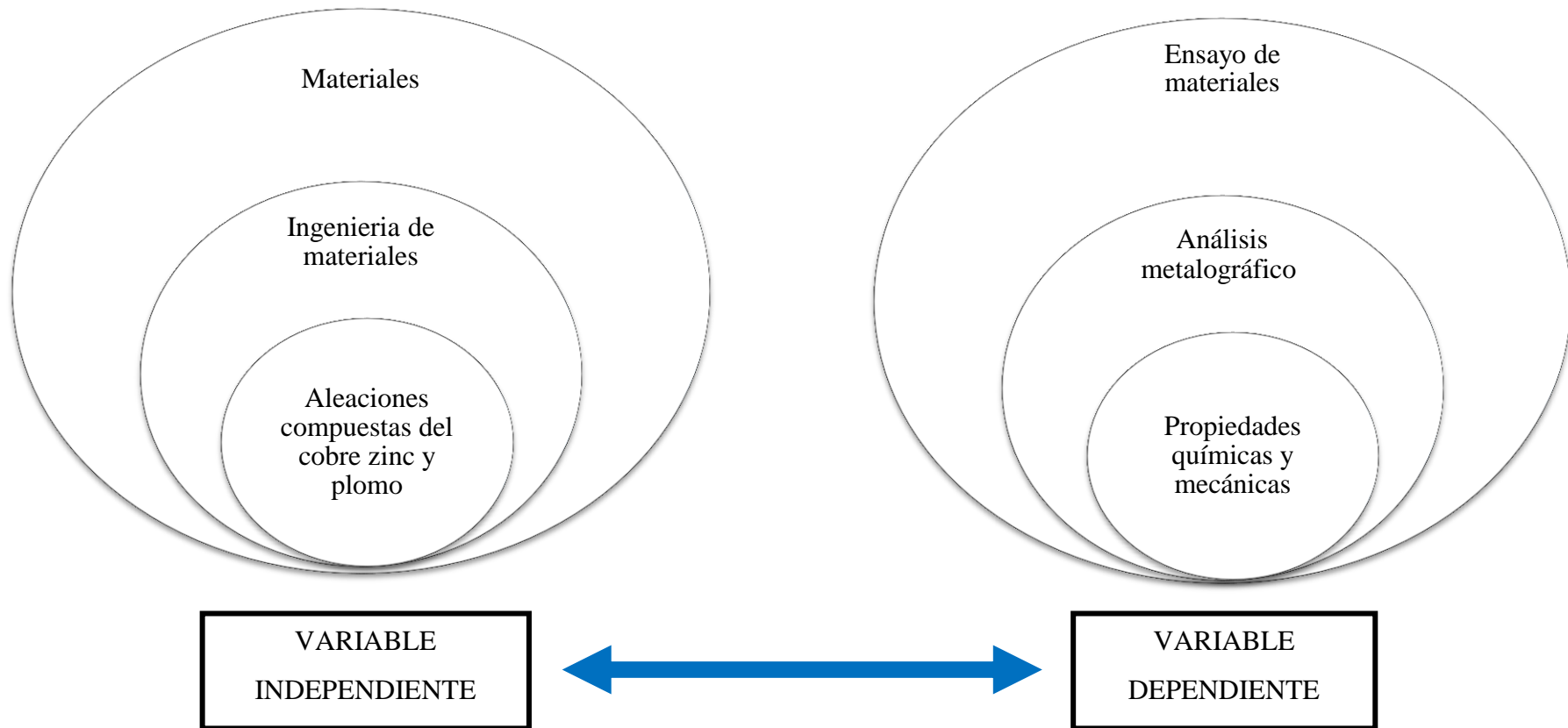
Además los metales muestran un amplio margen en sus propiedades físicas. La mayoría de ellos son de color grisáceo, pero algunos presentan colores distintos; el bismuto es rosáceo, el cobre rojizo y el oro amarillo. En otros metales aparece más de un color, y este fenómeno se denomina pleocroísmo. La mayoría de los metales cristalizan en el sistema cúbico, aunque algunos lo hacen en el hexagonal y en el tetragonal. La conductividad en los metales se puede reducir mediante aleaciones. Todos los metales se expanden con el calor y se contraen al enfriarse. Ciertas aleaciones, como las de platino e iridio, tienen un coeficiente de dilatación extremadamente bajo.

**Tabla 4. Tabla de la clasificación de las propiedades de los materiales de ingeniería.**

Clase	Propiedad	Clase	Propiedad
Físicas	Dimensiones, forma Densidad o gravedad específica Porosidad Contenido de humedad Macroestructura Microestructura	Mecánicas	Resistencia: Tensión, compresión, cortante, y flexión estática, impacto, y tenacidad Rigidez Elasticidad, plasticidad Ductilidad, fragilidad Dureza, resistencia al desgaste
Químicas	Oxido o composición compleja Acidez o alcalinidad Resistencia a la corrosión o la intemperie, etc.	Térmicas	Color específico Expansión Conductividad
		Eléctricas y magnéticas	Conductividad Permeabilidad magnética Acción galvánica
Fisicoquímicas	Acción hidroabsorbente o hidrorrepelente Contracción y dilatación debidas a cambios de humedad	Acústicas	Transmisión del sonido Reflexión del sonido
		Ópticas	Color Transmisión de la luz Reflexión de la luz

Fuente: Harmer E. Davis, 2008 Ensaye e inspección de los materiales de ingeniería

## 2.5 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



## **2.6 HIPÓTESIS**

¿La variación de porcentajes de la aleación compuesta de cobre zinc y plomo me permitirá obtener mejores propiedades químicas y mecánicas?

## **2.7 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS**

### **2.7.1 Variable Independiente**

Aleación compuesta cobre zinc plomo

### **2.7.2 Variable Dependiente**

Mejores propiedades químicas y mecánicas

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 ENFOQUE:**

En el presente estudio se hizo un análisis cualitativo, debido a que en esta investigación las técnicas cualitativas buscaron la comprensión de las propiedades para orientarse hacia la formación de la hipótesis que permitió solucionar la temática de esta investigación. Utilizando varios ensayos que se realizaron con probetas estandarizadas para determinar cómo varían las propiedades al variar los porcentajes de los materiales en la estructura de la aleación compuesta.

#### **3.2 MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación tiene un diseño basado en las modalidades de investigación siguientes:

**De laboratorio.-** La investigación de laboratorio fue indispensable en este proyecto ya que se ensayaron probetas y se obtuvo datos sobre las propiedades de la aleación obtenida. Dichas pruebas se realizaron en el laboratorio de materiales y de fundición de la facultad de ingeniería civil y mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

**Aplicada.-** Porque los resultados de ésta investigación se utilizaron para determinar las propiedades químicas y mecánicas de la aleación compuesta a base de cobre zinc y plomo

**Descriptiva.-** a través de esta investigación se logró fomentar la tecnología e interés por el estudio de las aleaciones del latón al plomo de forma Cu Zn Pb.

**Investigación Bibliográfica.-** La recolección de información es un proceso muy importante y complicado ya que el propósito de este tipo de investigación es conocer, comparar, ampliar y profundizar conocimientos recurriendo a fuentes tales como libros, tesis e internet para recoger varios criterios de diversos autores sobre una cuestión determinada que en nuestro caso sería lo referente a la ingeniería de materiales y aleaciones de cobre.

### **3.3 NIVELES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1 Investigación Exploratoria**

La presente investigación alcanzó el primer nivel exploratorio de investigación ya que el estudio que se desarrolló trató de solucionar un problema que se presenta en el campo de la ingeniería de materiales pues se reconoció variables de interés investigativo, como es la determinación de las propiedades de la aleación compuesta del latón al plomo.

#### **3.3.2 Investigación Descriptiva**

La presente investigación cumplió con las necesidades que este sector requiere en especial con los profesionales en el área de ingeniería mecánica, es decir, como es y

cómo se manifiestan determinados fenómenos. Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sean sometidos a análisis, miden o evalúan con la precisión posible diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar.

Los conocimientos invertidos para el desarrollo y la aplicación de este proyecto de investigación fueron amplios ya que se requirió de asignaturas implicadas debido a que se analizaron variables de manera aislada en la parte de red de categorías para determinar algunos parámetros de la aleación compuesta del latón al plomo (Cu-Zn-Pb), ya que con este trabajo investigativo se evaluaron las propiedades químicas y mecánicas de la aleación.

### **3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.4.1 Población**

Con la estimación del tamaño de muestra se pudo conocer la proporción de la población que tiene las características obtenidas en este estudio, a partir del estudio de un solo grupo de ellas. Los datos estadísticos sirvieron para conocer los parámetros de la población, por eso se conoció el tamaño de muestra necesaria, para la estimación de parámetros con una determinada precisión.

La población para esta investigación fue:

12 lingotes cilíndricos de aleación del latón al plomo Cu - Zn - Pb que se obtuvieron con la ayuda del horno de Inducción de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato y en los moldes de arena refractaria.

### **3.4.2 Muestra**

La muestra fueron las porciones que se obtuvo del producto que sirvió para conocer la calidad y la determinación de algunas propiedades variando las cantidades de los elementos de la composición química de aleaciones compuestas del cobre, zinc y plomo.

En la presente investigación el universo poblacional fue el conjunto de experimentos que se realizaron donde se conoció las propiedades en la investigación. En este caso fueron:

- 6 probetas para el ensayo de tracción
- 10 muestras para análisis metalográfico
- 10 muestras para ensayo de dureza
- 9 muestras para análisis químico (espectrometría)
- 4 lingotes para aplicación industrial

## **3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

### **3.5.1 Variable independiente:**



Aleación compuesta de cobre zinc y plomo

Conceptualización de variables	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
La aleación compuesta de (Cu - Zn - Pb) con un porcentaje determinado de sus componentes es la aleación llamada de fácil maquinado ya que las partículas de plomo hacen que sea un material suave, dichas partículas de plomo cumplen la función de lubricante evitando el desgaste de las herramientas que se utiliza para forjar y me permite tener una mayor velocidad de corte, esto hace que se pueda fabricar más rápido y disminuye el desgaste de las herramientas.	Aleación compuesta Cu - Zn - Pb.	¿Cómo se obtuvo el cobre, zinc y plomo para la aleación compuesta?	Cobre reciclado	Observación Directa
			Zinc comprado en lingotes	
			Plomo donado	
	Material suave para ser maquinado	¿Cuál fue la mejor dureza del material?	Dureza Brinell = 167.5	Ensayo de dureza
Porcentaje determinado de sus componentes	¿Cómo se obtuvo la aleación compuesta Cu - Zn - Pb?	Cu=58.978%, Zn=36.958% Pb=3.357%	Ensayo de fundición	
Velocidad de corte	¿Qué velocidad de corte se utilizó?	V = 36.13 m/minuto	Ensayo de maquinabilidad	

### 3.5.2 Variable dependiente:

Propiedades químicas y mecánicas

Conceptualización de variables	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Las propiedades químicas y mecánicas intervienen de una manera importante a la hora de fabricar componentes mecánicos ya que se relacionan en la, dureza, resistencia a la tracción, elasticidad, plasticidad, resistencia a la corrosión, acides o alcalinidad, etc. De los materiales a manufacturar.	Propiedades químicas	Determinación de los porcentaje de cobre, zinc y plomo	Porcentajes de cobre	Espectrometría
			Porcentajes de zinc	
			Porcentajes de plomo	
			Porcentaje de otros elementos	
Propiedades mecánicas	Resistencia a la Tracción	Dureza	1237 Kg. a 2820.30 Kg.	Ensayos de laboratorio, observación directa, toma de datos
			Dureza Brinell de 42.64 a 167.50	
			Características microscópicas de la aleación	
Análisis metalográfico				

### 3.6 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

#### 3.6.1 Técnicas e instrumentos utilizados en la observación

DETALLE	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
OBSERVACIÓN	Directa e Indirecta	Cuaderno de notas, cámara fotográfica
	Participante, no participante	Diario
	Estructurada, no estructurada	Ficha de campo
	Individual, no individual	Lista de Cotejo

#### 3.6.2 Técnicas e instrumentos documentales

DETALLE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
DOCUMENTALES	Bibliografía, Catálogos, Publicaciones, Artículos, Estudios, Fichas Técnicas, Tabulaciones.

Se utilizó técnicas para la recolección de la información tales como la observación, ya que se tomó notas para describir los hechos de significación especial y se pudo observar y analizar la información que sirvió como guía en la investigación.

También utilizamos la técnica documental ya que tomamos información bibliográfica para comparar los parámetros encontrados en los diferentes ensayos a realizar.

### **3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

La información obtenida de los ensayos de las probetas de la aleación compuesta de Cu–Zn–Pb, se analizó mediante fotografías microestructurales, tablas y gráficos que mostraron resumidamente las propiedades que tiene este material. Para la recolección, procesamiento y análisis de la información seguimos los siguientes puntos:

- Se realizó el ensayo de fundición variando los porcentajes del cobre, zinc y plomo
- Análisis químico de cada lingote de la aleación compuesta Cu Zn Pb por medio de una espectrometría
- Análisis metalográfico de las diferentes probetas de la aleación compuesta obtenida.
- Ensayo de tracción de las diferentes probetas de la aleación obtenida.
- Ensayo de dureza de las diferentes probetas de la aleación obtenida.
- Determinación la composición química de la aleación compuesta de cobre zinc y plomo con mejores propiedades

Finalmente se tabularon todos los resultados y se sacó las conclusiones pertinentes para el análisis e interpretación de los resultados.

## CAPÍTULO IV

### 4.- ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

##### 4.1.1 Prueba 1

Fecha: 02-04-2013

Hora de inicio: 10:00

Hora de finalización: 12:00

Para la obtención de aleación compuesta de cobre zinc y plomo se realizó la primera prueba, y se utilizó el horno de inducción que dispone la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato y un crisol de grafito arcilla A6.

Se utilizó:

- 1160 gr de alambre de cobre trenzado y cortado en pedazos de 13 cm.
- 780 gr de zinc obtenido de un ánodo cortado en trozos cúbicos de diferentes dimensiones.
- 60 gr de plomo para recubrimientos superficiales con un 99% de pureza cortado en 2 pedazos de distintas dimensiones.

**Resultados:** No se consiguió la fusión de la aleación al cabo de una hora y media que duró el proceso, por cuanto al utilizar un crisol A 6 que sobresale de la bobina

**del horno de inducción, se requiere mayor intensidad de corriente o esta corriente no circula debidamente, y otros parámetros desconocidos.**

#### **4.1.2 Prueba 2**

Fecha: 03-04-2013

Hora de inicio: 09:30

Hora de finalización: 11:00

Para la obtención de aleación compuesta de cobre zinc y plomo se realizó la segunda prueba, y se utilizó el horno de inducción y el crisol de grafito que dispone la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Se utilizó:

- 580 gr de alambre de cobre trenzado y cortado en pedazos de 9 cm.
- 390 gr de zinc obtenido de un ánodo cortado en trozos cúbicos de diferentes dimensiones.
- 30 gr de plomo para recubrimientos superficiales con un 99% de pureza cortado en un solo pedazo.

**Resultados: Esta vez se consiguió la fusión de la aleación del cobre en 20 minutos, al introducir el zinc en el cobre fundido se produce una gran cantidad de emisión de óxido de zinc y por falta de agua en el sistema de enfriamiento del horno no se completa la mezcla y se da por terminado el ensayo de fundición.**

### 4.1.3 Prueba 3

Fecha: 09-04-2013

Hora de inicio: 11:04

Hora de finalización: 11:45

Para la obtención de aleación compuesta de cobre zinc y plomo se realizó la tercera prueba, y se utilizó el horno de inducción y el crisol de grafito que dispone la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Se utilizó:

- 580 gr de alambre de cobre trenzado y cortado en pedazos de 9 cm.
- 510 gr de zinc obtenido de un ánodo cortado en trozos cúbicos de diferentes dimensiones, tomando en cuenta un 12% más por pérdidas de evaporación de dicho material.
- 30 gr de plomo para recubrimientos superficiales con un 99% de pureza cortado en un solo pedazo.

**Resultados:** También se consiguió la fusión de la aleación del cobre en 20 minutos, se introduce el plomo y en tercera instancia el zinc, se produce una gran cantidad de emisión de óxido de zinc y se completa la mezcla, Pero al intentar llenar en el molde de arena refractaria se resbala el crisol y la mezcla se riega en el piso. Se pudo tomar muestras de la aleación para el análisis metalográfico y el análisis de dureza.

### 4.1.3.1 Microestructura de la aleación prueba 3

Se realizó el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, debido al incidente del material regado se toman dos muestras (probeta A y B) para el ensayo de microestructura, obteniendo el siguiente resultado:

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA 	
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	
ENSAYO METALOGRAFICO	
Ataque químico	Reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada)
Tiempo de ataque	7 SEGUNDOS
Escala	200 X
Prueba #	3
Probeta	A
Muestra	Tomado del material regado
	
<p><b>Figura 10. Microestructura Prueba 3 (probeta A) a 200X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl<sub>3</sub>, 5 ml de HCl, 1 gr de CrO<sub>2</sub>, y 100 ml de agua destilada) durante 7 segundos con presencia de fase alfa y beta (Fuente: el autor)</b></p>	

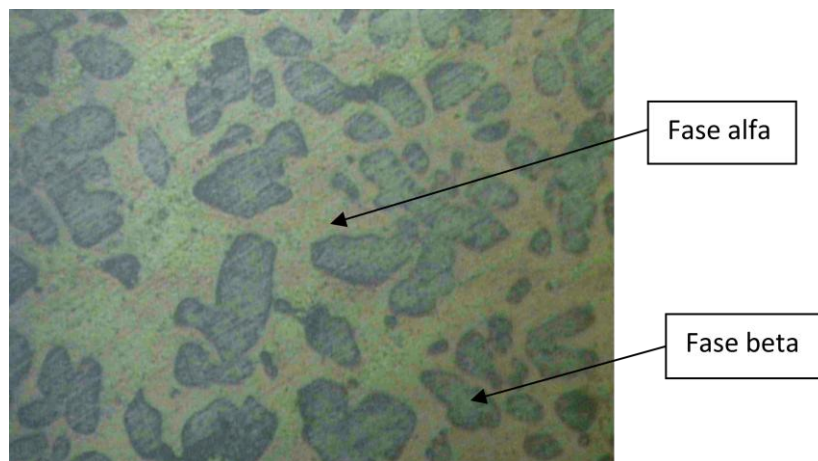




**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**

**ENSAYO METALOGRAFÍCO**

<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de $\text{HCl}$ , 1 gr de $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	7 SEGUNDOS
<b>Escala</b>	400 X
<b>Prueba #</b>	3
<b>Probeta</b>	A
<b>Muestra</b>	Tomado del material regado



**Figura 11. Microestructura Prueba 3 (probeta A) a 400X, atacado con reactivo químico (20 gr de  $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de  $\text{HCl}$ , 1 gr de  $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada) durante 7 segundos con presencia de fase alfa y beta (Fuente: el autor)**



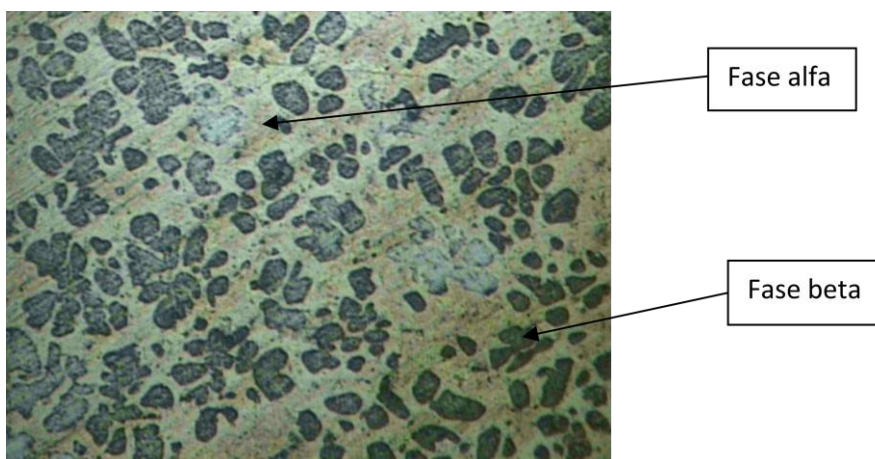
**Figura 12. Probeta (A) Prueba 3 tomada de una muestra regada, se observa agrietamientos, posiblemente debido al contacto con el suelo. (Fuente: El autor)**



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**

**ENSAYO METALOGRÁFICO**

<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de $\text{HCl}$ , 1 gr de $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	7 SEGUNDOS
<b>Escala</b>	200 X
<b>Prueba #</b>	3
<b>Probeta</b>	B
<b>Muestra</b>	Tomado del material regado



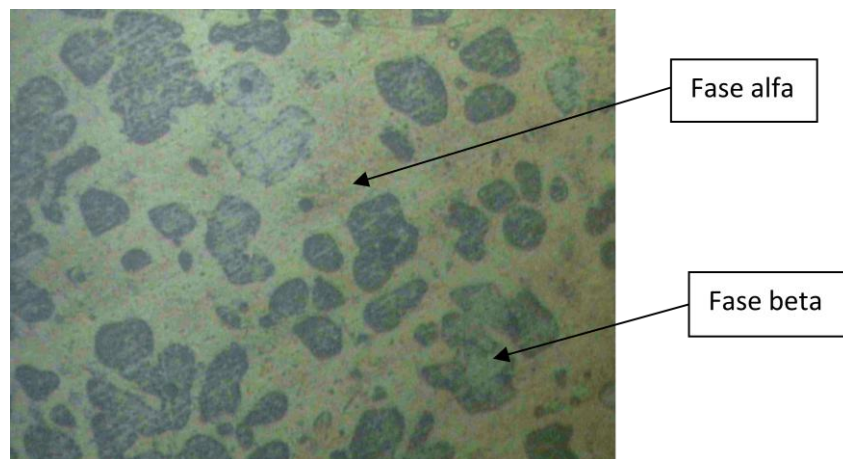
**Figura 13. Microestructura Prueba 3 (probeta B) a 200X, atacado con reactivo químico (20 gr de  $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de  $\text{HCl}$ , 1 gr de  $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada) durante 7 segundos, observando claramente la presencia de plomo en la microestructura con fase alfa y beta (Fuente: el autor)**



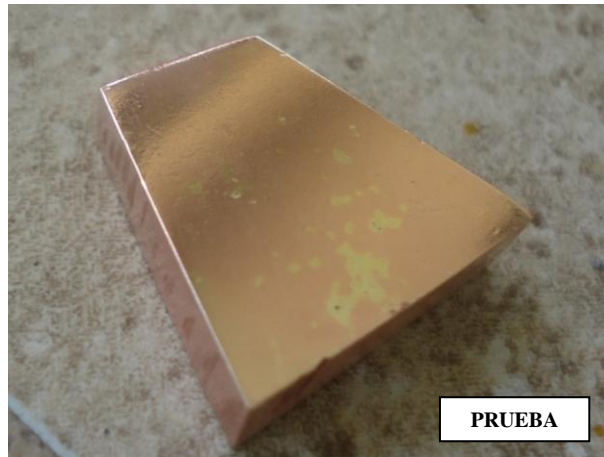
**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**

**ENSAYO METALOGRAFÍCO**

<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de $\text{HCl}$ , 1 gr de $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	7 SEGUNDOS
<b>Escala</b>	400 X
<b>Prueba #</b>	3
<b>Probeta</b>	B
<b>Muestra</b>	Tomado del material regado



**Figura 14. Microestructura Prueba 3 (probeta B) a 400X, atacado con reactivo químico (20 gr de  $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de  $\text{HCl}$ , 1 gr de  $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada) durante 7 segundos, se observa fase alfa y beta (Fuente: el autor)**



**Figura 15. Probeta (B) Prueba 3 tomada de una muestra regada con mayor volumen, se observa secciones de diferente color que pueden ser partículas de zinc no fusionadas correctamente. (Fuente: El autor)**

#### **4.1.3.2 Ensayo de dureza prueba 3**

Para determinar la dureza se utilizó el durómetro del Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, solo en la probeta (A), con escala de dureza Brinell con esfera de 2.5 mm de diámetro, carga de 613 N y utilizando la norma ASTM E-18, arrojó los siguientes resultados:

**Tabla 5. Valores de Dureza BRINELL Prueba de fundición 3 realizada en la probeta (A) solamente.**

<b>Nº DE MEDICIÓN</b>	<b>DUREZA BRINELL</b>
1	115
2	115
3	120
4	114
5	111
6	112
7	111
8	114
9	120
10	117
<b>PROMEDIO DE DUREZA</b>	<b>114,9</b>

**(Fuente: El autor)**

#### **4.1.3.3 Análisis químico prueba 3**

El análisis químico se lo realizó en la empresa NOVACERO de la ciudad de LATACUNGA con la gentileza del Ing. Eduardo Villegas en un ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720, canal de ensayo: ENERGY TEST; arrojando los siguientes resultados:

**Tabla 6. Resultados del ensayo químico de análisis por Espectrometría de Rayos X en la probeta B de la prueba 3.**

<b>ANÁLISIS QUÍMICO PRUEBA 3</b>	
<b>Material</b>	<b>Porcentaje</b>
Cu	92,643
Pb	4,071
Zn	2,840
Ra	0,198
Th	0,109
Ti	0,059
Mn	4,100
Nb	3,900

**(Fuente: El autor)**

**NOTA:** Los Informes detallados del presente análisis Químico se presentan en el Anexo 2 – M2

#### **4.1.3.4 Ensayo de tracción Prueba 3**

El ensayo de tracción no se pudo realizar por no tener una cantidad suficiente de material para la elaboración de las probetas normalizadas. Ya que como se indicó anteriormente se rego la colada y no se pudo llenar en el molde de arena refractaria.

#### **4.1.4 Prueba 4**

Fecha: 15-04-2013

Hora de inicio: 10:40

Hora de finalización: 11:35

En la cuarta prueba, se utilizó el horno de inducción y el crisol de grafito que dispone la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. Obteniendo la fundición sin novedades.

Se utilizó:

- 1160 gr de alambre de cobre trenzado y cortado en pedazos de 13cm y doblados en la mitad.
- 1020 gr de zinc obtenido de un ánodo cortado en trozos cúbicos de diferentes dimensiones, tomando en cuenta un 12% más por pérdidas de evaporación de dicho material.
- 60 gr de plomo para recubrimientos superficiales con un 99% de pureza cortado en dos pedazos de diferentes dimensiones.

**Resultados: Se fundió el cobre en 40 minutos una vez terminado se adiciono el plomo durante 1 minuto, luego se agregó el zinc en 4 pedazos tomando un tiempo de 3 minutos terminando la fundición de manera exitosa, se llenó en el molde de arena y obtuvimos las probetas para realizar los ensayos respectivos.**

#### **4.1.4.1 Microestructura de la aleación prueba 4**

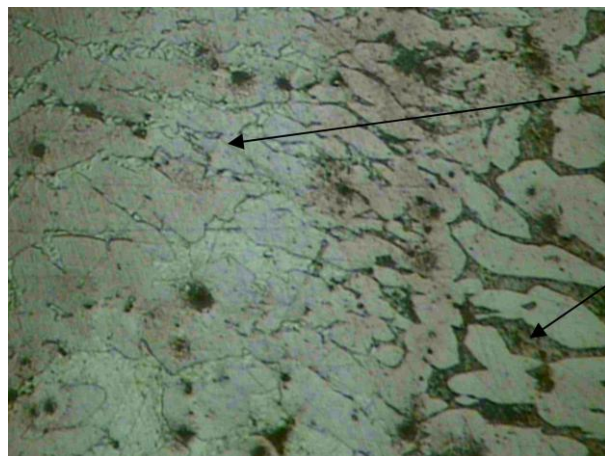
Se realizó el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para determinar si la colada estuvo bien mezclada tomamos 2 probetas 1 del bebedero de entrada (probeta A) y otra del bebedero de salida (probeta B) para el ensayo de microestructura, obteniendo el siguiente resultado:



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**

**ENSAYO METALOGRÁFICO**

<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de $\text{HCl}$ , 1 gr de $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	2 Segundos
<b>Escala</b>	200 X
<b>Prueba #</b>	4
<b>Probeta</b>	A
<b>Muestra</b>	Muestra del bebedero de entrada



Fase alfa

Fase beta

**Figura 16.** Microestructura Prueba 4 (probeta A) a 200X, atacado con reactivo químico (20 gr de  $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de  $\text{HCl}$ , 1 gr de  $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada) durante 2 segundos, se puede observar la fase alfa y beta (Fuente: el autor)

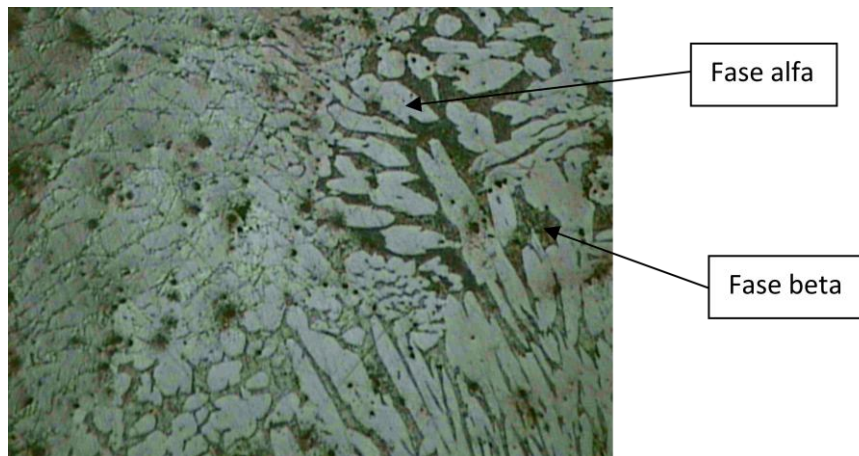




**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**

**ENSAYO METALOGRÁFICO**

<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de $\text{HCl}$ , 1 gr de $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	2 Segundos
<b>Escala</b>	100 X
<b>Prueba #</b>	4
<b>Probeta</b>	A
<b>Muestra</b>	Muestra del bebedero de entrada



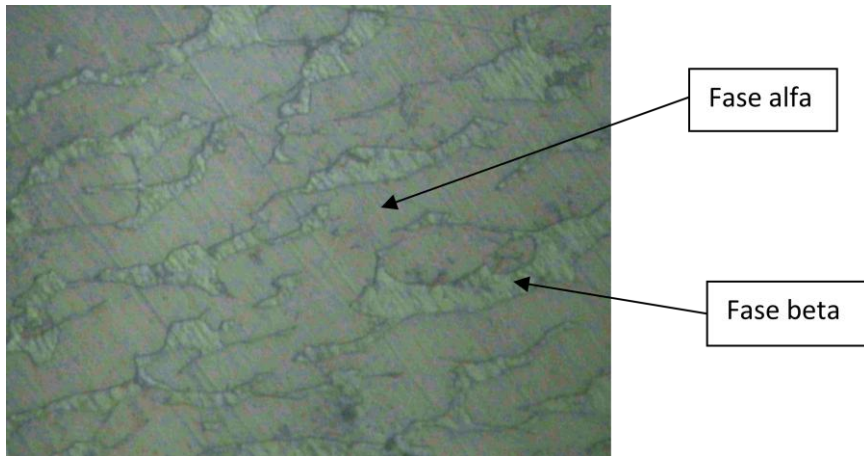
**Figura 17. Microestructura Prueba 4 (probeta A) a 100X, atacado con reactivo químico (20 gr de  $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de  $\text{HCl}$ , 1 gr de  $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada) durante 2 segundos, con presencia de fase alfa y beta (Fuente: el autor)**



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**

**ENSAYO METALOGRAFÍCO**

<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de $\text{HCl}$ , 1 gr de $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	2 Segundos
<b>Escala</b>	400 X
<b>Prueba #</b>	4
<b>Probeta</b>	A
<b>Muestra</b>	Muestra del bebedero de entrada



**Figura 18. Microestructura Prueba 4 (probeta A) a 400X, atacado con reactivo químico (20 gr de  $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de  $\text{HCl}$ , 1 gr de  $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada) durante 2 segundos, presencia de fase alfa y beta (Fuente: el autor)**



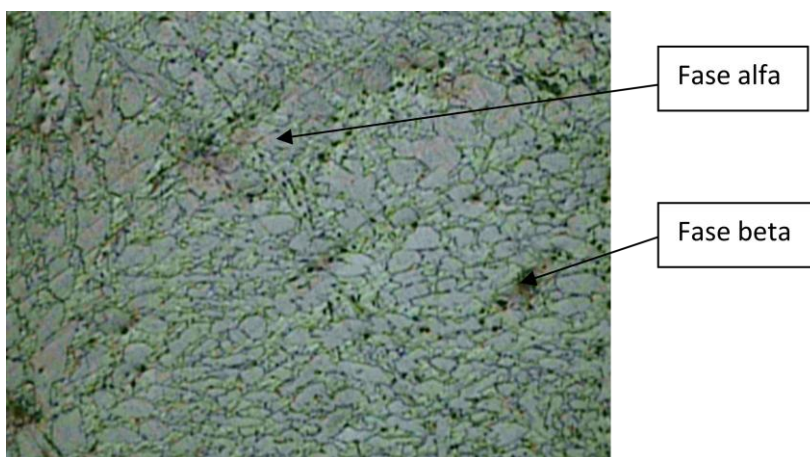
**Figura 19. Probeta (A) prueba 4, tomada del bebedero de entrada, luego del ensayo de microestructura y de dureza (Fuente: el autor)**



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**

**ENSAYO METALOGRÁFICO**

<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de $\text{HCl}$ , 1 gr de $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	4 Segundos
<b>Escala</b>	100 X
<b>Prueba #</b>	4
<b>Probeta</b>	B
<b>Muestra</b>	Muestra del bebedero de salida



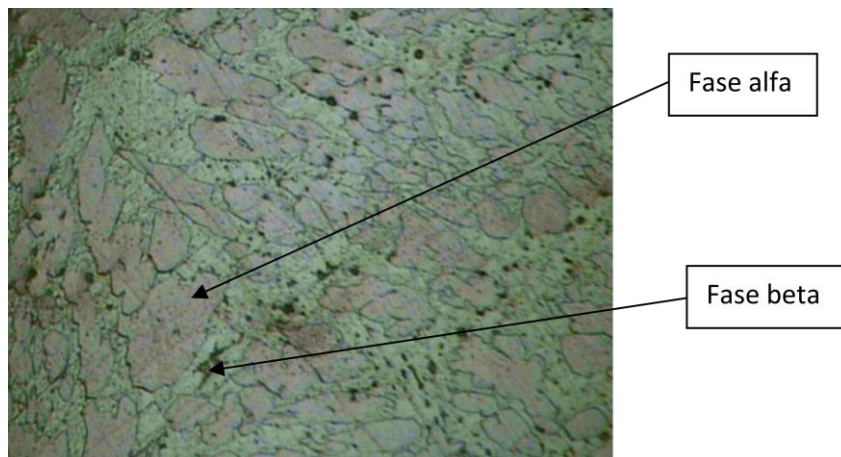
**Figura 20. Microestructura Prueba 4 (probeta B) a 100X, atacado con reactivo químico (20 gr de  $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de  $\text{HCl}$ , 1 gr de  $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada) durante 4 segundos, se observa fase alfa y beta (Fuente: el autor)**



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**

**ENSAYO METALOGRAFÍCO**

<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de $\text{HCl}$ , 1 gr de $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	4 Segundos
<b>Escala</b>	200 X
<b>Prueba #</b>	4
<b>Probeta</b>	B
<b>Muestra</b>	Muestra del bebedero de salida



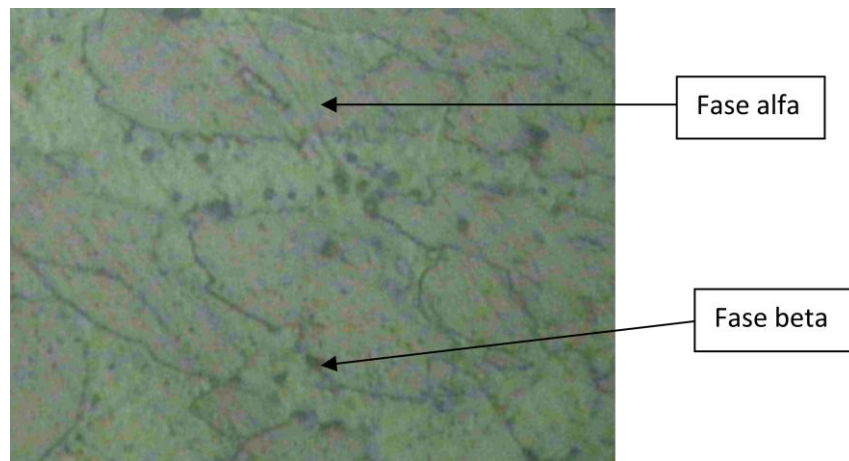
**Figura 21. Microestructura Prueba 4 (probeta B) a 200X, atacado con reactivo químico (20 gr de  $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de  $\text{HCl}$ , 1 gr de  $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada) durante 4 segundos, con presencia de fase alfa y beta (Fuente: el autor)**



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**

**ENSAYO METALOGRAFICO**

<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de $\text{HCl}$ , 1 gr de $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	4 Segundos
<b>Escala</b>	400 X
<b>Prueba #</b>	4
<b>Probeta</b>	B
<b>Muestra</b>	Muestra del bebedero de salida



**Figura 22.** Microestructura Prueba 4 (probeta B) a 400X, atacado con reactivo químico (20 gr de  $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de  $\text{HCl}$ , 1 gr de  $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada) durante 4 segundos, con presencia de fase alfa y beta (Fuente: el autor)



**Figura 23.** Probeta (B), tomada del bebedero de salida con ataque químico (Fuente: el autor)

#### 4.1.4.2 Ensayo de dureza prueba 4

Para determinar la dureza se utilizó el durómetro del Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, solo en la probeta (A), con escala de dureza Brinell con esfera de 2.5 mm de diámetro, carga de 613 N y utilizando la norma ASTM E-18, arrojó los siguientes resultados:

Tabla 7. Valores de Dureza BRINELL Prueba de fundición 4 realizada en la probeta (A) solamente.

Nº DE MEDICIÓN	DUREZA BRINELL
1	83
2	80.40
3	83
4	82.10
5	81.30
6	86.80
7	82.10
8	83.90
9	82.10
10	83.90
11	84.90
<b>PROMEDIO DE DUREZA</b>	<b>83.04</b>

(Fuente: El autor)

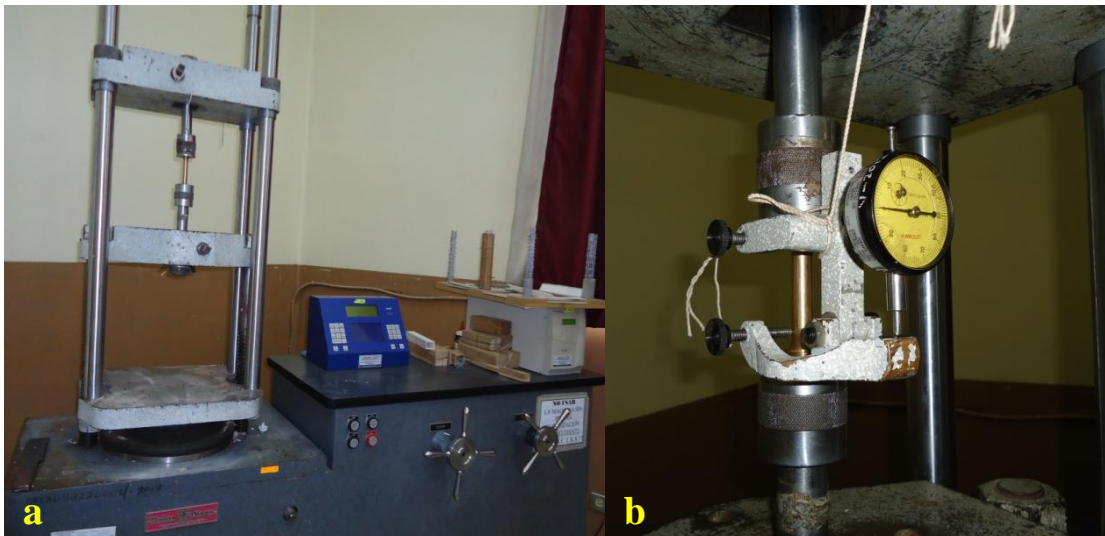
#### 4.1.4.3 Ensayo de tracción de la probeta, prueba 4.

El ensayo de tracción de la probeta de la prueba 4 se realizó según la norma ASTM-8, en la máquina universal del Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, obteniendo los siguientes resultados.

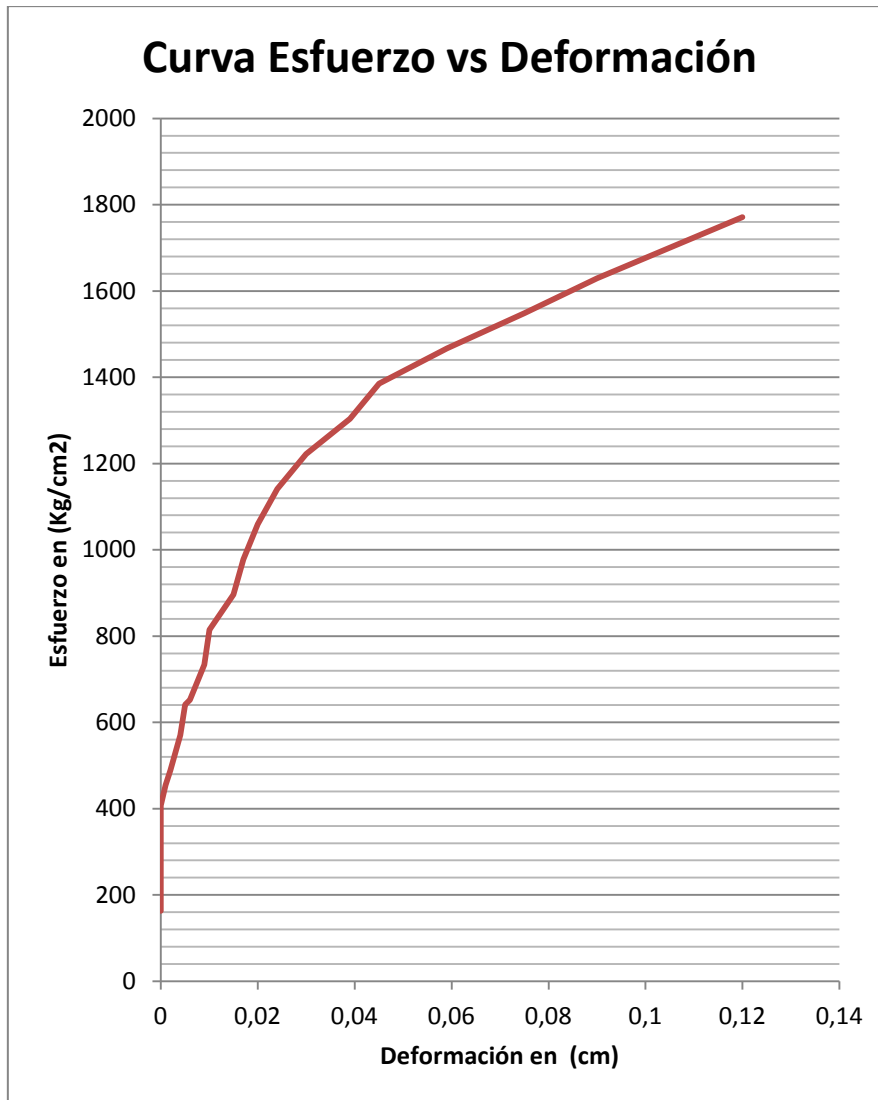




**Figura 24. Probeta 4.1 para ensayo de tracción según norma ASTM-8. (Fuente: el autor)**



**Figura 25a. Máquina universal del laboratorio de resistencia de materiales de la carrera de ingeniería civil, figura 25b. Probeta ubicada en la máquina universal con el reloj palpador para medir la deformación (Fuente: el autor)**



**Figura 26. Diagrama Esfuerzo deformación para la probeta 4.1 (Fuente: el autor)**

#### **4.1.4.4 Ensayo químico de análisis por Espectrometría de Chispa, Prueba 4.**

El ensayo químico de análisis por Espectrometría de Chispa de la prueba 4 se realizó en la Escuela Politécnica Nacional en el departamento de metalurgia extractiva DEMEX, empleando el espectrómetro de chispa marca BRUKER modelo Q4TASMAN, obteniendo los siguientes resultados.





Figura 27. Ensayo químico de análisis por Espectrometría de Chispa de la prueba 4 (Fuente: el autor)

Tabla 8. Resultados del ensayo químico de análisis por Espectrometría de Chispa de la prueba 4

METALES	ALEACIÓN Cu-Zn-Pb (%)
Zinc (Zn)	42,280
Plomo (Pb)	1,370
Estaño (Sn)	0,002
Fósforo (P)	0,025
Plata (Ag)	0,002
Antimonio (Sb)	0,017
Selenio (Se)	0,002
Teluro (Te)	0,013
Cobre (Cu)	56,240

(Fuente: El autor)

El Informe detallado del análisis Químico se presenta en el Anexo A1

#### 4.1.5 Prueba 5

Fecha: 13-06-2013

Hora de inicio: 09:25

Hora de finalización: 10:05

En la quinta prueba, se utilizó el horno de inducción y el crisol de grafito A6 cortado en la boca 2 cm, para que ingrese en su totalidad a la bobina del horno, y sacamos el recubrimiento exterior en un 70%. Con estos cambios en el crisol A6 se pudo fundir el cobre en 30 minutos.

Se utilizó las siguientes cantidades para fundir 3000 gr:

- 1800 gr, de alambre de cobre trenzado y cortado en pedazos de 10 cm y doblados en la mitad, completado con 2 pequeños lingotes de cobre pre fundido en el crisol de grafito que dispone la Facultad de Ingeniería Mecánica.
- 1438.86 gr de zinc obtenido de un ánodo cortado en trozos cúbicos de diferentes dimensiones, tomando en cuenta un 9% por pérdidas de evaporación de dicho material.
- 135.5 gr de plomo para recubrimientos superficiales con un 99% de pureza cortado en pedazos de diferentes dimensiones.

Resultados: Se fundió todo el cobre en 30 minutos, luego de esto adicionamos el plomo durante 1 minuto, y el zinc durante un minuto más, terminando la fundición de manera exitosa, se llenó en el molde de arena y obtuvimos 2 probetas para realizar los ensayos respectivos.

#### **4.1.5.1 Microestructura de la aleación Prueba 5**

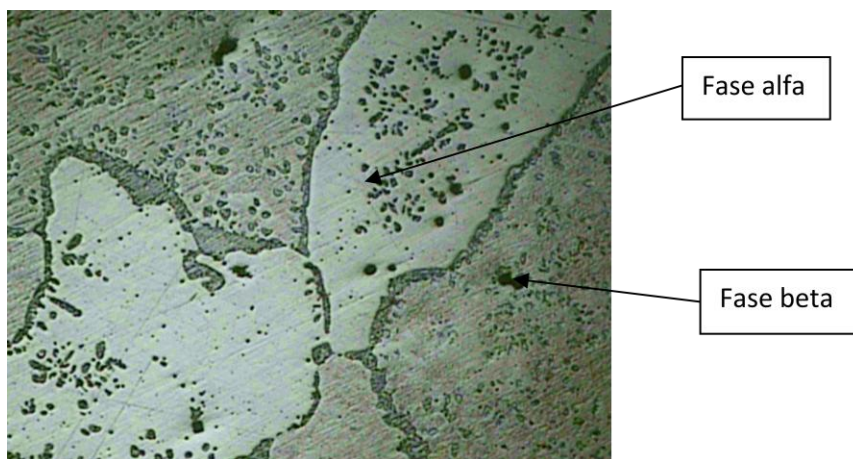
Para determinar la microestructura de la aleación obtenida se realiza el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, obteniendo los siguientes resultados:



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**

**ENSAYO METALOGRAFÍCO**

<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	2 Segundos
<b>Escala</b>	100 X
<b>Prueba #</b>	5
<b>Probeta</b>	Única
<b>Muestra</b>	Muestra del lingote



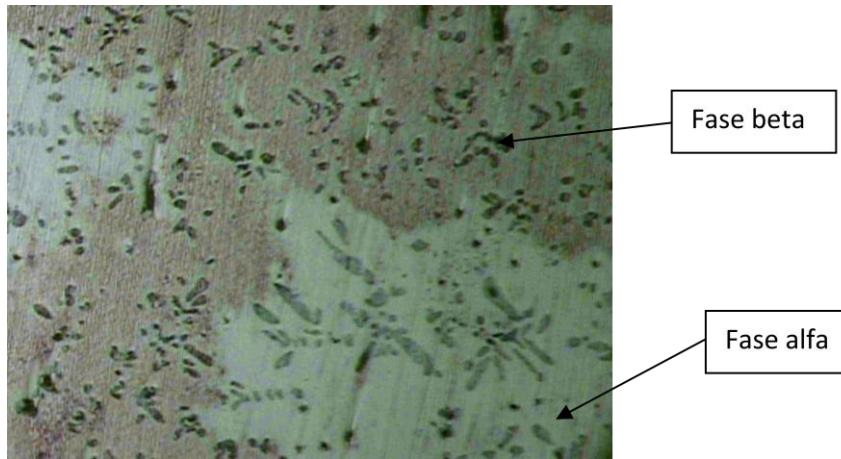
**Figura 28. Microestructura Prueba 5 a 100X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl<sub>3</sub>, 5 ml de HCl, 1 gr de CrO<sub>2</sub>, y 100 ml de agua destilada) durante 2 segundos, con presencia de fase alfa y beta (Fuente: el autor)**



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**

**ENSAYO METALOGRÁFICO**

<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	2 Segundos
<b>Escala</b>	200 X
<b>Prueba #</b>	5
<b>Probeta</b>	Única
<b>Muestra</b>	Muestra del lingote



**Figura 29. Microestructura Prueba 5 a 200X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl<sub>3</sub>, 5 ml de HCl, 1 gr de CrO<sub>2</sub>, y 100 ml de agua destilada) durante 2 segundos, con fase alfa y beta (Fuente: el autor)**



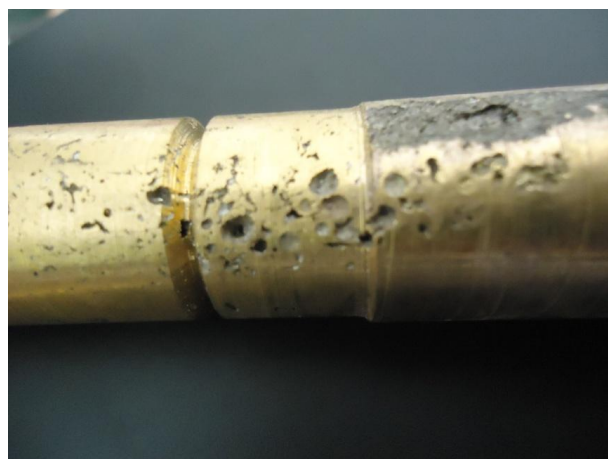
**Figura 30. Probeta para ensayo de microestructura prueba 5, (Fuente: el autor)**

#### 4.1.5.2 Ensayo de tracción de la probeta, prueba 5.

El ensayo de tracción no se pudo realizar ya que el material salió con exceso de porosidad y al intentar maquinar se rompió la probeta, dicha porosidad se puede haber formado por supuesta humedad excesiva en el molde de arena



**Figura 31. Probeta para ensayo de tracción prueba 5 no concreta por ruptura al maquinar, (Fuente: el autor)**



**Figura 32. Probeta para ensayo de tracción prueba 5, con exceso de porosidad, no apta para el ensayo. (Fuente: el autor)**

#### 4.1.5.3 Ensayo de dureza Prueba 5

Para determinar la dureza se utilizó el durómetro del Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, con escala de dureza Brinell con esfera de 2.5 mm de diámetro, carga de 1839 N y utilizando la norma ASTM E-18, arrojó los siguientes resultados:

**Tabla 9. Valores de Dureza BRINELL Prueba de fundición 5.**

<b>Nº DE MEDICIÓN</b>	<b>DUREZA BRINELL</b>
1	170
2	167
3	179
4	164
5	160
6	166
7	174
8	161
9	170
10	164
<b>PROMEDIO DE DUREZA</b>	<b>167.5</b>

(Fuente: El autor)

#### 4.1.5.4 Análisis químico de la prueba 5

El análisis químico se lo realizó en la empresa NOVACERO de la ciudad de LATACUNGA con la gentileza del Ing. Eduardo Villegas en un ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720, canal de ensayo: ENERGY TEST; arrojando los siguientes resultados:

**Tabla 10. Análisis químico de la prueba 5.**

<b>ANÁLISIS QUÍMICO PRUEBA 5</b>	
<b>Material</b>	<b>Porcentaje</b>
Cu	49,320
Zn	46,719
Pb	3,398
Ca	0,363
Ra	0,200

**(Fuente: El autor)**

#### **4.1.6 Prueba 6**

Fecha: 24-06-2013

Hora de inicio: 09:40



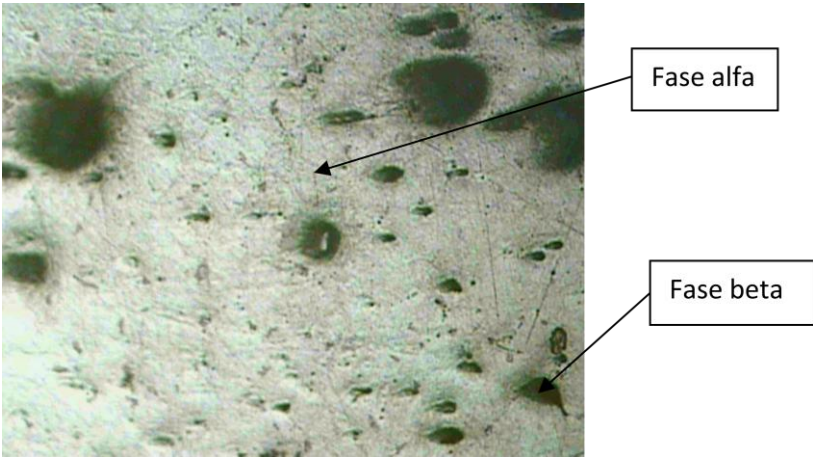
Hora de finalización: 11:52

En la sexta prueba, se utilizó el horno de inducción y el crisol de grafito A6 cortado y preparado como ya se indicó en la prueba 5, dicha fundición se realizó en 2:12 horas en su totalidad sin tener ninguna novedad, con las siguientes cantidades para 3000 gramos de fundición.

- 1740.60 gr, de alambre de cobre trenzado y cortado en pedazos de 10cm y doblados en la mitad.
- 1440.20 gr de zinc obtenido de un ánodo cortado en trozos cúbicos de diferentes dimensiones, tomando en cuenta un 9% por pérdidas de evaporación de dicho material.
- 135.40 gr de plomo para recubrimientos superficiales con un 99% de pureza cortado en pedazos de diferentes dimensiones.



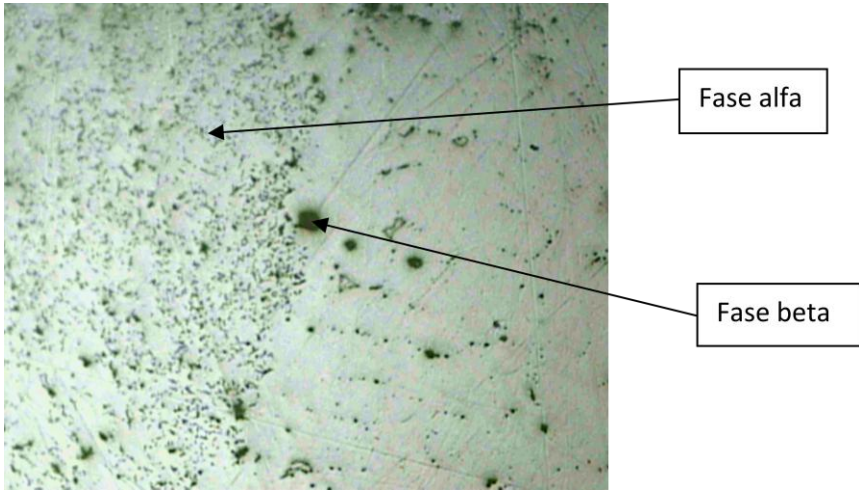
Dicha fundición se empezó a las 9:40, fundiéndose el cobre en su totalidad a las 11:30, el plomo se introdujo a las 11:35 luego de tres minutos se colocó el zinc, dejando que se funda durante 10 minutos, siendo las 11:48 que se da por terminada la fundición y llenado en su respectivo molde.

#### 4.1.6.1 Microestructura de la aleación Prueba 6

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> 	
<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>	
<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	3 Segundos
<b>Escala</b>	40 X
<b>Prueba #</b>	6
<b>Probeta</b>	Única
<b>Muestra</b>	Muestra del lingote
	
<p><b>Figura 33. Microestructura Prueba 6 a 40X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl<sub>3</sub>, 5 ml de HCl, 1 gr de CrO<sub>2</sub>, y 100 ml de agua destilada) durante 3 segundos, con fase alfa y beta (Fuente: el autor)</b></p>	



Para determinar la microestructura de la aleación obtenida se realiza el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, obteniendo los resultados que se observan en las figuras 33 y 34.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> 	
<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	
<b>ENSAYO METALGRÁFICO</b>	
<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	3 Segundos
<b>Escala</b>	100 X
<b>Prueba #</b>	6
<b>Probeta</b>	Única
<b>Muestra</b>	Muestra del lingote
	
<p><b>Figura 34.</b> Microestructura Prueba 6 a 100X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl<sub>3</sub>, 5 ml de HCl, 1 gr de CrO<sub>2</sub>, y 100 ml de agua destilada) durante 3 segundos, se observa fase alfa y beta (Fuente: el autor)</p>	

#### 4.1.6.2 Ensayo de dureza Prueba 6

Para determinar la dureza se utilizó el durómetro del Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, con escala de dureza Brinell con esfera de 2.5 mm de diámetro, carga de 612.9 N y utilizando la norma ASTM E-18, arrojó los siguientes resultados:

**Tabla 11. Valores de Dureza BRINELL Prueba de fundición 6.**

<b>Nº DE MEDICIÓN</b>	<b>DUREZA BRINELL</b>
1	37.70
2	40.50
3	51.00
4	43.70
5	40.90
6	40.20
7	50.10
8	40.20
9	41.90
10	40.20
<b>PROMEDIO DE DUREZA</b>	<b>42.64</b>

(Fuente: El autor)

#### 4.1.6.3 Ensayo de tracción para la aleación obtenida, Prueba 6.

Dicha aleación presenta un tamaño de grano demasiado grueso y por ende se obtiene un material muy frágil y difícil de mecanizar rompiéndose en 2 ocasiones, consiguiendo maquinar solo una probeta.



**Figura 35a.** ruptura de la probeta al momento de maquinar la rosca, **figura 35b.** Vista del tamaño de grano muy grueso (Fuente: el autor)

El ensayo de tracción de la probeta de la prueba 6, se realizó según la norma ASTM-8, en la máquina universal del Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, obteniendo los siguientes resultados.



**Figura 36.** Probeta A de la prueba 6 para ensayo de tracción según norma ASTM-8. (Fuente: el autor)



Figura 37. Máquina universal de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, para ensayo de tracción según norma ASTM-8. (Fuente: el autor)

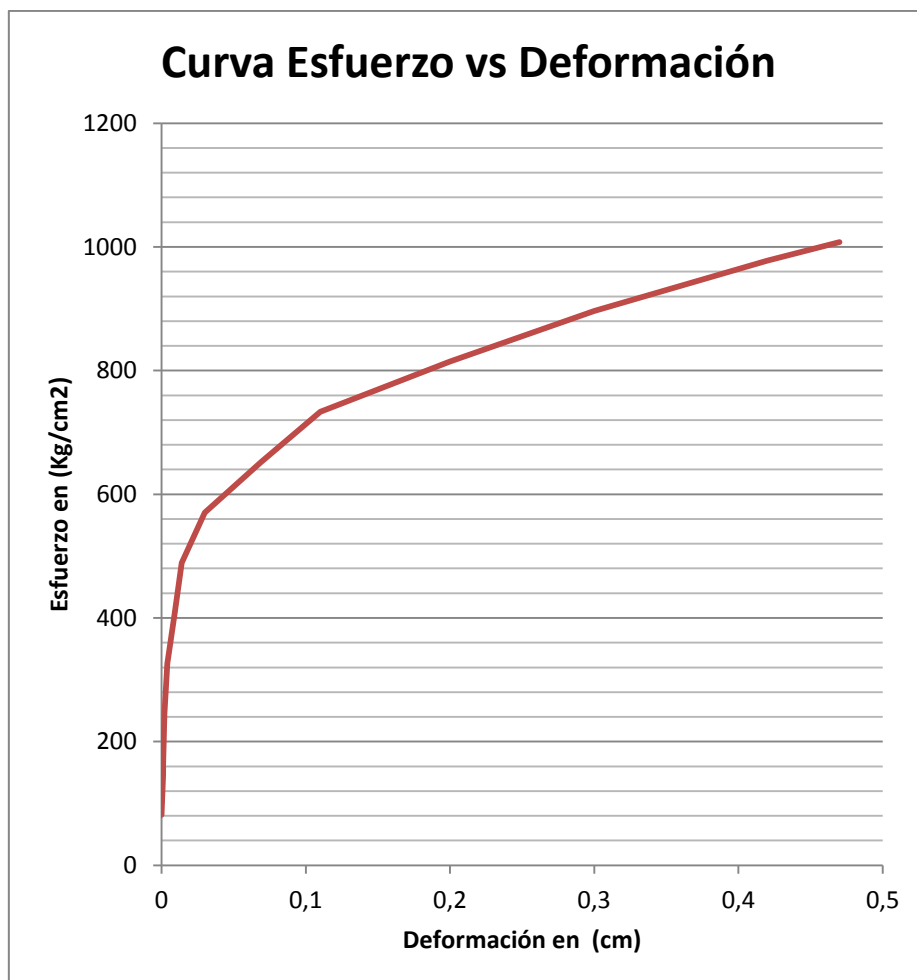


Figura 38. Diagrama Esfuerzo deformación para la prueba 6 (Fuente: el autor)



**Figura 39. Probeta prueba 6 ensayada a tracción (Fuente: el autor)**

#### **4.1.6.4 Análisis químico, Prueba 6.**

El análisis químico se lo realizó en la empresa NOVACERO de la ciudad de LATACUNGA con la gentileza del Ing. Eduardo Villegas en un ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720, canal de ensayo: ENERGY TEST; arrojando los siguientes resultados:

**Tabla 12. Resultado del análisis químico prueba 6.**

<b>ANÁLISIS QUÍMICO PRUEBA 6</b>	
<b>Material</b>	<b>Porcentaje</b>
Cu	62,530
Zn	31,401
Pb	3,838
Ir	1,680
Th	0,552

**(Fuente: El autor)**

#### 4.1.7 Prueba 7

Fecha: 20-08-2013

Hora de inicio: 14:40

Hora de finalización: 15:55

En esta prueba se utilizó el horno de inducción y el crisol de grafito A6 preparado, la fundición número 7 se realizó en 1:15 horas en su totalidad sin tener ninguna novedad, con las siguientes cantidades para 3000 gramos de fundición.



Se utilizó las siguientes cantidades:


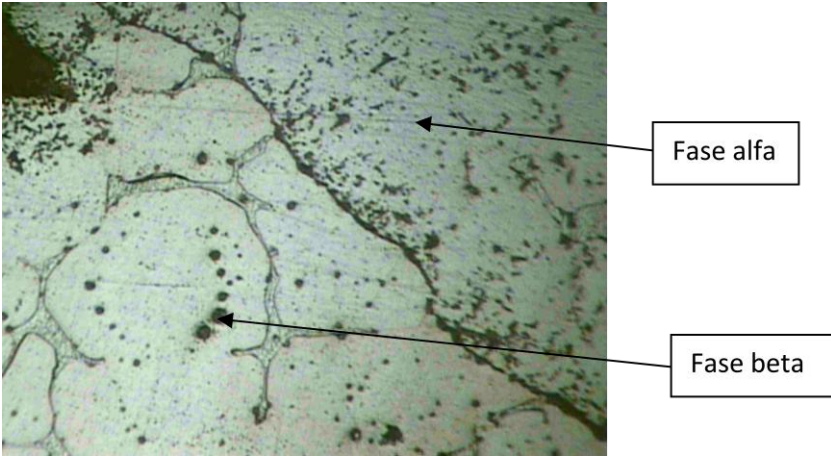
- 1770 gr de alambre de cobre trenzado y cortado en pedazos de 10 cm y doblados en la mitad.
- 1320 gr de zinc obtenido de un ánodo cortado en trozos cúbicos de diferentes dimensiones, tomando en cuenta un 5% por pérdidas de evaporación de dicho material.
- 150 gr de plomo para recubrimientos superficiales con un 99% de pureza cortado en pedazos de diferentes dimensiones.

Dicha fundición se empezó a las 14:40, fundiéndose el cobre en su total a las 15:45, el plomo se introdujo a las 15:46 luego de un minuto se colocó el zinc, dejando que se funda durante 7 minutos, siendo las 15:53 que se da por terminada la fundición y se llena en su respectivo molde.

#### 4.1.7.1 Microestructura de la aleación Prueba 7

Para esta prueba de metalografía realizamos el mismo proceso conocido en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, obteniendo los siguientes resultados:

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> 	
<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	
<b>ENSAYO METALGRÁFICO</b>	
<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	7 Segundos
<b>Escala</b>	100 X
<b>Prueba #</b>	7
<b>Probeta</b>	Única
<b>Muestra</b>	Muestra del lingote
	
<p><b>Figura 40. Microestructura Prueba 7 a 100X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl<sub>3</sub>, 5 ml de HCl, 1 gr de CrO<sub>2</sub>, y 100 ml de agua destilada) durante 7 segundos, con fase alfa y beta (Fuente: el autor)</b></p>	

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> 	
<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	
<b>ENSAYO METALOGRAFÍCO</b>	
<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	7 Segundos
<b>Escala</b>	200 X
<b>Prueba #</b>	7
<b>Probeta</b>	Única
<b>Muestra</b>	Muestra del lingote
	
<p><b>Figura 41. Microestructura Prueba 7 a 200X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl<sub>3</sub>, 5 ml de HCl, 1 gr de CrO<sub>2</sub>, y 100 ml de agua destilada) durante 7 segundos, con fase alfa y beta (Fuente: el autor)</b></p>	

#### 4.1.7.2 Análisis químico para la Prueba 7

El análisis químico se lo realizó en la empresa NOVACERO de la ciudad de LATACUNGA con la gentileza del Ing. Eduardo Villegas en un ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720, canal de ensayo: ENERGY TEST; tomando 2 probetas su respectivo análisis arrojando los siguientes resultados:



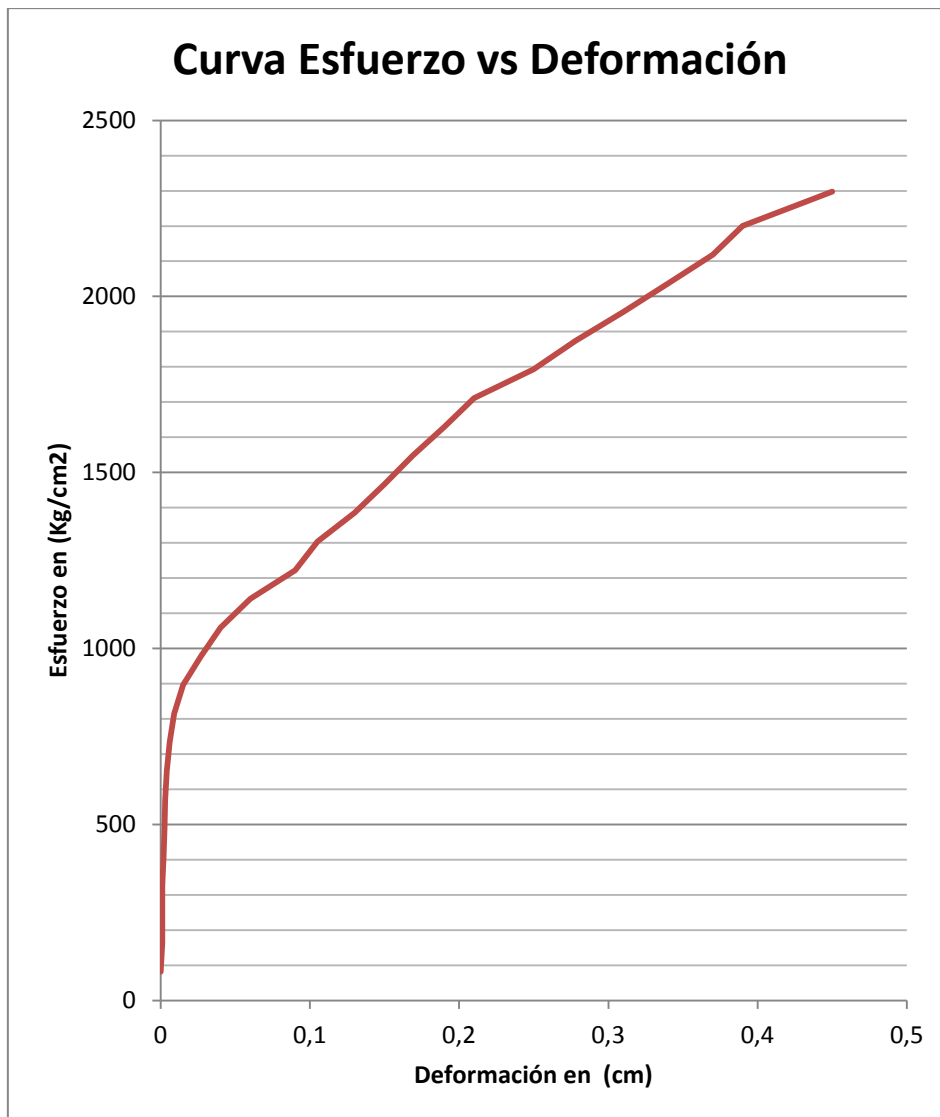
**Tabla 13. Resultado del análisis químico prueba 7.**

<b>ANÁLISIS QUÍMICO PRUEBA 7</b>		
<b>Material</b>	<b>Porcentaje probeta 1</b>	<b>Porcentaje probeta 2</b>
Cu	56,272	55,896
Zn	37,184	36,094
Pb	4,176	4,414
S	3,100	3,225
Ra	0,199	0,25
Ca	0,169	0,167

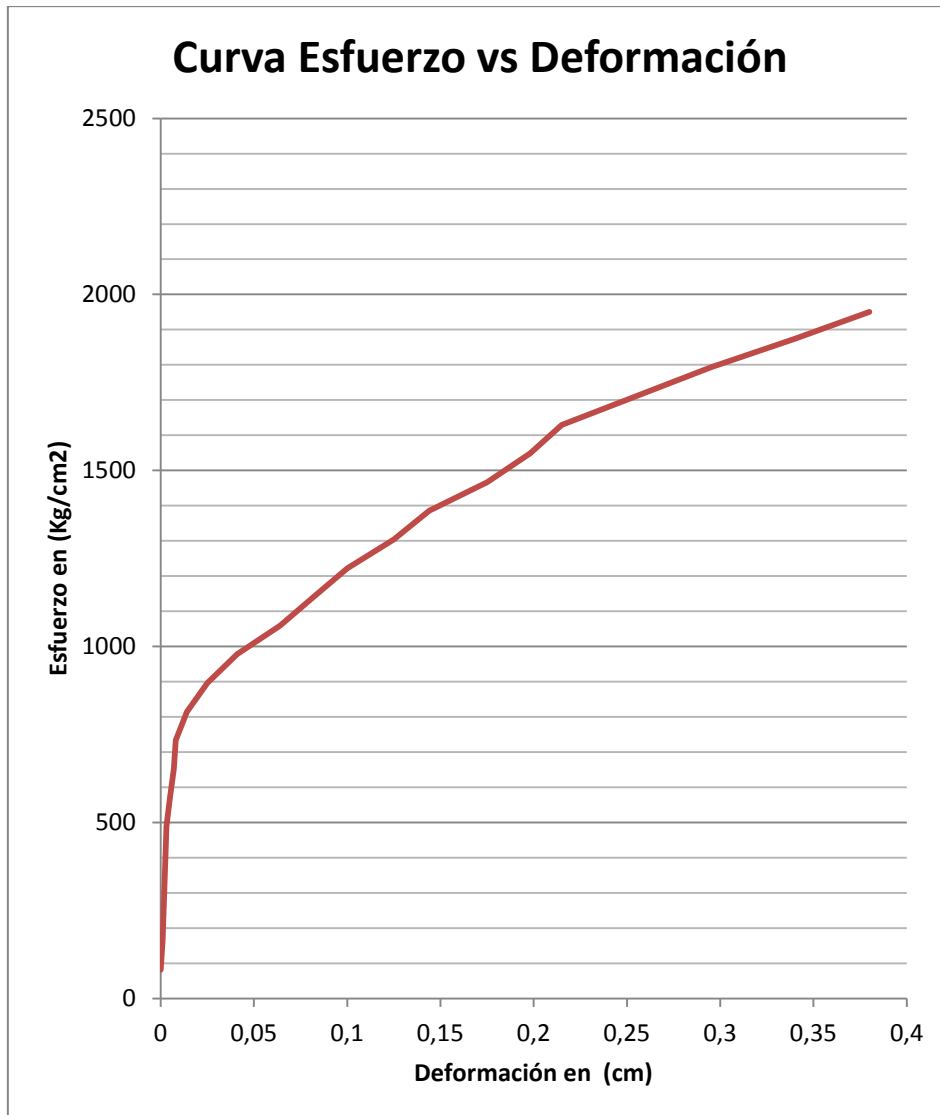
**(Fuente: El autor)**

#### **4.1.7.3 Ensayo de tracción en la Prueba 7**

Esta vez dejamos enfriar nuestro material en la arena durante 26 horas y obtenemos un tamaño de grano más pequeño y compacto obteniendo mejores resultados a la hora de su maquinado, logrando dos probetas para el ensayo de tracción, el ensayo de tracción se realizó según la norma ASTM E-8, en la máquina universal del Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, obteniendo los siguientes resultados.



**Figura 42. Diagrama Esfuerzo deformación para la prueba 7 probeta 1 alcanzando una resistencia máxima de 2820.30 Kg/cm<sup>2</sup> (Fuente: el autor)**



**Figura 43. Diagrama Esfuerzo deformación para la prueba 7 probeta 2 alcanzando una resistencia máxima de 2393 Kg/cm<sup>2</sup> (Fuente: el autor)**

#### **4.1.7.4 Ensayo de dureza en la Prueba 7**

Para determinar la dureza en la prueba 7 se utilizó el durómetro del Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, con escala de dureza Brinell con esfera de 2.5 mm de diámetro, carga de 612.9 N y utilizando la norma ASTM E-18, arrojó los siguientes resultados:

**Tabla 14. Valores de Dureza BRINELL Prueba de fundición 7.**

<b>Nº DE MEDICIÓN</b>	<b>DUREZA BRINELL</b>
1	65,5
2	76,3
3	68,2
4	76,3
5	73,2
6	70,2
7	65,5
8	76,3
9	73,2
10	71,3
<b>PROMEDIO DE DUREZA</b>	<b>71,60</b>

**(Fuente: El autor)**

#### **4.1.8 Prueba 8**

Fecha: 11-09-2013

Hora de inicio: 12:20

Hora de finalización: 12:40

La presente prueba, se utilizó en el horno de inducción y el crisol de grafito A6 preparado, tomando en cuenta que dicho crisol está muy gastado con un espesor de pared de aproximadamente (7 mm a 10 mm), con las siguientes cantidades para 3000 gramos de fundición.

- 1770 gr, de alambre de cobre trenzado y cortado en pedazos de 10cm y doblados en la mitad.

- 1380 gr de zinc obtenido de un ánodo cortado en trozos cúbicos de diferentes dimensiones, tomando en cuenta un 7% por pérdidas de evaporación de dicho material.
- 105 gr de plomo para recubrimientos superficiales con un 99% de pureza cortado en pedazos de diferentes dimensiones tomando en cuenta un 3.5% por pérdidas de evaporación.

En la prueba 8 se tuvo la novedad que el cobre se fundió en su totalidad en apenas 10 minutos, (a causa de que el crisol está muy desgastado) introduciendo el plomo a los 13 minutos luego de empezar el proceso, 14 minutos después se coloca el zinc dejándolo en la colada durante 5 minutos, se comprueba que ya esté en estado líquido en su totalidad removiendo la colada y se da por terminada la fundición en tan solo 20 minutos después.

#### **4.1.8.1 Análisis metalográfico en la Prueba 8**

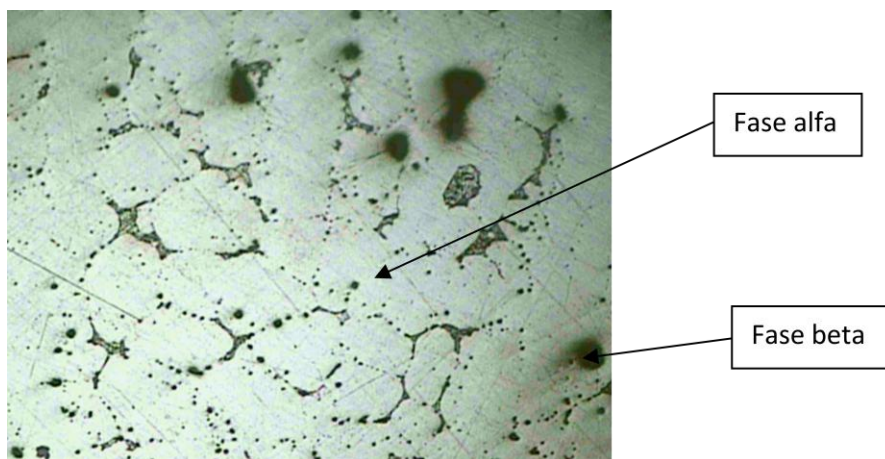
Al igual que en todas las metalografías anteriores la realizamos con el mismo proceso conocido en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, obteniendo los siguientes resultados:



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**

**ENSAYO METALOGRÁFICO**

<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de $\text{HCl}$ , 1 gr de $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	4 Segundos
<b>Escala</b>	100 X
<b>Prueba #</b>	8
<b>Probeta</b>	Única
<b>Muestra</b>	Muestra del lingote

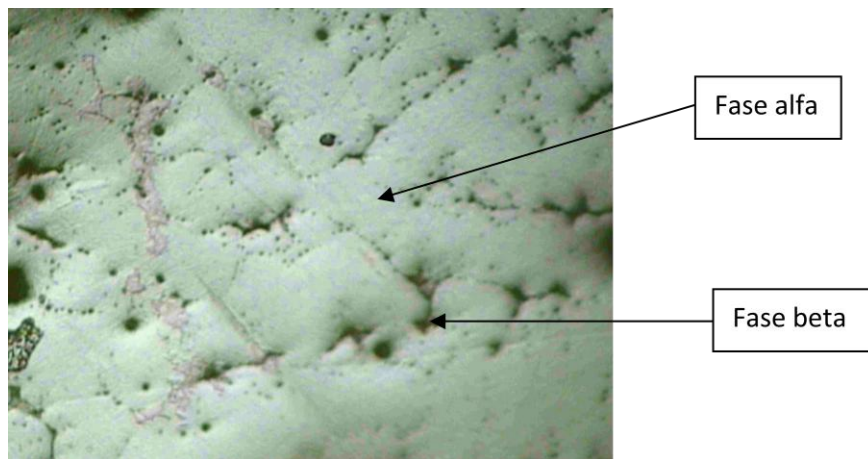


**Figura 44. Microestructura Prueba 8 a 100X, atacado con reactivo químico (20 gr de  $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de  $\text{HCl}$ , 1 gr de  $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada) durante 4 segundos, con presencia de fase alfa y beta (Fuente: el autor)**



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**  
**ENSAYO METALOGRAFÍCO**

Ataque químico	Sin ataque
Tiempo de ataque	Sin ataque
Escala	100 X
Prueba #	8
Probeta	Única
Muestra	Muestra del lingote



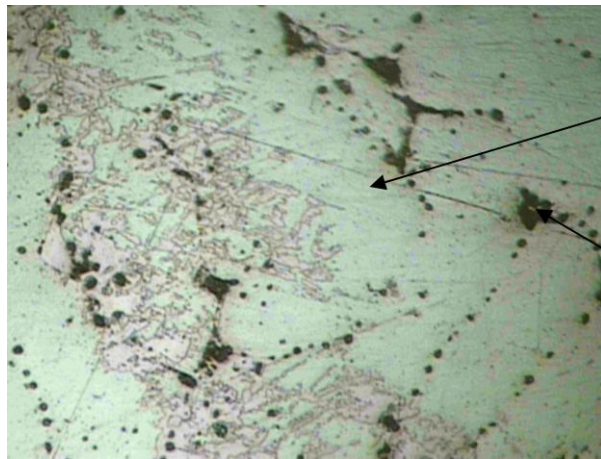
**Figura 45. Microestructura Prueba 8 a 100X, sin ataque, se observa presencia de fase alfa y beta (Fuente: el autor)**



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**

**ENSAYO METALOGRAFÍCO**

<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	4 Segundos
<b>Escala</b>	200 X
<b>Prueba #</b>	8
<b>Probeta</b>	Única
<b>Muestra</b>	Muestra del lingote



Fase alfa

Fase beta

**Figura 46. Microestructura Prueba 8 a 200X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl<sub>3</sub>, 5 ml de HCl, 1 gr de CrO<sub>2</sub>, y 100 ml de agua destilada) durante 4 segundos, con presencia de fase alfa y beta (Fuente: el autor)**

#### 4.1.8.2 Análisis químico para la Prueba 8

El análisis químico se lo realizó en la empresa NOVACERO de la ciudad de LATACUNGA con la gentileza del Ing. Eduardo Villegas en un ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720, canal de ensayo: ENERGY TEST; arrojando los siguientes resultados:



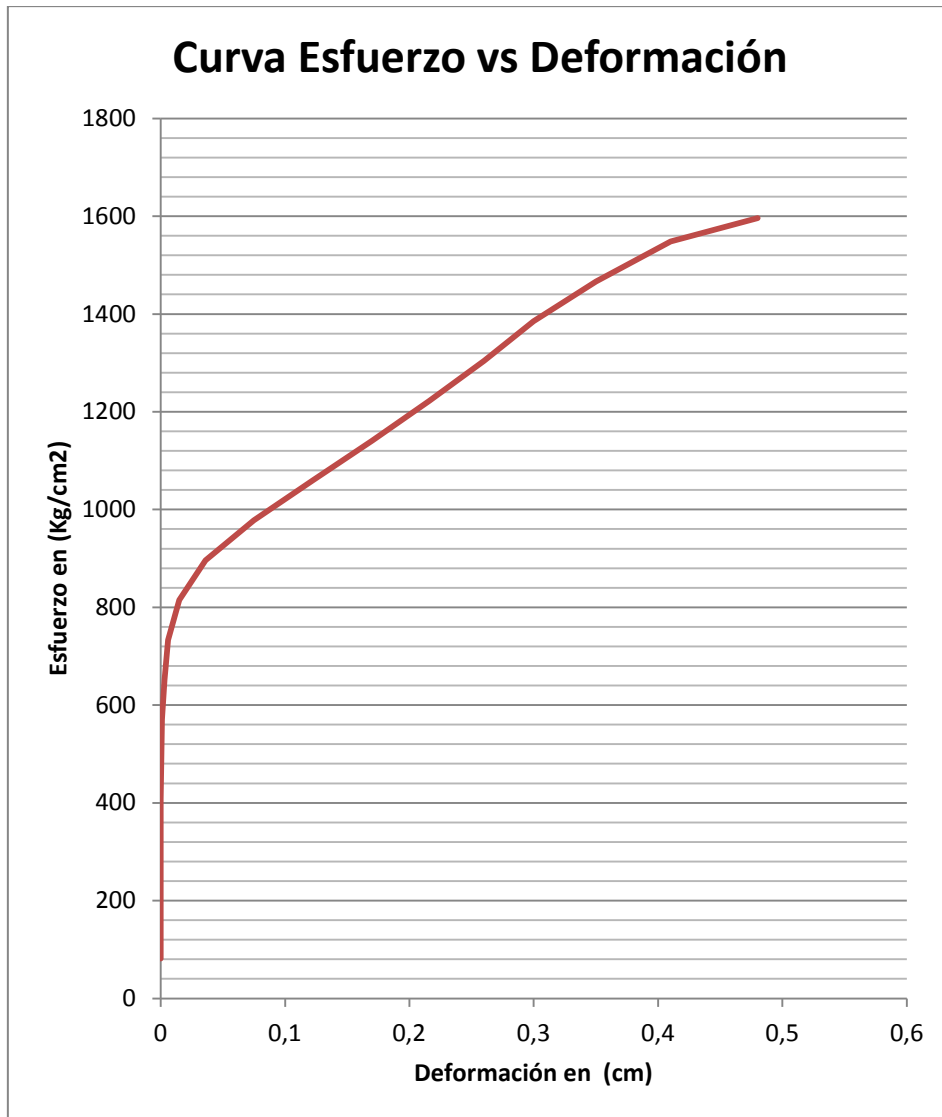
**Tabla 15. Resultado del análisis químico prueba 8.**

<b>ANÁLISIS QUÍMICO PRUEBA 8</b>	
<b>Material</b>	<b>Porcentaje</b>
Cu	58,978
Zn	36,958
Pb	3,357
Ra	0,175
Ca	0,143
Mn	0,490
Mo	1,700

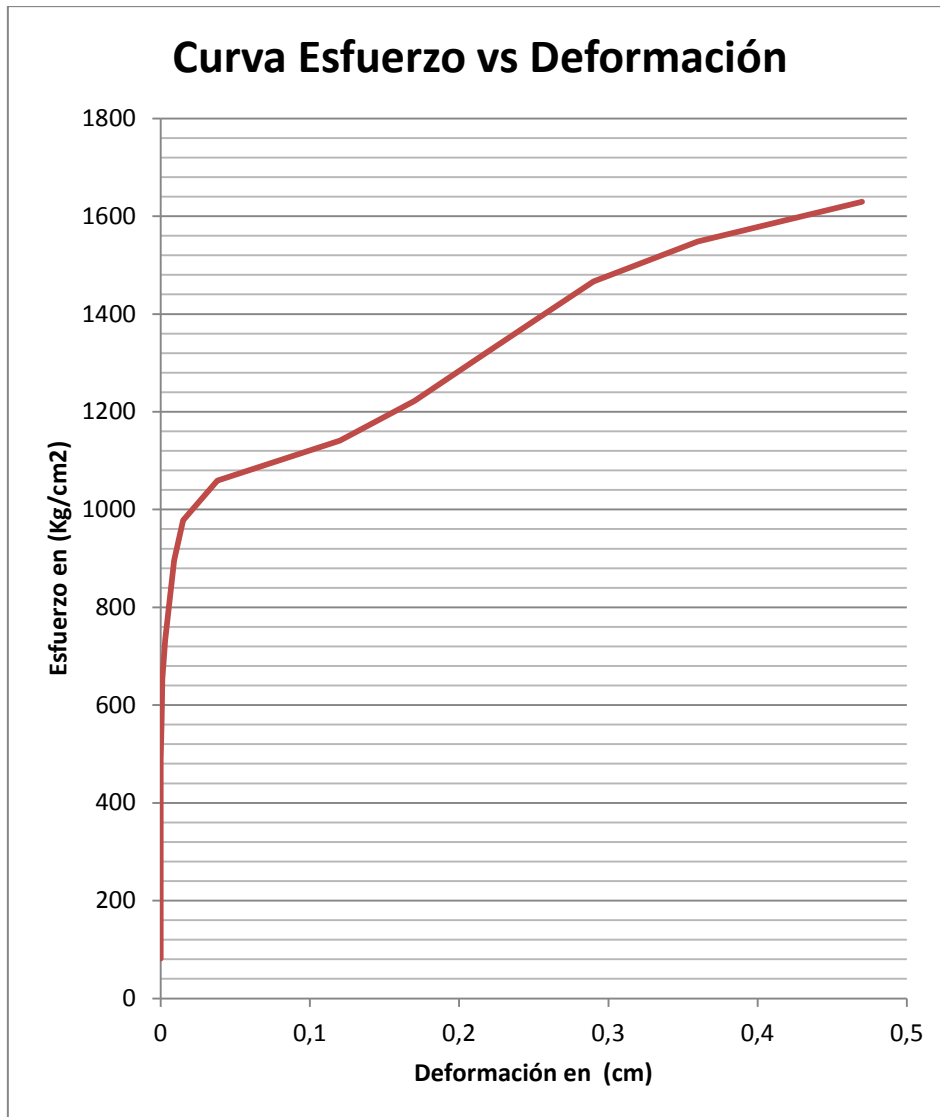
**(Fuente: El autor)**

#### **4.1.8.3 Ensayo de tracción para la Prueba 8**

Nuevamente como en la prueba 7 se deja enfriar el material sin desarmar la caja de arena y se obtiene un material excelente con cero porosidades, se fabrican dos probetas para el ensayo, el ensayo de tracción se realizó según la norma ASTM E-8, en la máquina universal del Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, obteniendo los siguientes resultados.



**Figura 47. Diagrama Esfuerzo deformación para la prueba 8 probeta 1 donde se obtuvo una resistencia máxima de 1958.80  $\text{Kg/cm}^2$  (Fuente: el autor)**



**Figura 48. Diagrama Esfuerzo deformación para la prueba 8 probeta 2 donde se obtuvo una resistencia máxima de 2092.80 Kg/cm<sup>2</sup> (Fuente: el autor)**

#### **4.1.8.4 Ensayo de dureza para la Prueba 8**

Para determinar la dureza en la prueba 8 se utilizó el durómetro del Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, con escala de dureza Brinell con esfera de 2.5 mm de diámetro, carga de 612.9 N y utilizando la norma ASTM E-18, arrojó los siguientes resultados:

**Tabla 16. Valores de Dureza BRINELL Prueba de fundición 8.**

<b>DUREZA PRUEBA 8</b>	
<b>Nº DE MEDICIÓN</b>	<b>DUREZA BRINELL</b>
1	63
2	52,8
3	53,8
4	58,4
5	50,1
6	48,8
7	56,8
8	52,8
9	53,8
10	50,1
<b>PROMEDIO DE DUREZA</b>	<b>54,04</b>

(Fuente: El autor)

#### **4.1.9 ENSAYO DE MAQUINABILIDAD**

Antes de calcular la maquinabilidad de la presente aleación cabe recalcar que teóricamente es del tipo UNS C-36000 con 100% de maquinabilidad dicha aleación tiene las siguientes propiedades:

Resistencia máxima 300 - 500 MPa

Dureza Brinell 65-136

Maquinabilidad: 100% (basado en C36000)

Composición química Cu 60 - 63%, Zn 35 - 40% y Pb 2.5 - 3.7%.

Dichos valores fueron tomados del catálogo SUMITEC SUMINISTROS TÉCNICOS S. A. empresa proveedora especialista de metales, aleaciones, cerámicas, polímeros otros materiales, para satisfacer la investigación, desarrollo y producción especializada de la ciencia y la industria.

Para determinar la maquinabilidad de la aleación compuesta de cobre, zinc y plomo fue necesario elegir correctamente los parámetros de corte como son, velocidad de corte, avance y profundidad de corte.

Para realizar las pruebas de tiempo de vida de la herramienta de corte, en varias literaturas consultadas se recomienda utilizar los parámetros de corte más críticos que se puedan alcanzar en la máquina - herramienta en la cual se llevaran a cabo los ensayos, de esta forma se induce un desgaste rápido de la cuchilla, lo cual permite obtener resultados luego de tiempos de maquinado relativamente cortos. Al utilizar condiciones severas normalmente no afectan los resultados de maquinabilidad que se desean obtener siempre y cuando estas condiciones sean las mismas para todas las pruebas.

La **velocidad de corte** indica la velocidad relativa en metros / minuto entre la cuchilla y pieza de trabajo. El recorrido que tendría la cuchilla en cada revolución equivale a la circunferencia de la pieza de trabajo, esto multiplicado por el número de revoluciones por minuto que da el husillo del torno equivale a la velocidad de corte, y dividiendo para 1000 convertimos las unidades de milímetros que tendremos en el diámetro de la pieza de trabajo a metros que es el resultado y se expresa en la formula siguiente:

$$V = \frac{(\pi * d * n)}{1000}$$

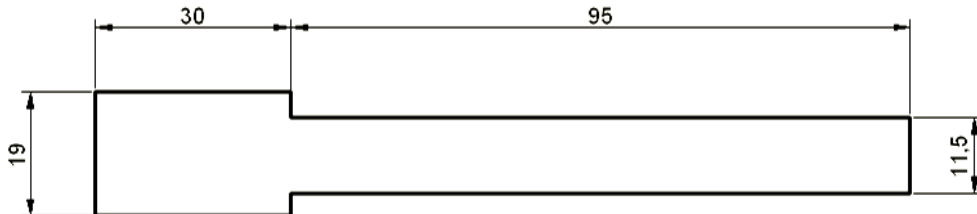
Donde:

V = Velocidad de corte en m/minuto

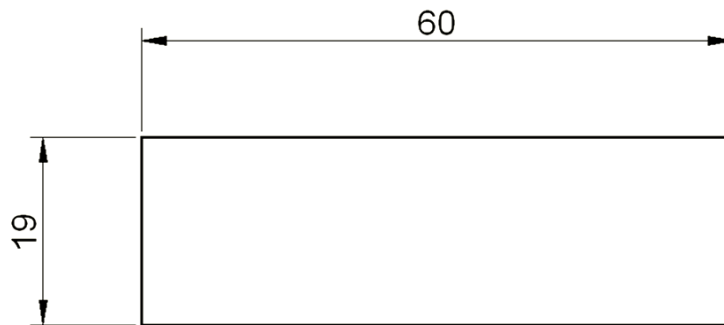
d = Diámetro de la pieza torneada en mm

n = velocidad de giro del husillo en rpm

En nuestro caso preparamos tres probetas para realizar dos ensayos las mismas que 2 tienen similares características como se indica en la figura 49, y una tiene características como se muestra en la figura 50.



**Figura 49. Probeta para el ensayo de maquinabilidad (fuente el autor).**



**Figura 50. Probeta 3 para el ensayo de maquinabilidad (fuente el autor).**

En el caso de la máquina disponible para los experimentos, la máxima velocidad que se puede obtener es de 2000 rpm, pero como se debe variar la velocidad para determinar la ecuación de Taylor tomamos 1000 rpm. Que es la máxima recomendada para aleaciones de cobre, y considerando las 2 probetas de 11.5 mm y 11 mm respectivamente como promedio tenemos 11.25 mm. Calculamos la velocidad de la siguiente manera:

$$V = \frac{3.1416 * 11.25 * 1000}{1000} = 35.34 \frac{m}{min}$$

La velocidad para la tercera probeta que tiene un diámetro de 19 mm y es maquinado a 2000 rpm nos quedaría así

$$V = \frac{3.1416 * 19 * 2000}{1000} = 119.38 \frac{m}{min}$$

En el caso del **avance** consultando tablas para el maquinado de aleaciones de cobre que están en las moderadamente maquinables se encontró las siguientes recomendaciones para la velocidad de avance:

Para desbastado: de 0.5 a 0.75  $\frac{mm}{rev}$

Para acabado: 0.18  $\frac{mm}{rev}$

Para determinar la ecuación de Taylor se varia solo la velocidad lo otros parámetros son los mismos para las tres probetas.

Encontramos que es recomendable realizar los ensayos de maquinabilidad bajo condiciones de desbastado, por lo que se trabajó con 0.5  $\frac{mm}{rev}$  ya que esta velocidad si se puede regular en el torno que utilizamos para los presentes ensayos.

Para seleccionar la **profundidad de corte** es necesario determinar previamente la cuchilla con la cual vamos a trabajar ya que mientras más dura y resistente sea la herramienta de corte, permitirá lógicamente una mayor penetración en la pieza de trabajo y por lo tanto una mayor profundidad de corte.

En nuestro casos trabajamos con una cuchilla de 1/4" de acero rápido por ser menos dura y como ya se mencionó se trabaja con los parámetros más críticos. Para el desbaste de aleaciones de Cobre con cuchillas de acero rápido se recomienda profundidades de corte entre 1.25 y 3.2 mm. Se trabajó con una profundidad de 2.5 mm ya que al ser mayor puede existir peligro de rotura de la herramienta, aunque al finalizar los ensayos se

utilizó una profundidad de corte de 4.5 mm verificando un corte sin ningún problema y muy buen acabado.

**Tabla 17. Parámetros de corte seleccionados.**

PARÁMETROS DE CORTE SELECCIONADOS	
VELOCIDAD DE CORTE 1	$35,34 \frac{m}{min}$
VELOCIDAD DE CORTE 2	$119,38 \frac{m}{min}$
AVANCE	$0,5 \frac{mm}{rev}$
PROFUNDIDAD DE CORTE	2,5 mm

(Fuente: El autor)

#### 4.1.9.1 Ensayo del tiempo de vida de la herramienta

Antes de comenzar con los ensayos fue necesario realizar algunas preparaciones:

Afilado de cuchillas, se afilo una cuchilla por ambos lados, realizando 1 lado para cada probeta, y para el tercer ensayo se afilo nuevamente un lado de la cuchilla. El afilado fue el recomendado para desbaste y se lo realizó en el taller de mecánica general del Sr. Germán Vargas, tratando que dicho afilado sea en lo posible exactamente igual en ambos lados teniendo la cuchilla como se muestra en la figura siguiente.

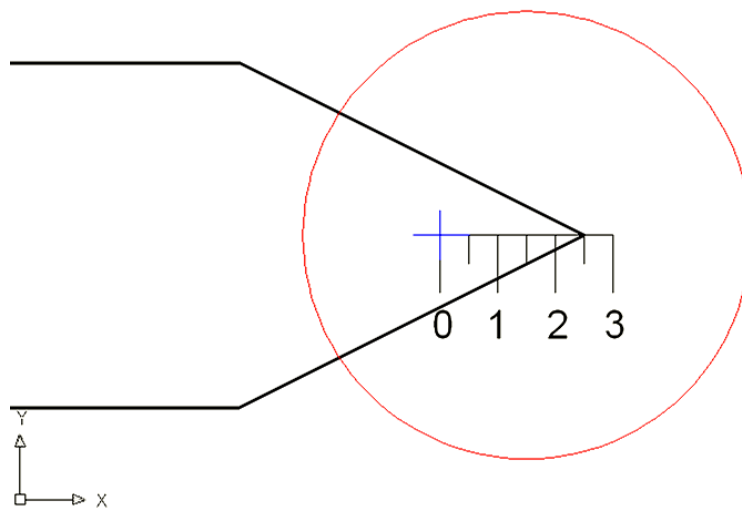


**Figura 51. Cuchilla de acero rápido de  $\frac{1}{4} \times 2 \frac{1}{2}$  HSS Rc66 afilada en sus dos extremos. (fuente el autor).**

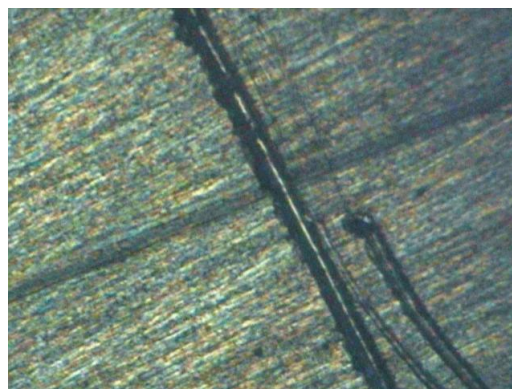


Selección del límite de desgaste, para poder medir el desgaste de la cuchilla fue necesario establecer una manera de medir tal desgaste, para eso se utilizó el macrómetro de la FICM, que sirve para medir el diámetro de las huellas del durómetro ya que dicho instrumento permite medir en escalas de milésimas de milímetro.

Se realizó las respectivas huellas para tomar como referencia 0.0 en la superficie de la cuchilla y poder medir la distancia del desgaste hasta la punta como se muestra en la figura, donde la señal de color azul está tomada al azar solo para poder tomar la medida de referencia

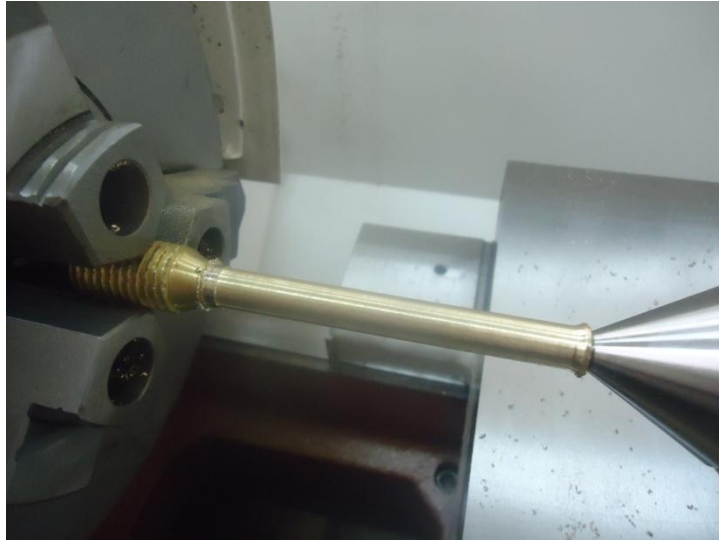


**Figura 52.** Toma de la medida del desgaste con la escala del macrómetro de la FICM. (fuente el autor).



**Figura 53.** Huella en la punta de la cuchilla para realizar las respectivas medidas a 40 X tomada con el microscopio de la de la FICM. (fuente el autor).

En la preparación de las probetas, para aprovechar mejor la longitud de estas se montó agarradas al mandril en un extremo y en el otro al contrapunto, y para ello fue necesario realizar un centro utilizando la broca para este propósito.



**Figura 54.** Sujeción de la probeta en el torno. (fuente el autor).

#### **4.1.9.2 Desarrollo del experimento**

Se siguió la siguiente secuencia para el ensayo de las barras maquinadas:


1. Montaje de la herramienta en el portacuchillas y regulación de la altura, para que el maquinado sea correcto la cuchilla debe coincidir con el eje de la pieza, para esto se toma como referencia la punta del contrapunto.
2. Montaje de la probeta, sujetándola en un extremo al mandril y el otro al contrapunto, asegurar el contrapunto para evitar que se afloje.

3. Selección de los parámetros de maquinabilidad, para ello se debe tomar muy en cuenta la buena utilización de las palancas del panel de control del torno utilizando las combinaciones correctas.
4. Determinar el ángulo de trabajo, dicho ángulo no será variado en ningún ensayo.
5. Encender la máquina y hacer un contacto bien ligero entre la cuchilla y la pieza para sincronizar el cero de referencia para la profundidad de corte y colocar la profundidad de corte a 2.5 mm en el extremo del contrapunto.
6. Con un cronómetro listo mover la palanca que conecta el avance automático, y tomar el tiempo que tarda en llegar la cuchilla al otro extremo de la probeta y antes de que se acerque peligrosamente al mandril detener simultáneamente el avance y el cronómetro. Apagar la máquina y anotar el tiempo de maquinado.
7. Observar la herramienta con el macroscopio para medir el desgaste. Tabular dicho valor junto al del tiempo y comparar resultados.
8. Repetir los ensayos desde el paso número 5 en adelante hasta que la probeta llegue al límite posible de mecanizado.

A continuación se muestra las tablas de resumen con los ensayos de maquinabilidad para la prueba 8 de composición química: Cu = 58,98 %, Zn = 36,96%, Pb = 3,39 %, en las tablas 18 y 20


Y para la prueba 4 de composición química: Cu = 56,24 %, Zn = 42,28%, Pb = 1,37 %, en la tabla 19.

Tabla 18. Resultado del ensayo de dureza en la primera prueba.

ENSAYO DE MAQUINABILIDAD													
<b>MATERIAL</b>	Aleación Cu = 58,98 %, Zn = 36,96%, Pb = 3,39 % Prueba 8												
<b>HERRAMIENTA</b>	Cuchilla de 1/4"x 2.1/2 HSS Rc66	<b>DUREZA BRINELL</b> =54.04											
<b>PARAMETRO MEDIDO</b>	Desgaste de flanco	<b>PROFUNDIDAD DE ATAQUE</b>	2,5 mm										
<b>VELOCIDAD aprox.</b>	35,34 m/min	<b>AVANCE</b>	0,50 mm/rev										
TABLA DE DATOS		<p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</p>  											
Tiempo (minutos y segundos)	Desgaste (mm)												
1' 27"	0,01												
2' 57"	0,02												
4' 31"	0,04												
5' 59"	0,06												
<h3>Desgaste de Flanco vs Tiempo</h3>  <table border="1"> <caption>Data for Desgaste de Flanco vs Tiempo</caption> <thead> <tr> <th>Tiempo</th> <th>Desgaste (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1' 27"</td> <td>0,01</td> </tr> <tr> <td>2' 57"</td> <td>0,02</td> </tr> <tr> <td>4' 31"</td> <td>0,04</td> </tr> <tr> <td>5' 59"</td> <td>0,06</td> </tr> </tbody> </table>				Tiempo	Desgaste (mm)	1' 27"	0,01	2' 57"	0,02	4' 31"	0,04	5' 59"	0,06
Tiempo	Desgaste (mm)												
1' 27"	0,01												
2' 57"	0,02												
4' 31"	0,04												
5' 59"	0,06												

(Fuente: El autor)

Tabla 19. Resultado del ensayo de dureza en la segunda prueba.

ENSAYO DE MAQUINABILIDAD			
<b>MATERIAL</b>	Aleación Cu = 56,24 %, Zn = 42,28%, Pb = 1,37 % Prueba 4		
<b>HERRAMIENTA</b>	Cuchilla de 1/4"x 2.1/2 HSS Rc66	<b>DUREZA BRINELL</b>	=83.04
<b>PARAMETRO MEDIDO</b>	Desgaste de flanco	<b>PROFUNDIDAD DE ATAQUE</b>	2,5 mm
<b>VELOCIDAD aprox.</b>	35,34 m/min	<b>AVANCE</b>	0,50 mm/rev
TABLA DE DATOS		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE                      AMBATO                      FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL                      Y MECÁNICA</b>  	
Tiempo (minutos y segundos)	Desgaste (mm)		
1' 39"	0,02		
2' 50"	0,03		
4' 01"	0,05		
5' 12"	0,07		

### Desgaste de Flanco vs Tiempo

Tiempo	Desgaste (mm)
1' 39"	0,02
2' 50"	0,03
4' 01"	0,05
5' 12"	0,07

(Fuente: El autor)

Tabla 20. Resultado del ensayo de dureza en la tercera prueba.

ENSAYO DE MAQUINABILIDAD			
<b>MATERIAL</b>	Aleación Cu = 58,98 %, Zn = 36,96%, Pb = 3,39 % Prueba 8		
<b>HERRAMIENTA</b>	Cuchilla de 1/4"x 2.1/2 HSS Rc66	<b>DUREZA BRINELL</b> =54.04	
<b>PARAMETRO MEDIDO</b>	Desgaste de flanco	<b>PROFUNDIDAD DE ATAQUE</b>	2,5 mm
<b>VELOCIDAD aprox.</b>	119,38 m/min	<b>AVANCE</b>	0,50 mm/rev
TABLA DE DATOS			
Tiempo (minutos y segundos)	Desgaste (mm)	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE                      AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL                      Y MECÁNICA</b>  	
0' 23"	0,01		
1' 16"	0,02		
1' 39"	0,04		
2' 06"	0,05		
			

(Fuente: El autor)

#### 4.1.9.3 Determinación de la ecuación de Taylor

Para determinar las ecuaciones de Taylor se realizaron 3 ensayos para la vida de una herramienta, dos de las cuales son materiales de la prueba 8 con una maquinabilidad teórica de 100% bajo las mismas condiciones de corte en las que se varió solamente la velocidad. La tercera prueba es con el material de la prueba 4 de diferente composición química igualmente bajo las mismas condiciones de corte y la misma velocidad que la primera prueba.

##### 4.1.9.3.1 Determinación de la ecuación de Taylor para la prueba 8

Buscar un valor de tiempo para un desgaste común con ambas velocidades en este caso se calcula el tiempo de desgaste de 0.050 mm para la velocidad de 35.34 m/mm.

Como el tiempo no tiene variación me queda la siguiente tabla para poder interpolar

<b>VALORES DE LA PRUEBA 8</b>		
<b>TIEMPO</b>	<b>DESGASTE A VELOCIDAD 35,34 m/min</b>	<b>DESGASTE A VELOCIDAD 119,38 m/min</b>
<b>0' 23''</b>	-	<b>0,010</b>
<b>1' 16''</b>	-	<b>0,020</b>
<b>1' 27''</b>	<b>0,010</b>	-
<b>1' 39''</b>	-	<b>0,040</b>
<b>2' 06''</b>	-	<b>0,050</b>
<b>2' 57''</b>	<b>0,020</b>	-
<b>4' 31''</b>	<b>0,040</b>	-
<b>5' 59''</b>	<b>0,060</b>	-

Interpolando me queda:

$$\frac{T_{35.34} - 4.02}{5.20 - 4.52} = \frac{0.050 - 0.040}{0.060 - 0.040}$$

$$T_{35.34} = 4.61 \text{ minutos}$$

$$T_{35.34} = 4'37''$$

Relacionamos las ecuaciones de Taylor para encontrar el valor K donde:

$V_c$  = Velocidad de corte en metros por minutos

$T$  = Tiempo de vida de la herramienta en minutos

$n$  = Parámetro que depende del material de la herramienta

$K$  = Parámetro que depende del material de trabajo y las condiciones de corte

$$V_c * T^n = K$$

$$\text{I} \quad 35.34 * 4.61^n = K$$

$$\text{II} \quad 119.38 * 2.10^n = K$$

Remplazando K en II

$$35.34 * 4.61^n = 119.38 * 2.10^n$$

$$\left(\frac{4.61}{2.10}\right)^n = \frac{119.38}{35.34}$$

$$\log 2.19523 * n = \log 3.378042$$



$$n = \frac{\log 3.378042}{\log 2.19523}$$

$$n = 1.55$$

Remplazo  $n$  en cualquier ecuación inicial y se obtiene el valor de  $K$ :

$$35.34 * 4.61^{1.55} = K$$

$$K = 377.57$$

La ecuación de Taylor para el material con maquinabilidad teórica del 100 % de la prueba 8 nos queda de la siguiente manera:

$$VT^{1.55} = 377.57$$

#### **4.1.9.3.2 Determinación de la ecuación de Taylor para la prueba 4**

Buscar el valor de tiempo para un desgaste común con ambas velocidades en este caso se calcula el tiempo de desgaste de 0.040 mm para la velocidad de 35.34 m/mm.

Como el tiempo no tiene variación me queda la siguiente tabla para poder interpolar

<b>VALORES DE LA PRUEBA 4</b>		
<b>TIEMPO</b>	<b>DESGASTE A VELOCIDAD 35,34 m/min</b>	<b>DESGASTE A VELOCIDAD 119,38 m/min</b>
<b>0' 23"</b>		<b>0,010</b>
<b>1' 16"</b>		<b>0,020</b>
<b>1' 27"</b>		<b>-</b>
<b>1' 39"</b>	<b>0,020</b>	<b>0,040</b>
<b>2' 06"</b>	<b>-</b>	<b>0,050</b>
<b>2' 50"</b>	<b>0,030</b>	<b>-</b>
<b>4' 01"</b>	<b>0,050</b>	<b>-</b>
<b>5' 12"</b>	<b>0,070</b>	<b>-</b>

Interpolando me queda:

$$\frac{T_{35.34} - 2.83}{4.02 - 2.83} = \frac{0.040 - 0.030}{0.050 - 0.030}$$

$$T_{35.34} = 3.425 \text{ minutos}$$

$$T_{35.34} = 3'25''$$

Relacionamos las ecuaciones de Taylor para encontrar el valor K:

$$V_c * T^n = K$$

$$\text{I} \quad 35.34 * 3.425^n = K$$

$$\text{II} \quad 119.38 * 1.65^n = K$$

Remplazando K en II

$$35.34 * 3.425^n = 119.38 * 1.65^n$$

$$\left(\frac{3.425}{1.65}\right)^n = \frac{119.38}{35.34}$$

$$\log 1.53103 * n = \log 3.378$$

$$n = \frac{\log 3.3780418}{\log 2.0757575}$$

$$n = 1.66$$

Remplazo n en cualquier ecuación inicial y se obtiene el valor de K:

$$35.34 * 3.425^{1.67} = K$$

$$K = 276.153$$

La ecuación de Taylor para el material de la prueba 4 nos queda de la siguiente manera:

$$VT^{1.67} = 276.153$$

#### **4.1.9.4 Determinación del índice de maquinabilidad IM**

Se tiene que el material base con 100% de maquinabilidad tiene una ecuación de Taylor.

$$VT^{1.55} = 377.57$$

La ecuación del material de prueba es:

$$VT^{1.67} = 276.153$$

Se determina el índice de maquinabilidad del material de la prueba 4 usando la velocidad de corte que suministra una vida de la herramienta de 60 minutos como base de comparación, esta velocidad se denota por  $V_{60}$ .

El material de la prueba 8 tiene un índice de maquinabilidad teórico de 1.0 o 100%. Su valor  $V_{60}$  se determina así:

$$V_{60} = \frac{377.57}{60^{1.55}} = 0.662 \text{ m/min}$$

La velocidad de corte de la vida de la herramienta de 60 minutos para el material de la prueba 4 se determina de la misma manera:

$$V_{60} = \frac{276.153}{60^{1.67}} = 0.2963 \text{ m/min}$$

Por consiguiente el índice de maquinabilidad se puede calcular como:

$$IM = \frac{0.2963}{0.662} = 0.45$$

En consecuencia se dice que el material de la prueba 4 es 45% maquinable en relación al material de la prueba 8 que es tomado como el material de 100% de maquinabilidad.

Nótese que la dureza Brinell del material de la prueba 4 es mayor por ende se puede establecer que el cálculo es correcto.

Se toma la ecuación de Taylor de la prueba 8 como material base ya que es imposible encontrar la ecuación de Taylor para el material UNS C-36000.

#### 4.1.9.5 Determinación de la maquinabilidad del material por otros parámetros

Además de las mediciones de desgaste de la herramienta, resulta importante realizar otras observaciones durante el proceso.

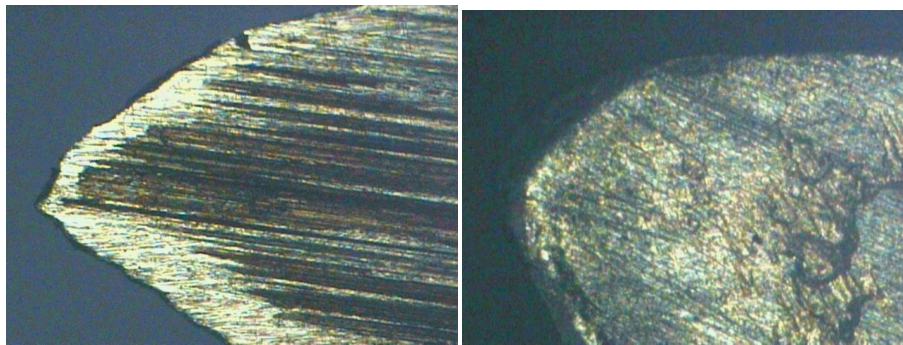
**Observación de la viruta:** La viruta es importante ya que por medio de ella sabemos las características de cada material y es un parámetro importante para determinar la maquinabilidad de nuestra aleación. Los materiales de fácil maquinado como es nuestro caso entregan una viruta corta, mientras más corta y pequeña que esta sea se dice que el material tiene mejor maquinabilidad, mientras que una viruta larga indica dificultad de maquinabilidad. El color también es un indicador, ya que si esta sale de diferente color al de la pieza a trabajar indica un incremento excesivo de temperatura y es peligroso para la herramienta ya que su desgaste será severo.

A continuación se observa una fotografía de la viruta más gruesa que se obtuvo al maquinar con una profundidad de corte de 4.5 mm que fue la máxima profundidad utilizada luego del ensayo correspondiente indicando una muy buena maquinabilidad de la aleación compuesta de cobre, zinc y plomo.



**Figura 55.** Viruta que se obtuvo al maquinar con una profundidad de corte de 4.5mm. (fuente el autor).

**Herramienta de corte,** a simple vista se puede detectar desgaste en la punta de la herramienta. Si ha existido exceso de calor en el maquinado es probable que el filo de la cuchilla presente cambios de color caso que no se da en nuestra herramienta, a continuación se observaremos una fotografía tomada microscópicamente de antes del maquinado y después del maquinado. Se nota que después del maquinado se adhiere un poco de material a la herramienta debido a la fuerza extrema que se realizó con una profundidad de 4.5mm. A eso se lo llama embotamiento de la cuchilla.



**Figura 56.** En la primera fotografía se observa la punta antes del maquinado, y en la segunda, después de maquinado (fuente el autor).

**Acabado superficial.** Cuando una herramienta de corte se va desgastando se produce la disminución de la calidad de superficie maquinada. Dicho acabado se lo puede determinar a simple vista y tacto y por lo menos detectar un cambio radical del acabado con cada pasada. En nuestro caso no se puede detectar mayor cambio en la superficie de la probeta teniendo buen acabado a simple vista desde la primera pasa hasta la última.



**Figura 57.** En la primera fotografía se observa el acabado con la primera pasada, y en la segunda, el acabado luego de la última pasada (fuente el autor).

A continuación se presenta las siguientes tablas donde se resume los resultados obtenidos en las pruebas de maquinabilidad, tóme en cuenta que los ensayos se realizaron con los materiales de las pruebas 4 y 8 ya que en las dos pruebas se consiguió material suficiente para poder realizar los ensayos.

Se toma en cuenta también que en la probeta de la prueba cuatro existe mayor desgaste de la herramienta por ser una aleación con mayor dureza.



**Figura 58. Se compara la viruta de las 2 primeras pruebas a más de eso la viruta con profundidad de 4.5mm que se realizó luego de las pruebas de maquinabilidad. (fuente el autor).**

Como conclusión se puede afirmar que la aleación tiene el 100% de maquinabilidad ya que el desgaste de la herramienta es muy mínimo y en todas la pasadas del torno se obtuvo una calidad muy buena de viruta cortada en partes muy finas por las partículas de plomo que hacen las veces de lubricante y permiten el desprendimiento rápido de la misma evitando el sobrecalentamiento entre la pieza y la herramienta. Como se puede observar en la figura anterior.




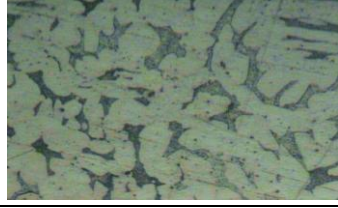
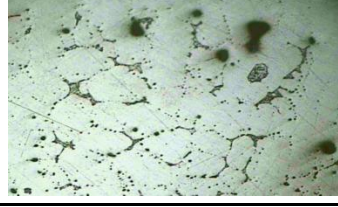
## 4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En la siguiente tabla podemos observar un resumen de los resultados obtenidos en las diferentes pruebas.

**Tabla 21. Resumen de ensayos realizados.**

NÚMERO DE PRUEBA	TIPO DE HORNO Y CRISOL	CANTIDAD DE ELEMENTOS EN GRAMOS	TIEMPO DE FUNDICION	COMPOSICION QUIMICA OBTENIDA	DUREZA BRINELL	CARGA TOTAL DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN MEGA PASCAL	MICROESTRUCTURA (200X)
1	Horno de inducción y crisol de grafito arcilla A6	Cu = 1160 Zn = 780 Pb = 60	2 Horas	No se funde cobre por posibles fallas en el crisol			
2	Horno de inducción y crisol de grafito de la FICM	Cu = 580 Zn = 390 Pb = 30	1:30 Horas	No se obtiene la aleacion por falta de agua			
3	Horno de inducción y crisol de grafito de la FICM	Cu = 580 Zn = 510 Pb = 30	40 Minutos	Cu = 92,643 % Pb = 4,071 % Zn = 2,840 % Mn = 4,100% Otros = 4,266 %	114,9	No se realiza ensayo de tracción (material regado)	



4	Horno de inducción y crisol de grafito de la FICM	Cu = 1160 Zn = 1020 Pb = 60	55 Minutos	Cu = 56,24 % Zn = 42,28 % Pb = 1,37 % P = 0,025 % Otros = 0,034 %	83,04	213.12	
5	Horno de inducción y crisol de grafito arcilla A6 preparado.	Cu = 1800 Zn = 1438,86 Pb = 135,50	40 Minutos	Cu = 49,320 % Zn = 46,719 % Pb = 3,398 % Ca = 0,363 % Ra = 0,200 %	167,5	No se realiza ensayo de tracción (material muy frágil)	
6	Horno de inducción y crisol de grafito arcilla A6 preparado.	Cu = 1740,60 Zn = 1440,20 Pb = 135,40	2:12 Horas	Cu = 62,530 % Zn = 31,401 % Pb = 3,838 % Ir = 1,680 % Th = 0,552 %	42,64	121.30	
7	Horno de inducción y crisol de grafito arcilla A6 preparado.	Cu = 1770 Zn = 1320 Pb = 150,10	1:05 Horas	Cu = 56,272 % Zn = 37,184 % Pb = 4,176 % S = 3,100 % Otros = 0,368 %	71,61	276.58	
8	Horno de inducción y crisol de grafito arcilla A6 preparado.	Cu = 1770,30 Zn = 1380,80 Pb = 105,30	20 Minutos	Cu = 58,978 % Zn = 36,958 % Pb = 3,357 % Ra = 0,175 % Mo = 1,700 % Otros = 0,192 %	54,04	205.23	

(Fuente: El autor)

La prueba 1, se realizó con material preparado para tener 2 Kg de aleación compuesta de esta manera  $\text{Cu} = 1160 \text{ gr}$ ,  $\text{Zn} = 780 \text{ gr}$ ,  $\text{Pb} = 60 \text{ gr}$ , como el crisol sobrepasa la bobina del horno se cree que la inducción no circula en su totalidad como está diseñado y no logra generar la temperatura suficiente para fundir el cobre, luego de dos horas de intentar fundir no se logra nuestro objetivo.



**Figura 59. Crisol de grafito arcilla A6 sobresale la bobina del horno de inducción (Fuente: el autor)**

La prueba 2 se realizó en el horno de inducción y el crisol de grafito de la FICM, con las siguientes cantidades  $\text{Cu} = 580 \text{ g}$ ,  $\text{Zn} = 390 \text{ g}$ ,  $\text{Pb} = 30 \text{ g}$ , material para obtener 1Kg de fundición, se corta el suministro de agua del horno y se detiene la fundición sin terminar de añadir el plomo, no se obtiene el material requerido para las pruebas mecánicas.

La prueba 3 se realizó en el horno de inducción y el crisol de grafito de la FICM, con material preparado para tener 1.12 Kg de aleación compuesta de esta manera  $\text{Cu} = 580 \text{ g}$ ,  $\text{Zn} = 510 \text{ g}$ ,  $\text{Pb} = 30 \text{ g}$ , tomando en cuenta 120 g más de zinc por pérdidas en la evaporación de este material, se realiza la fundición sin problemas, pero al momento de llenar el molde de arena se resbala el crisol de la pinza y se riega la colada sin obtener el material suficiente para los ensayos, de todas maneras tomamos la primera muestra para ensayar dureza y metalografía obteniendo un material con dureza de 114.90 Brinell.

En la prueba 4 fundimos Cu = 1160 gr, Zn = 1020 gr, Pb = 60 gr, obteniendo la aleación compuesta en una barra de 20cm de largo y diámetro 2.5cm para los ensayos que encontramos una dureza de 83.04 Brinell, una resistencia a la tracción de 2173,20 Kg. y una composición química de Cu = 56,24 %, Zn = 42,28 %, Pb = 1,37 %, P = 0,025 %, Otros = 0,034 %, esta composición esta fuera de los rangos de la aleación con el 100% de maquinabilidad, por lo que procedemos a realizar otra fundición.

La prueba 5 se realiza en el horno de inducción de la FICM. Esta vez preparamos el material para 3 Kg dispuestos así: Cu = 1800N g. Zn = 1438,86 g, Pb = 135,50. Obteniendo 2 barras de aleación compuesta, pero por supuesta humedad excesiva en el molde obtenemos una aleación con porosidad la misma que no se puede maquinar para obtener las probetas para el ensayo a tracción, en dicha aleación se obtiene una dureza de 167,5 Brinell, en el análisis metalográfico podemos observar la presencia de partículas de plomo que funciona como lubricante al momento de maquinar este material, como podemos apreciar es un material muy duro.

Prueba 6, en esta prueba utilizamos el horno a inducción de la FICM, utilizando material para cubrir 3 Kg de aleación, así: Cu = 1740,60 g, Zn = 1440,20 g, Pb = 135,40 g, se obtiene un material con dureza de 42.64 Brinell, tomando en cuenta que la fundición anterior fue mucho más dura con una pequeña variación del cobre y zinc, también consiguió una aleación extremadamente frágil y no se pudo maquinar más que una sola probeta para el ensayo a tracción donde tuvimos una resistencia de 1237.00 Kg que indica una aleación poco resistente tomando en cuenta la resistencia de la prueba 4, en el análisis metalográfico vemos una aleación más uniforme con las partículas de plomo un poco más grandes que posiblemente esta sea la causa de no tener muy buena resistencia.

La prueba 7 se realiza sin novedades en el horno a inducción de la FICM con el crisol A6 preparado, utilizando material para cubrir 3 Kg de aleación, así: Cu = 1770 g, Zn = 1320 g, Pb = 150.10 g, obtenemos una aleación con la resistencia a la tracción de

2820.30 Kg que es una de las más altas en las diferentes pruebas, y una dureza de 71.61 Brinell, en el análisis metalográfico observamos las partículas de plomo uniformes en toda la colada, en el análisis químico encontramos azufre en un 3.1% desconociendo la causa de tener dicho material en esas proporciones.

Prueba 8, preparamos material para obtener 3000 gramos de fundición de la siguiente manera: Cu = 1770.30 g, Zn = 1380.80 g, Pb = 105.30 g obteniendo una resistencia a la tracción de 2092.80 Kg y una dureza de 54.04 Brinell, en la metalografía se observa una colada no tan uniforme con partículas de plomo muy dispersas, en el análisis químico nos encontramos con un valor muy alto de molibdeno que es 1.70%.

#### **4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Viendo el resumen de la tabla 20 verificamos que en cada fundición realizada hay variación de las propiedades mecánicas tales como dureza, resistencia a la tracción, fragilidad, metalografía, etc. La primera aleación que presento una dureza de 167.50 Brinell fue la de la prueba 5 pero se obtuvo una fragilidad grande, la fundición de la prueba 6 dio como resultado una aleación suave, de baja resistencia a la tracción, en la prueba 7 se obtuvo una aleación buena para la resistencia a la tracción. A continuación procedemos a verificar la hipótesis.

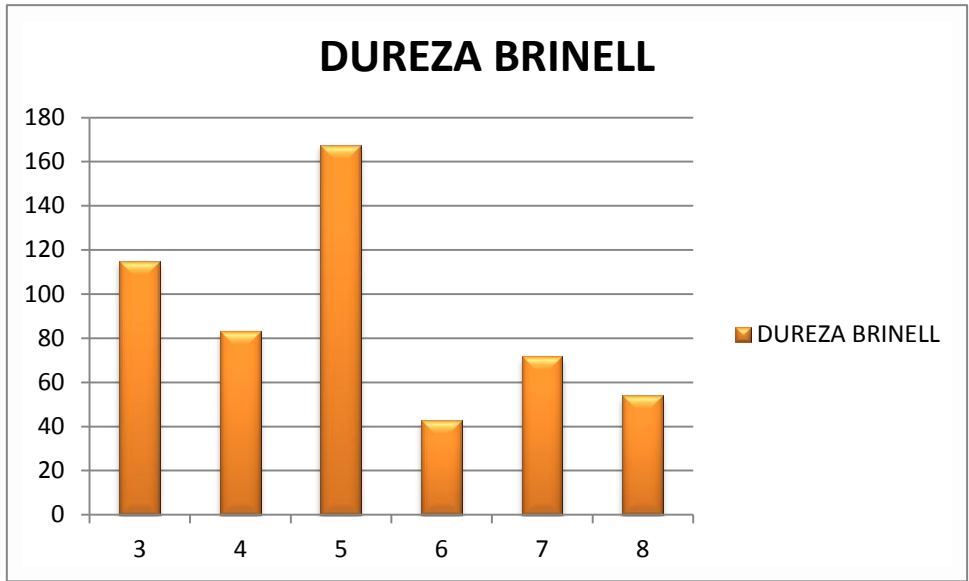


Figura 60. Comparación de dureza Brinell en cada prueba (Fuente: el autor)

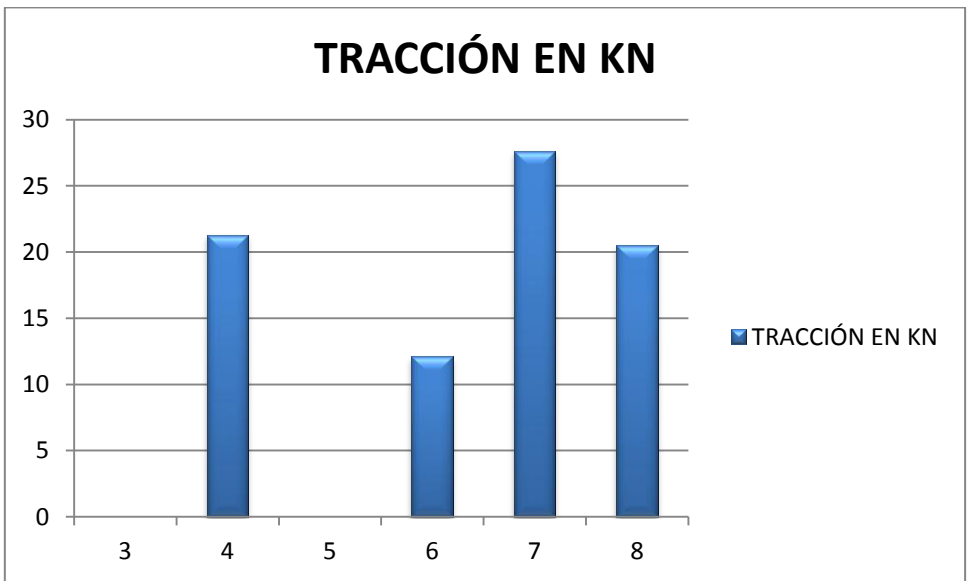


Figura 61. Comparación de resistencia a la tracción expresada en Kilo Newton para cada prueba (Fuente: el autor)

**H<sub>0</sub>:** Con la variación de porcentajes de Cu, Zn y Pb no cambiará dureza y resistencia a la tracción.

**H<sub>1</sub>:** Con la variación de porcentajes de Cu, Zn y Pb cambiará dureza y resistencia a la tracción.

#### 4.3.1. Prueba t para 2 colas para la prueba 3 con un nivel de significancia $\alpha=0.05$

##### 4.3.1.1. DUREZA (Prueba 3)

$H_0 = \mu_d = 63$  Brinell, No existe variación de Dureza<sup>7</sup>.

$H_1 = \mu_d \neq 63$  Brinell, Si existe variación de Dureza.

<b>DUREZA BRINELL EN LA PRUEBA 3</b>			
<b>Nº DE MEDICIÓN</b>	<b>DE</b>	<b>DUREZA (X)</b>	<b>X<sup>2</sup></b>
1		115,00	13.225,00
2		115,00	13.225,00
3		120,00	14.400,00
4		114,00	12.996,00
5		111,00	12.321,00
6		112,00	12.544,00
7		111,00	12.321,00
8		114,00	12.996,00
9		120,00	14.400,00
10		117,00	13.689,00
<b>SUMATORIAS</b>		<b>1.149,00</b>	<b>132.117,00</b>
<b>PROMEDIO DE DUREZA (<math>\bar{X}</math>)</b>		<b>114,90</b>	

---

<sup>7</sup> Valor de dureza máximo determinado de la prueba 8 ya que no se puede obtener datos de la aleación compuesta de Cobre, Zinc y Plomo en otros estudios.

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

$$S^2 = \frac{132117.00 - \frac{(1149.00)^2}{10}}{10 - 1}$$

$$S^2 = 10.77$$

Dónde:

S = Varianza

X = El valor de la medición

N = Numero de mediciones realizadas

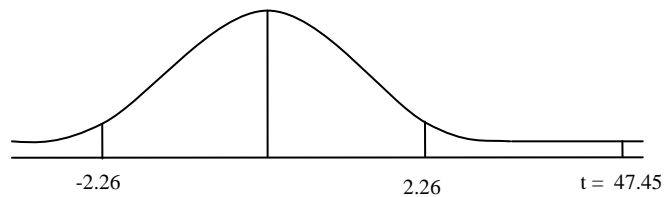
t = Intervalo

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{10.77} = 3.28$$

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{114.90 - 63}{3.28} \sqrt{10 - 1}$$

$$t = 47.45$$



Aceptar  $H_0$  si  $t$  se encuentra dentro del intervalo  $-t_{0.975}$  a  $t_{0.975}$  el cual para  $10 - 1 = 9$  grados de libertad es el intervalo -2.26 a 2.26.

Como  $t$  es igual a 47.45 **no se acepta  $H_0$**  al nivel de significancia de 0.05. Es decir que si hay incremento significativo para asumir que ha existido variación de dureza en la prueba 3.

#### 4.3.2. Prueba t para 2 colas para la prueba 4 con un nivel de significancia $\alpha=0.05$

##### 4.3.2.1. DUREZA (Prueba 4)

$H_0 = \mu_d = 63$  Brinell, No existe variación de Dureza.

$H_1 = \mu_d \neq 63$  Brinell, Si existe variación de Dureza.

DUREZA BRINELL EN LA PRUEBA 4		
Nº DE MEDICIÓN	DUREZA (X)	X <sup>2</sup>
1	83,00	6.889,00
2	80,40	6.464,16
3	83,00	6.889,00
4	82,10	6.740,41
5	81,30	6.609,69
6	86,80	7.534,24
7	82,10	6.740,41
8	83,90	7.039,21
9	82,10	6.740,41
10	83,90	7.039,21
11	84,90	7.208,01
<b>SUMATORIAS</b>	<b>913,50</b>	<b>75.893,75</b>
<b>PROMEDIO DE DUREZA (<math>\bar{X}</math>)</b>	<b>83,05</b>	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

$$S^2 = \frac{75893.75 - \frac{(913.50)^2}{11}}{11 - 1}$$

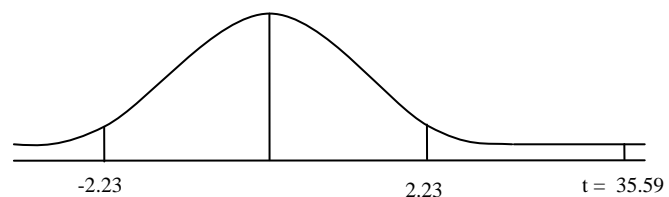
$$S^2 = 3.17$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{3.17} = 1.78$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{83.05 - 63}{1.78} \sqrt{11 - 1}$$

$$t = 35.59$$



Aceptar  $H_0$  si  $t$  se encuentra dentro del intervalo  $-t_{0,975}$  a  $t_{0,975}$  el cual para  $11 - 1 = 10$  grados de libertad es el intervalo  $-2.23$  a  $2.23$ .



Como t es igual a 35.59 **no se acepta  $H_0$**  al nivel de significancia de 0.05. Es decir que si hay incremento significativo para asumir que ha existido variación de dureza en la prueba 4.

#### 4.3.3. Prueba t para 2 colas para la prueba 5 con un nivel de significancia $\alpha=0.05$

##### 4.3.3.1. DUREZA (Prueba 5)

$H_0 = \mu_d = 63$  Brinell, No existe variación de Dureza.

$H_1 = \mu_d \neq 63$  Brinell, Si existe variación de Dureza.

<b>DUREZA BRINELL EN LA PRUEBA 5</b>		
<b>Nº DE MEDICIÓN</b>	<b>DUREZA (X)</b>	<b>X<sup>2</sup></b>
1	170,00	28.900,00
2	167,00	27.889,00
3	179,00	32.041,00
4	164,00	26.896,00
5	160,00	25.600,00
6	166,00	27.556,00
7	174,00	30.276,00
8	161,00	25.921,00
9	170,00	28.900,00
10	164,00	26.896,00
<b>SUMATORIAS</b>	<b>1.675,00</b>	<b>280.875,00</b>
		<b>167,50</b>

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

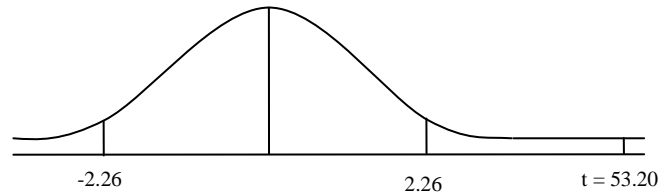
$$S^2 = \frac{280875.00 - \frac{(1675.00)^2}{10}}{10 - 1}$$

$$S^2 = 34.72$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{34.72} = 5.89$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{167.50 - 63}{5.89} \sqrt{10 - 1}$$



$$t = 53.20$$

Aceptar  $H_0$  si  $t$  se encuentra dentro del intervalo  $-t_{0.975}$  a  $t_{0.975}$  el cual para  $10 - 1 = 9$  grados de libertad es el intervalo -2.26 a 2.26.

Como  $t$  es igual a 53.20 **no se acepta  $H_0$**  al nivel de significancia de 0.05. Es decir que si hay incremento significativo para asumir que ha existido variación de dureza en la prueba 5

#### 4.3.4. Prueba t para 2 colas para la prueba 6 con un nivel de significancia $\alpha=0.05$

##### 4.3.4.1. DUREZA (Prueba 6)

$H_0 = \mu_d = 63$  Brinell, No existe variación de Dureza.

$H_1 = \mu_d \neq 63$  Brinell, Si existe variación de Dureza.

DUREZA BRINELL EN LA PRUEBA 6		
Nº DE MEDICIÓN	DUREZA (X)	X <sup>2</sup>
1	37,7	1421,29
2	40,5	1640,25
3	51	2601
4	43,7	1909,69
5	40,9	1672,81
6	40,2	1616,04
7	50,1	2510,01
8	40,2	1616,04
9	41,9	1755,61
10	40,2	1616,04
<b>SUMATORIAS</b>	<b>426,4</b>	<b>18358,78</b>
<b>PROMEDIO DE DUREZA (<math>\bar{X}</math>)</b>	<b>42,64</b>	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

$$S^2 = \frac{18358.78 - \frac{(426.40)^2}{10}}{10 - 1}$$

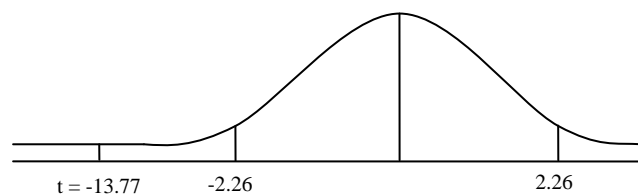
$$S^2 = 19.676$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{19.676} = 4.44$$

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{42.64 - 63}{4.44} \sqrt{10 - 1}$$

$$t = -13.77$$



Aceptar  $H_0$  si  $t$  se encuentra dentro del intervalo  $-t_{0,975}$  a  $t_{0,975}$  el cual para  $10 - 1 = 9$  grados de libertad es el intervalo  $-2.26$  a  $2.26$ .

Como  $t$  es igual a  $-13.77$  **no se acepta  $H_0$**  al nivel de significancia de  $0.05$ . Es decir que si hay incremento significativo para asumir que ha existido variación de dureza en la prueba 6.

#### 4.3.5. Prueba t para 2 colas para la prueba 7 con un nivel de significancia $\alpha=0.05$

##### 4.3.5.1. DUREZA (Prueba 7)

$H_0 = \mu_d = 63$  Brinell, No existe variación de Dureza.

$H_1 = \mu_d \neq 63$  Brinell, Si existe variación de Dureza.

DUREZA BRINELL EN LA PRUEBA 5		
Nº DE MEDICIÓN	DUREZA (X)	X <sup>2</sup>
1	65,50	4.290,25
2	76,30	5.821,69
3	68,20	4.651,24
4	76,30	5.821,69
5	73,20	5.358,24
6	70,20	4.928,04
7	65,50	4.290,25
8	76,30	5.821,69
9	73,20	5.358,24
10	71,30	5.083,69
<b>SUMATORIAS</b>	<b>716,00</b>	<b>51.425,02</b>
<b>PROMEDIO DE DUREZA (<math>\bar{X}</math>)</b>	<b>71,60</b>	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

$$S^2 = \frac{51425.02 - \frac{(716)^2}{10}}{10 - 1}$$

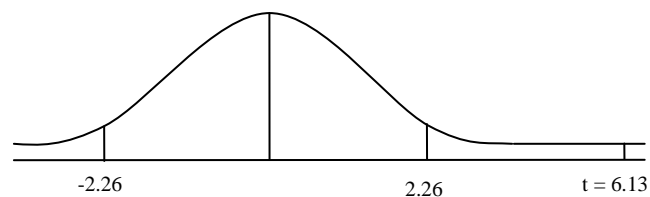
$$S^2 = 17.71$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{17.71} = 4.21$$

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{71.60 - 63}{4.21} \sqrt{10 - 1}$$

$$t = 6.13$$



Aceptar  $H_0$  si  $t$  se encuentra dentro del intervalo  $-t_{0.975}$  a  $t_{0.975}$  el cual para  $10 - 1 = 9$  grados de libertad es el intervalo -2.26 a 2.26.

Como  $t$  es igual a 6.13 **no se acepta  $H_0$**  al nivel de significancia de 0.05. Es decir que si hay incremento significativo para asumir que ha existido variación de dureza en la prueba 7.

#### 4.3.5.2. RESISTENCIA (Prueba 7)

$H_0 = \mu_r = (2092.80 \text{ Kg/cm}^2)$ , No existe variación de Resistencia<sup>8</sup>.

$H_1 = \mu_r \neq 2092.80 \text{ Kg/cm}^2$ , Si existe variación de Resistencia.

---

<sup>8</sup> Valor de resistencia determinado de la prueba 8 ya que no se puede obtener datos de la aleación compuesta de Cobre, Zinc y Plomo en otros estudios.

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN LA PRUEBA 7		
Nº DE MEDICIÓN	DUREZA (X)	X <sup>2</sup>
1	2.820,30	7.954.092,09
2	2.393,00	5.726.449,00
<b>SUMATORIAS</b>	<b>5.213,30</b>	<b>13.680.541,09</b>
<b>PROMEDIO DE RESISTENCIA (<math>\bar{X}</math>)</b>	<b>2606.65</b>	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

$$S^2 = \frac{13680541.09 - \frac{(5213.30)^2}{2}}{2 - 1}$$

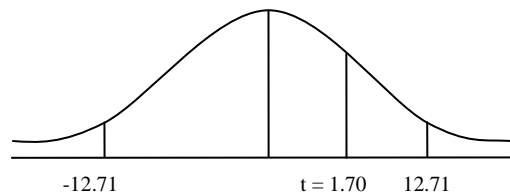
$$S^2 = 91292.64$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{91292.64} = 302.15$$

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{2606.65 - 2092.80}{302.15} \sqrt{2 - 1}$$

$$t = 1.70$$



Aceptar  $H_0$  si  $t$  se encuentra dentro del intervalo  $-t_{.975}$  a  $t_{.975}$  el cual para  $2 - 1 = 1$  grados de libertad es el intervalo -12.71 a 12.71

Como  $t$  es igual a 1.70 se **acepta  $H_0$**  al nivel de significancia de 0.05. Es decir que no hay un incremento significativo para asumir que ha existido variación de resistencia a la tracción en la prueba 7.

### 4.3.6. Prueba t para 2 colas para la prueba 8 con un nivel de significancia $\alpha=0.05$

#### 4.3.6.1. DUREZA (Prueba 8)

$H_0 = \mu_d = 63$  Brinell, No existe variación de Dureza.

$H_1 = \mu_d \neq 63$  Brinell, Si existe variación de Dureza.

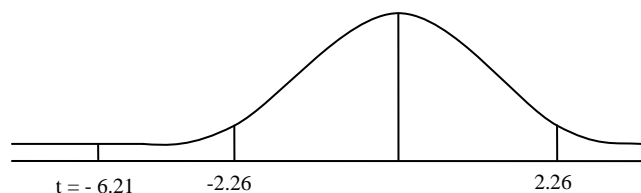
DUREZA BRINELL EN LA PRUEBA 8		
Nº DE MEDICIÓN	DUREZA (X)	X <sup>2</sup>
1	63,00	3.969,00
2	52,80	2.787,84
3	53,80	2.894,44
4	58,40	3.410,56
5	50,10	2.510,01
6	48,80	2.381,44
7	56,80	3.226,24
8	52,80	2.787,84
9	53,80	2.894,44
10	50,10	2.510,01
<b>SUMATORIAS</b>	<b>540,40</b>	<b>29.371,82</b>
<b>PROMEDIO DE DUREZA (<math>\bar{X}</math>)</b>	<b>54,04</b>	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N-1}$$

$$S^2 = \frac{29371.82 - \frac{(540.40)^2}{10}}{10 - 1}$$

$$S^2 = 18.73$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{18.73} = 4.33$$



$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{54.04 - 63}{4.33} \sqrt{10 - 1}$$

$$t = -6.21$$

Aceptar  $H_0$  si  $t$  se encuentra dentro del intervalo  $-t_{0.975}$  a  $t_{0.975}$  el cual para  $10 - 1 = 9$  grados de libertad es el intervalo  $-2.26$  a  $2.26$ .

Como  $t$  es igual a  $-6.21$  **no se acepta  $H_0$**  al nivel de significancia de  $0.05$ . Es decir que si hay incremento significativo para asumir que ha existido variación de dureza en la prueba 8.

#### 4.3.6.2. RESISTENCIA (Prueba 8)

$H_0 = \mu_r = (2092.80 \text{ Kg/cm}^2)$ , No existe variación de Resistencia.

$H_1 = \mu_r \neq 2092.80 \text{ Kg/cm}^2$ , Si existe variación de Resistencia.

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN LA PRUEBA 8		
Nº DE MEDICIÓN	DUREZA (X)	X <sup>2</sup>
1	1.958,80	3.836.897,44
2	2.092,80	4.379.811,84
<b>SUMATORIAS</b>	<b>4.051,60</b>	<b>8.216.709,28</b>
<b>PROMEDIO DE RESISTENCIA (<math>\bar{X}</math>)</b>	<b>2025.80</b>	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$



$$S^2 = \frac{8216709.28 - \frac{(4051.60)^2}{2}}{2 - 1}$$

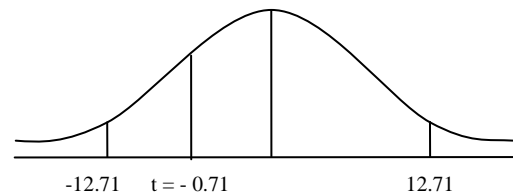
$$S^2 = 8978.00$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{8979.00} = 94.75$$

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{2025.80 - 2092.80}{94.75} \sqrt{2 - 1}$$

$$t = -0.71$$



Aceptar  $H_0$  si  $t$  se encuentra dentro del intervalo  $-t_{.975}$  a  $t_{.975}$  el cual para  $2 - 1 = 1$  grados de libertad es el intervalo  $-12.71$  a  $12.71$

Como  $t$  es igual a  $-0.71$  se **acepta  $H_0$**  al nivel de significancia de  $0.05$ . Es decir que no hay un incremento significativo para asumir que ha existido variación de resistencia a la tracción en la prueba 8.

En todos los valores de resistencia se acepta  **$H_1$**  es decir que si existe variación de resistencia en todas las pruebas.

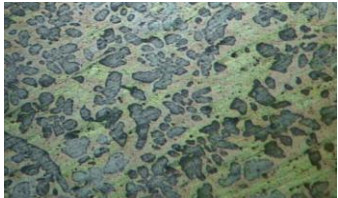


En los valores de resistencia se acepta  **$H_0$**  demostrando que no existe variación significativa de esta propiedad ya que en la tabla me da intervalos grandes debido a los grados de libertad que son mínimos.


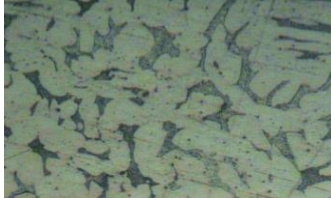
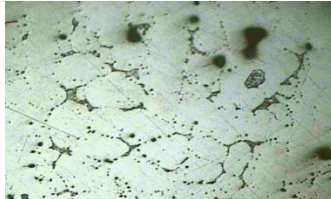
Debido a que **si existe una variación significativa** en una de las variables al cambiar los porcentajes de Cu, Zn y Pb en la aleación se acepta  **$H_1$** , es decir con la variación de porcentajes de Cu, Zn y Pb si cambia las propiedades mecánicas.

Se observa como varía sus propiedades pudiendo dar un sin número de utilidades de acuerdo a las necesidades de la ingeniería de materiales, tales como aplicaciones eléctricas, en la industria carrocera como bujes, se lo puede emplear en maquinaria que está expuesta a climas de mucha humedad y temperaturas elevadas haciendo que los componentes de este tipo de aleación duren mucho más que un material convencional.

A continuación se presenta una tabla de variación de las propiedades de acuerdo a la variación de los porcentajes de los materiales de aporte:

Tabla 22. Resultado de variación de propiedades de acuerdo a la variación de los porcentajes del material de aporte. (Fuente: El autor)

NÚMERO DE PRUEBA	PORCENTAJE ANTES DE LA FUNDICION			TIEMPO DE FUNDICION EN MINUTOS	PORCENTAJE OBTENIDO (%)			DUREZA BRINELL	RESISTENCIA A LA TRACCION (Mega Pascal)	METALOGRAFÍA (200X)
	Cu	Zn	Pb		Cu	Zn	Pb			
3	58	51	3	40	92,64	2,84	4,071	114,9	N/D	
4	58	51	3	55	56,24	42,28	1,37	83,04	213.12	
5	60	48	4,5	40	49,32	46,719	3,398	167,5	N/D	

6	58	48	4,5	132	62,53	31,401	3,838	42,64	121.30	
7	59	44	5	65	56,272	37,184	4,176	71,61	276.58	
8	59	46	3,5	20	58,978	36,958	3,357	54,04	205.23	

Como se puede observar las propiedades si varían de acuerdo a la variación de los porcentajes de los materiales, en ningún caso las propiedades son las mismas, nótese que en la prueba 7 se obtiene la mayor resistencia a la tracción (2820.30 Kg), teniendo el resultado de Cu = 56.272 %, Zn = 37.18 % y Pb = 4.176% y la dureza mayor está en la prueba 5 con los porcentajes Cu = 49.32 %, Zn = 46.719 % y Pb = 3.398 % que es de 167.5 BRINELL.

Estos datos los podemos tomar como guía para obtener propiedades acorde a las necesidades de las aplicaciones mecánicas que encontraremos en el campo de la ingeniería de materiales, que es muy amplio.

Por lo expuesto anteriormente se puede demostrar la hipótesis, es decir que la variación de porcentajes de la aleación compuesta de cobre zinc y plomo si me permite obtener mejores propiedades químicas y mecánicas.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- En la prueba 1 no se fundió el cobre por utilizar un crisol de grafito arcilla A6 que es más alto que la bobina del horno, esto no permite circular la inducción eléctrica con normalidad, además por el recubrimiento exterior que es de un material muy duro no determinado se concluye que este crisol no es apto para fundir cobre en este horno,
- No se pudo fundir en la prueba 2 por falta de agua en el sistema de refrigeración del horno de inducción, este problema se da porque este sistema no es el adecuado para el horno ya que está conectado a la red casera, dicha red no es estable ya que existen horas pico de baja presión de agua.
- Para fundir el cobre se necesitó preparar un crisol que cubra en partes los requerimientos del horno de inducción rebajando 2 cm aproximadamente el alto del crisol, y retirando el recubrimiento exterior en su mayoría, esto hace que dicho crisol disminuya su vida útil, y corre el peligro de romperse en cualquier momento de la fundición.
- Al momento de introducir el zinc en el cobre fundido se presenta una gran cantidad de gases y óxido de Zinc que pueden llegar a ser tóxicos, a causa de que el Zinc tiene menor punto de fusión que el Cobre, y se produce evaporación de dicho material produciéndose una pérdida de Zinc en la aleación.

- Las bobinas del horno de inducción con que cuenta la FICM no permiten fundir en crisoles más grandes para tener más cantidad de aleación, lo máximo que se puede fundir es material equivalente a 3 Kg. Dicho material no alcanza para las probetas necesarias en especial para el ensayo de tracción.
- En la prueba 5 se obtuvo un material con buena dureza, lamentablemente por una falla en el molde (excesiva humedad), resulto un material muy poroso y no pudimos maquinarlo para encontrar la resistencia a la tracción, pero en el análisis metalográfico se puede observar una estructura en fase  $\beta$  con tamaño de grano muy grande, con partículas de plomo bien distribuidas.
- En la prueba 6 se obtuvo material muy frágil con baja resistencia a la tracción posiblemente por presentar excesiva cantidad de plomo y tamaño de grano muy grande, convirtiéndolo en un material difícil de maquinarlo.
- El tiempo de fundición promedio del cobre es de 25 minutos en el crisol preparado, utilizando el cobre en forma de alambres sueltos de 10 cm aproximadamente y doblados por la mitad. Material que no da mayor problema a la hora de ser fundido ya que no presenta evaporación con exceso.
- El tiempo máximo que se añadió el zinc fue de 10 minutos en la prueba 6 produciéndose mucha pérdida de este material y gran cantidad de óxido de zinc en el medio ambiente, pero una aleación más uniforme de los materiales en la fundición compuesta.
- La variación de los porcentajes varía también las propiedades mecánicas de la fundición compuesta haciéndola apta para un sinfín de aplicaciones acorde a las

necesidades del ingeniero de diseño de maquinaria inclusive puede servir para herramientas.

- Según las propiedades obtenidas se puede dar muchas utilidades a la fundición compuesta a base de Cu, Zn, Pb, como pueden ser bisagras, bujes de puertas, piñones para aplicaciones que no genere grandes fuerzas, joyería, y hasta para adornos de hogar por su gran resistencia a la corrosión, desgaste y presentar un brillo llamativo.
- Otra conclusión muy importante es que a mayor desgaste del crisol menor es el tiempo de fundición del cobre como se pudo constatar en la prueba 8 donde se fundió el cobre en apenas 10 minutos y en 20 minutos ya se concluyó el proceso.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Se recomienda buscar en el mercado un crisol apto para la bobina del horno para evitar realizar cortes en el crisol A6 ya que estos trabajos disminuyen la vida útil de dicho crisol pudiendo dejarlo inservible sin realizar ninguna fundición.

Si se toma la decisión de preparar el crisol A6 ya que es el más aproximado a la bobina del horno, realizar el corte con mucha delicadeza utilizando una sierra vieja con mucho desgaste en los dientes de la misma para evitar fisuras en la boca pudiéndolo dejar inservible.

Es recomendable preparar una torre de enfriamiento apta para el horno de inducción, esto evitara pérdidas económicas altas y fallas en el horno de inducción.



A la hora de introducir en zinc en el cobre fundido se produce grandes emisiones de oxido de zinc, siendo un gas toxico se recomienda utilizar una máscara idónea y todo el equipo de seguridad industrial requerido ya que también se presentaron salpicaduras de la colada pudiendo causar quemaduras a la persona que está a cargo de la fundición.

Es recomendable tener a la mano un extintor en todo el proceso de fundición, mantener toda el área despejada y libre de obstáculos, también tener claro los lugares de escape ya que en cualquier momento puede ser necesario despejar el lugar de forma precipitada.

Se recomienda supervisión al momento de realizar los moldes de arena ya que mucha humedad daña el material a ensayar dejando lagunas en las pruebas mecánicas, pudiendo dejar inservible la fundición.

También se recomienda no abusar del uso del crisol ya que como en este caso nos arriesgamos a que se rompa y dañe la bobina del horno o en caso peor se rompa al vaciar en la arena y nos cause severas quemaduras.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA**

**ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE LA ALEACIÓN COMPUESTA COBRE ZINC Y PLOMO CON 100% DE MAQUINABILIDAD (Cu = 59 %, Zn = 37 %, Pb = 3.4 %).**

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS**

En el Ecuador aun no existen estudios concretos de la aleación compuesta cobre, zinc y plomo con 100% de maquinabilidad, es por esta razón que se realizó el presente estudio fundiendo sus componentes con un alto porcentaje de pureza y creando la aleación compuesta para determinar sus propiedades químicas y mecánicas. Conseguimos variar de buena manera las propiedades químicas y mecánicas al variar los porcentajes de sus componentes, encontrando propiedades aptas para determinados elementos mecánicos.

De esta manera estamos contribuyendo en el desarrollo de la carrera de ingeniería mecánica en el área de diseño de elementos mecánicos ya que se pudo determinar diferentes propiedades utilizando los mismos componentes de la aleación compuesta en este caso Cu, Zn y Pb.

## **6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

En la facultad de ingeniería mecánica de la Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOl de la ciudad de Guayaquil en el año de 1995, el señor Alfonso Augusto Benítez Thomas, realizó un estudio con el tema “MAQUINABILIDAD DE BRONCES AL ALUMINIO”.

En donde al realizar las pruebas preliminares y adaptación de equipos toma como referencia el material patrón llamado “free cutting bras” o latón de corte libre que tiene la siguiente composición Cu = 61.50%, Zn = 39%, Pb = 3%, y según los resultados de dichas pruebas tiene el 100% de maquinabilidad.

## **6.3 JUSTIFICACIÓN**

En los capítulos anteriores del presente estudio se variaron las propiedades de la aleación compuesta. Es muy importante determinar el proceso a seguir para encontrar la aleación compuesta Cu, Zn y Pb, que me permita obtener una composición con los porcentajes Cu = 59 %, Zn = 37 % y Pb = 3.4 % considerada como la aleación con 100% de maquinabilidad.

## **6.4 OBJETIVOS**

### **6.4.1 Objetivo general**

- Elaborar un procedimiento para encontrar una aleación con Cu=59%, Zn=37% y Pb=3.4% considerada como la aleación con 100% de maquinabilidad

#### **6.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar el procedimiento más apropiado para la obtención de la aleación compuesta Cu, Zn y Pb con 100% de maquinabilidad.
- Analizar los resultados de la aleación compuesta Cu, Zn y Pb con 100% de maquinabilidad obtenida.
- Determinar una aplicación industrial para la aleación compuesta de Cu, Zn y Pb.

#### **6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

Esta propuesta si es factible realizarla porque se dispone del equipamiento requerido y los recursos humanos aptos para el área de ingeniería de materiales más concretamente lo que es fundición de materiales en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se cuenta con el laboratorio de fundición que está muy bien equipado y a disposición de los estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica de la Facultad.

La obtención de la aleación se lo realizará en el horno de inducción con capacidad para crisol de 5 Kg del laboratorio de Ingeniería Mecánica de la FICM, con asesoramiento del Ing. Mg. Segundo Espín L.

La determinación de las propiedades mecánicas así como también el análisis metalográfico se lo realizara en el laboratorio de Materiales de la FICM. Que está

implementado con todos sus bancos de prueba en perfecto funcionamiento, contando con el apoyo Ing. Mg. Segundo Espín L. y del señor Ayudante de laboratorio.

El ensayo de tracción se podrá hacer en el laboratorio de Ingeniería Civil en la máquina universal, con el apoyo del señor ayudante de dicho laboratorio.

El análisis de espectrometría lo realizaremos en la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador en el departamento de metalurgia extractiva DEMEX, utilizando el espectrómetro de chispa marca BRUKER modelo Q4TASMAN, cuyos resultados son entregados en 3 días laborables, también tenemos la gentileza del Ing. Eduardo Villegas colaborador de la empresa NOVACERO de la ciudad de LATACUNGA ex alumno de nuestra Facultad, dicho análisis lo realizará en el espectrómetro de rayos X EDX-720 Utilizando el canal de ensayo ENERGY TEST.

## **6.6 FUNDAMENTACIÓN**

Para desarrollar la presente propuesta se tomará como referencia toda la información recolectada en los capítulos anteriores considerando también todos los resultados de los ensayos realizados como son: las fundiciones, ensayos metalográficos, de dureza y tracción, pero sobre todo los análisis químicos ya que estos nos determinaran si cumplimos o no con el objetivo de los porcentajes requeridos para una aleación con el 100% de maquinabilidad que contenga Cu = 59 %, Zn = 37 % y Pb = 3.4 %. También consideraremos las conclusiones y recomendaciones.

## **6.7 METODOLOGÍA**

Es muy necesario tomar en cuenta el orden de todas las actividades para elaborar correctamente el presente estudio.

A continuación se detalla dichas actividades:

1. Preparación de moldes, arenas de moldeo, y moldeo en cajas.
2. Preparación del Cu, Zn, Pb.
3. Preparación del crisol, (en caso de utilizar el crisol normalizado A6)
4. Preparación del horno de inducción, control del sistema de enfriamiento y encendido.
5. Fusión del cobre, adición del Pb el Zn y homogenización de la colada.
6. Colado de las cajas y desmoldeo de las mismas.
7. Mecanizado de las probetas.
8. Análisis Químico.
9. Análisis Metalográfico
10. Ensayo de dureza
11. Ensayos de tracción.
12. Evaluación y resultados.

### **6.7.1. Propósito**

Elaborar un procedimiento para encontrar una aleación con Cu=59%, Zn=37% y Pb=3.4% considerada como la aleación con 100% de maquinabilidad.

## **6.7.2 Alcance**

Aquí se pone en práctica los conocimientos adquiridos en el área de fundición de materiales, ensayo y ciencia de los materiales e ingeniería de los materiales.

## **6.7.3 Responsabilidades**

Los responsables del presente ensayo son: Ing. Mg. Segundo Espín, Tutor. Sr. Ayudante de laboratorio, y Sr. Pablo Fiallos, Egresado.

### **6.7.3.1 Responsable 1**

Sr. Pablo Fiallos egresado de la carrera de Ing. Mecánica y autor del presente estudio

## **6.7.4 Proceso**

A continuación se describe en forma sencilla las actividades que se realizan para obtener una aleación compuesta de Cu=59%, Zn=37% y Pb=3.4% considerada como la aleación con 100% de maquinabilidad.

### **6.7.4.1 Preparación de moldes, arenas de moldeo y moldeo en cajas.**

#### **Molde del lingote a obtener**

Los moldes que vamos a preparar son de madera de forma cilíndrica de diámetro = 25mm y una longitud de 200 mm.

1. Obtenemos 2 moldes de madera que cumplan las dimensiones requeridas, los mismos que pueden ser cortados de un palo de escoba o tallado en un Torno.
2. Luego se cortan por la mitad transversalmente como se muestra en la figura 61 realizando agujeros para la sujeción, en este caso por medio de 2 tornillos.



**Figura 62. Moldes de madera cortados en la mitad en el proceso de moldeo (Fuente: el autor)**

3. Por último se lijan las superficies de los moldes para obtener un buen acabado superficial descartando cualquier tipo de asperezas que pueden afectar la calidad del lingote

**Arenas de moldeo.** Es necesario preparar la arena que utilizaremos ya que debe ser muy fina para obtener una buena superficie en los lingotes que queremos obtener.



1. Tamizar la arena especial de moldeo, dicha arena debe estar lo más seca posible ya que si se encuentra con humedad se pega en el tamiz y es difícil realizar este proceso.

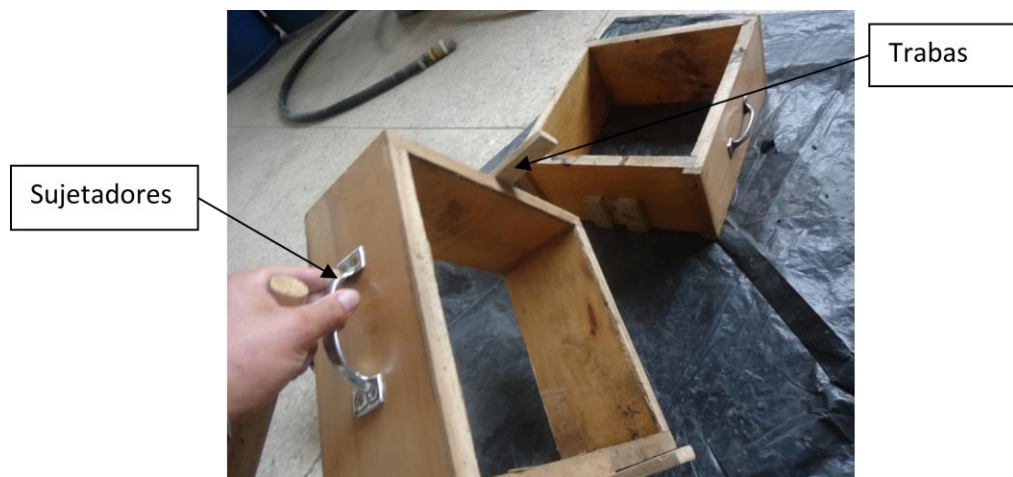


**Figura 63. Tamizado de arena y arena fina lista para la primera capa de llenado del molde (Fuente: el autor)**

2. Humedecer la arena con un rociador de agua y mezclar hasta obtener una humedad uniforme evitando el exceso de agua ya que la arena muy húmeda produce porosidad en el lingote.
3. Consultar con un supervisor el estado de humedad, verificando con la prueba del puño. La misma que consiste en apuñar la arena con la mayor fuerza posible por unos 5 segundos y al soltar la arena debe tomar la forma del puñado de arena sin desmoronarse y sin dejar residuos de agua en la palma de la mano.

**Cajas de moldeo.** Las cajas también cumplen un papel muy importante, ya que deben ser lo suficientemente robustas para que resistan la presión de la arena y las altas temperaturas que serán sometidas al llenar la colada.

1. En nuestro caso las cajas de moldeo que se utilizaron fueron de madera con una altura de 20cm cada lado (superior e inferior).
2. Las cajas de moldeo deben ser de madera gruesa y muy resistente con un buen acabado superficial y con una geometría perfecta sobretodo en la unión de las mismas ya que en la parte de la unión se forma el molde. De dicha unión dependerá la formación del lingote.
3. Colocar por lo menos 2 trabas en los costados de las cajas para evitar que las 2 partes se muevan al momento que sean trasladadas, ya que si se mueven las uniones internamente se moverán las partes de los moldes y tendría lingotes de mal aspecto que no servirían para los ensayos requeridos.



**Figura 64. Cajas de moldeo con las trabas y sujetadores. (Fuente: el autor)**

**Moldeo en cajas.** En esta parte obtendremos la caja de moldeo completa y lista para llenar la colada.

1. Mojar las paredes de la caja

2. Colocar la mitad de los moldes del lingote en una superficie recta con la parte plana hacia abajo y la primera caja de manera como se muestra en la figura 64 evitando que dichos moldes se peguen mucho a las paredes interiores ya que al ser de madera ésta se puede quemar.



**Figura 65. Colocación de los medios moldes para la primera caja (Fuente: el autor)**

3. Colocar la arena tamizada en el interior de la caja lo suficiente que cubra los moldes y presionarla con un mazo apropiado para este trabajo, evitando mover los moldes y presionando en una manera más enérgica en las paredes de la caja.
4. Completar la caja con arena (no necesariamente tamizada) de manera que sobresalga para que al ser presionada quede al ras de los filos de la caja, presionar fuertemente para que la arena quede bien compacta y aplanada en las dos caras de arena, aplanar con un elemento de superficie recta que puede ser algún tipo de perfil.
5. Voltear la caja de arena muy suavemente para evitar que esta se desmorone y tenga que repetir el trabajo.

6. Colocar la otra mitad de los moldes con los tornillos para que no se muevan al momento de compactar la otra parte de la caja.



**Figura 66. Unión de la otra parte de los moldes por medio de tornillos (Fuente: el autor)**

7. Espolvorear un poco de arcilla especial de moldeo bien seca para evitar que se pegue la arena de ambos lados y se desmorone al separar las cajas.
8. Colocar la otra parte de la caja con las trabas correctamente para que esta no se mueva ya que se sufrirán de fuertes golpes al compactar la arena de la caja superior, también inspeccionar que los filos se peguen bien y no exista residuos de arena que impidan la unión correcta de las cajas, y marcar la posición de las dos partes de la caja.
9. Colocar los bebederos con la ayuda de otra persona para que los sujete hasta llenar la arena



**Figura 67. Caja llena con los respectivos bebederos (Fuente: el autor)**

10. Repetir el proceso anterior llenando la arena en la caja, primero con arena tamizada y luego con arena no tamizada, compactando bien la arena en la caja.
11. Extraer los bebederos de la caja superior y separarla con mucho cuidado para evitar que se desmorone la arena y no tener que repetir los pasos anteriores.
12. Extraer los moldes completos y trazar los canales de distribución de la colada hacia los agujeros de los bebederos



**Figura 68. Las dos partes de la caja una vez extraídos los moldes y bebederos y realizado los canales de distribución de la colada (Fuente: el autor).**



13. Soplar todos los residuos de arena suelta y reparar los posibles desmoronamientos de la arena.



**Figura 69. Caja lista para el secado con mechero a gas (Fuente: el autor)**

14. Verificar que no haya desmoronamiento de arena en ningún lugar y se encuentren nítidos los detalles del molde y canales de distribución.

15. Secar las dos cajas con un soplete de llama o un mechero a gas evitando quemar la caja de madera.



**Figura 70. Secado de la arena con el mechero a gas para evitar porosidad en el material (Fuente: el autor).**

16. Unir las dos cajas muy delicadamente en la posición correcta tomando en cuenta la misma posición en que se hizo el llenado de arena, para lo cual se debe haber marcado previamente la posición de ambos lados.

17. Colocarlas cerca al lugar que vamos a llenar la colada para evitar movimientos bruscos que pueden dañar el molde internamente.

#### 6.7.4.2 Preparación del Cu, Zn, Pb.

Los materiales que se utilizaran para elaborar la aleación compuesta a base de Cu, Zn y Pb deberán tener el 99.9% de pureza.

1. En nuestro caso cobre que se utilizo fue de residuos de alambre con un 99.9 % de pureza, y puede ser comprado en varios lugares de chatarras, dicho material debe ser cortado en pedazos de 10 cm aproximadamente y doblados en la mitad.



Figura 71. Alambre de cobre y pesaje del mismo con el material preparado (Fuente: el autor)

2. El Zinc a utilizarse debe ser electrolítico con un 99.9% de pureza y se puede conseguir en la empresa Galvano de la ciudad de Quito, dicho material será cortado en pedazos de aproximadamente 50x50 mm.



**Figura 72. Ánodo de zinc y pesaje del material cortado (Fuente: el autor)**

3. El plomo debe tener una pureza de 99.9 %, puede ser el que se utiliza en las cromadoras ya que el de batería contiene otros elementos extraños que me puede generar comportamientos inadecuados en la aleación compuesta. En este caso fue un residuo utilizado para cromado. Además debe ser extremadamente limpio y no contener ningún tipo de suciedades en la superficie que es característico del plomo para cromado.



**Figura 73. Lingote de plomo y pesaje del material cortado (Fuente: el autor)**



### **6.7.4.3 Preparación del crisol A6.**

Se debe utilizar un crisol de grafito con las dimensiones adecuadas que ingresen en la bobina dejando una orgura de aproximadamente 2 cm y que la altura no sobrepase la bobina. En nuestro caso como ya se indicó anteriormente se utilizó un crisol A6 comprado en la empresa Maquinarias Henriques C.A., cortado unos 25 mm aproximadamente de la parte superior, también se despegó el recubrimiento exterior (casarilla) en la parte superior por un 70% de su totalidad ya que es de un material que presta mucha resistencia en el horno de inducción.

### **6.7.4.4 Preparación del horno de inducción, control del sistema de enfriamiento y encendido.**

Las ventajas de utilizar un horno a inducción son muchas pero la mejor es que permite obtener una colada libre de contaminantes que se producen en otros tipos de hornos. Se recomienda utilizar hornos a inducción para obtener mejores resultados en estas aleaciones.

A continuación vamos a detallar el procedimiento a seguir para preparar el horno a inducción del laboratorio de fundición de la facultad de Ingeniería Mecánica.

1. Verificar el sistema de enfriamiento, con la presión apta para su buen funcionamiento y controlar que las mangueras de circulación de agua no estén obstruidas, la circulación de agua se toma de la red normal de agua potable.



**Figura 74. Horno de inducción del laboratorio de fundición de la FICM-UTA (Fuente: el autor)**

2. Controlar el Heating Time, (Tiempo de calentamiento), el Retaining Time (Tiempo de retención) y el Cooling Time (Tiempo de enfriamiento) con los valores 20-20-10 respectivamente para fundir cobre como indica la figura según lo recomienda el fabricante del horno.



**Figura 75. Pantallas de los tiempos de Calentamiento, Retención y Enfriamiento respectivamente del horno de inducción del laboratorio de fundición de la FICM-UTA (Fuente: el autor)**

3. Por último nos centramos en la bobina de inducción comprobando que no existan fugas de agua y no tenga elementos extraños en su interior ya que con las temperaturas altas pueden fundirse y dañar dicho elemento

4. Colocamos el crisol, lleno con cobre, lo aislamos con lana térmica y encendemos el horno.

#### **6.7.4.5 Fusión del cobre, adición de los demás elementos y homogenización de la colada.**

Esta etapa es importante ya que de la homogenización de la colada depende la correcta distribución de los elementos de la aleación compuesta.

1. Encender el horno y comprobar que la temperatura suba rápidamente, empezará el proceso de fundición, tiempo que depende del estado del crisol.
2. Para obtener la aleación compuesta a base de Cobre Zinc y Plomo con 100 % de maquinabilidad se recomienda utilizar las siguientes cantidades para 3 Kg materiales: Cu = 1770.30 g, Zn = 1380.80 g y Pb = 105.30 g.
3. Cuando alcanza una intensidad de corriente sobre 1200 A y un tiempo entre 10 a 30 minutos (tiempo que depende del espesor del crisol) el cobre se funde completamente y se procede a adicionar primeramente el Plomo con mucho cuidado por ser el material de menos aporte y no presenta desprendimientos excesivos de gases u otras reacciones químicas desfavorables.



**Figura 76. Crisol A6 preparado con el cobre apunto de fundirse en la bobina del horno a inducción (Fuente: el autor)**

4. Inmediatamente ingresamos el Zinc procurando que este en pedazos pequeños ya que este material presenta una reacción química muy fuerte como es su evaporación por ser un material con menor punto de fusión (420°C.) desprendiendo óxido de zinc en grandes cantidades.



**Figura 77. Reacción química con desprendimiento de óxido de Zinc (Fuente: el autor)**

5. Luego de ingresar los elementos se deja actuar por 5 minutos para que el Zinc se fusione en su totalidad, procedemos a agitar la colada lo más rápido posible y

con mucho cuidado para no regarla dentro de la bobina, homogenizando de esta manera la aleación líquida.

#### **6.7.4.6 Colado de las cajas.**

En esta etapa se tiene extremo cuidado en lo que es seguridad industrial ya que se corre el riesgo de quemaduras graves por estar trabajando con altas temperaturas y materiales líquidos.

1. Cuando ya esté la colada lista, apagar el horno y retirar el crisol cuidadosamente con una pinza precalentada.
2. Vaciar en la caja de moldeo muy lentamente para evitar choque de gases en su interior y no obtener lingotes porosos o con desperfectos que causarían problemas en el maquinado de las piezas.



**Figura 78. Extracción del crisol y llenado en el molde de arena. (Fuente: el autor)**

3. Una vez llenado el molde se da por finalizado el proceso de fundición. Dejar enfriar la caja durante aproximadamente 24 horas para que no se produzca

cambios bruscos de temperatura en la aleación pudiendo causar daños en su microestructura y tamaño de grano.

#### **6.7.4.7 Desmolde de las cajas.**

Este es el último proceso propio de la fundición de materiales, aquí se observa a simple vista el resultado de la aleación compuesta.

1. Destapar la parte superior de la caja y a retirar el lingote de la aleación compuesta de Cu, Zn y Pb, con mucho cuidado.
2. Limpiar los lingotes y preparar para el maquinado.
3. Tomar las muestras necesarias para las pruebas pertinentes.



**Figura 79. Extracción de la aleación compuesta Cu, Zn y Pb de la caja de moldeo (Fuente: el autor)**

#### 6.7.4.8 Mecanizado de las probetas.

Fabricar las probetas para ensayo de Tracción según la norma ASTM E-8 espécimen 1, dichas probetas se debe realizar en un Torno automático que me permita hacer roscados. En nuestro caso se realizó en el taller del Sr. Germán Vargas y también con la colaboración del Ing. Sebastián Cepeda en la empresa Carrocerías IMCE con la ayuda del Sr. Ángel Naula maquinista de dicha empresa.

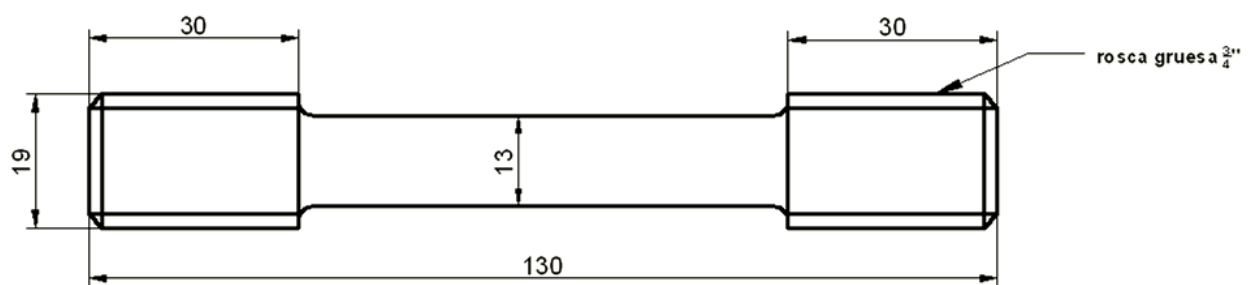


Figura 80. Probeta para el ensayo a tracción según la norma ASTM E-8. (Fuente: el autor)



Figura 81 . Maquinado de probetas en el torno y probeta lista para el ensayo a tracción maquinada según la norma ASTM E-8 . (Fuente: el autor)

#### 6.7.4.9 Análisis Químico.

Realizar el análisis químico para determinar el porcentaje de los componentes de la aleación obtenida. En nuestro caso se lo realizó en la empresa NOVACERO de la ciudad de LATACUNGA con la gentileza del Ing. Eduardo Villegas en un ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720, canal de ensayo: ENERGY TEST; arrojando los siguientes resultados:

Tabla 23. Resultado del análisis químico prueba 8.

ANÁLISIS QUÍMICO PRUEBA 8	
Material	Porcentaje
Cu	58,978
Zn	36,958
Pb	3,357
Ra	0,175
Ca	0,143
Mn	0,490
Mo	1,700

(Fuente: El autor)

#### 6.7.4.10 Análisis Metalográfico

Realizar el análisis metalográfico como ya se conoce siguiendo los siguientes pasos:

1. Tomar una muestra cortando un pedazo de material de cualquier dimensión con la sierra para cortar hierro.
2. Armar la probeta para análisis metalográfico con baquelita para proceder al pulido, En nuestro caso no contamos con la máquina de baquelita y procedemos a realizar el pulido con la muestra entera



3. Desbastar la probeta en el banco de lijas que deberá contener 4 tipos de lijas de agua, 240, 320, 400 y 600 granos por pulgada cuadrada, para eliminar asperezas y obtener una superficie súper plana.



**Figura 82. Pulido de la probeta antes del análisis químico en el banco de lijas (Fuente: el autor)**

4. Pulir en la máquina de disco con paño fino especial ya que la muestra debe estar con cero marcas de las lijas o cualquier desperfecto en una de las superficies planas, colocando pequeñas gotas de alúmina de 5  $\mu\text{m}$  que ayudara en el pulido, ejercer una presión mínima en la probeta y seguir así más o menos por el lapso de una hora y media hasta conseguir que la superficie este perfecta como un espejo.



**Figura 83. Pulido de la probeta en el paño y probeta lista para el ataque químico (Fuente: el autor)**

5. Lavar y secar en el ventilador de flujo de aire que garantice una superficie libre de cualquier tipo de impurezas que pueden causar resultados desfavorables al momento de visualizar en el microscopio.
6. Atacar químicamente con reactivo químico para cobre y aleaciones que contiene 20 gr de  $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de  $\text{HCl}$ , 1 gr de  $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada, durante 3 a 10 segundos, (seguir verificando que no se quemé por el químico) luego lavar nuevamente y secar de la misma manera del caso anterior hasta obtener una vista clara de la microestructura.





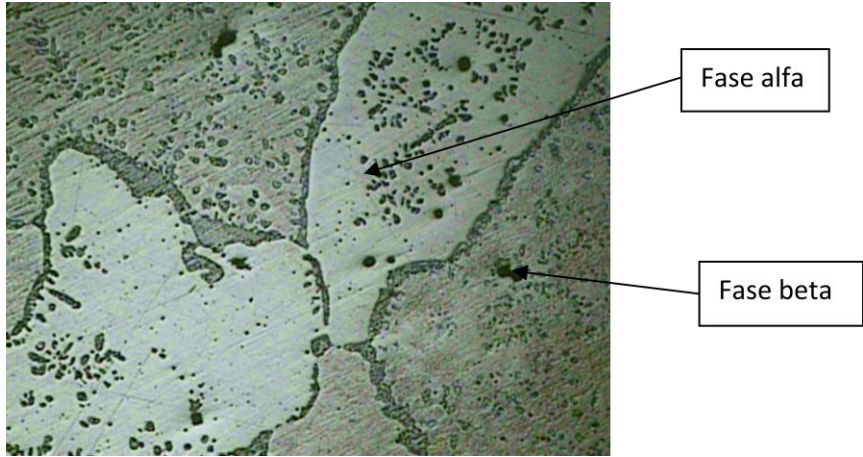
**Figura 84. Reactivo químico para aleaciones de cobre con su composición química: 20 gr de  $\text{FeCl}_3$ , 5 ml de  $\text{HCl}$ , 1 gr de  $\text{CrO}_2$ , y 100 ml de agua destilada y ataque químico en las probetas (Fuente: el autor)**

7. Observar la microestructura en el microscopio colocando la probeta en el portaobjetos, regular hasta obtener una imagen clara y con la ayuda del software observar la microestructura del material tomar fotografías y guardar en el computador las imágenes necesarias



**Figura 85. Microscopio utilizado para análisis metalográfico y la probeta en observación (Fuente: el autor)**

8. Para el caso de nuestra aleación compuesta a base de Cu, Zn y Pb con 100% de maquinabilidad encontramos una microestructura formada por dos fases y pequeñas partículas de plomo que actúan como lubricante al momento del maquinado.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> 	
<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	
<b>ENSAYO METALOGRAFÍCO</b>	
<b>Ataque químico</b>	Reactivo químico (20 gr de FeCl <sub>3</sub> , 5 ml de HCl, 1 gr de CrO <sub>2</sub> , y 100 ml de agua destilada)
<b>Tiempo de ataque</b>	2 Segundos
<b>Escala</b>	100 X
<b>Prueba #</b>	5
<b>Probeta</b>	Única
<b>Muestra</b>	Muestra del lingote
	
<p><b>Figura 86. Microestructura Prueba 5 a 100X, atacado con reactivo químico (20 gr de FeCl<sub>3</sub>, 5 ml de HCl, 1 gr de CrO<sub>2</sub>, y 100 ml de agua destilada) durante 2 segundos, con presencia de fase alfa y beta (Fuente: el autor)</b></p>	

#### 6.7.4.11. Ensayo de dureza

Realizar el ensayo de dureza preferiblemente en el laboratorio de materiales de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato utilizando el durómetro aplicando la norma ASTM E-18, con escala de dureza Brinell, con esfera de 2.5mm, carga de 612.9 N, con la formula  $\frac{0.102F}{D^2}$  para determinar la dureza

en el catalogo respectivo. Obteniendo los siguientes resultados para la aleación compuesta Cu=58.978%, Zn=36.958%, Pb=3.357%.

**Tabla 24. Dureza Brinell para la prueba 8**

**Cu=58.978%, Zn=36.958%, Pb=3.357%.**

<b>Nº DE MEDICIÓN</b>	<b>DUREZA BRINELL</b>
1	63
2	52,8
3	53,8
4	58,4
5	50,1
6	48,8
7	56,8
8	52,8
9	53,8
10	50,1
<b>PROMEDIO DE DUREZA</b>	<b>54,04</b>

(Fuente: el autor)

Para obtener buenos resultados de dureza es conveniente realizar los siguientes pasos:

1. Preparar la probeta, Es necesario tener una superficie muy lisa sin porosidades con un área aproximada de 3 cm<sup>2</sup>.



**Figura 87. Probeta lista para el ensayo de dureza (Fuente: el autor)**



2. Impresión de las huellas. Para la impresión de las huellas hay que asegurarse que el durómetro este bien calibrado, determinamos la esfera y la carga de acuerdo al material en este caso una carga de 612.9 N, y la esfera con el diámetro de 2.5 mm, para cobre y aleaciones.



**Figura 88. Impresión de las huellas en el durómetro de la FICM – UTA (Fuente: el autor)**

3. Medición del Diámetro de la impresión, Para medir el diámetro de la impresión se utilizó el macroscopio de dureza que tiene una escala de 0.001 mm, dicho diámetro sirve para determinar la dureza Brinell directamente de las tablas de dureza utilizando la formula  $\frac{0.102F}{D^2}$  según el catálogo de dureza (presentado en el anexo 4) para el durómetro utilizado.

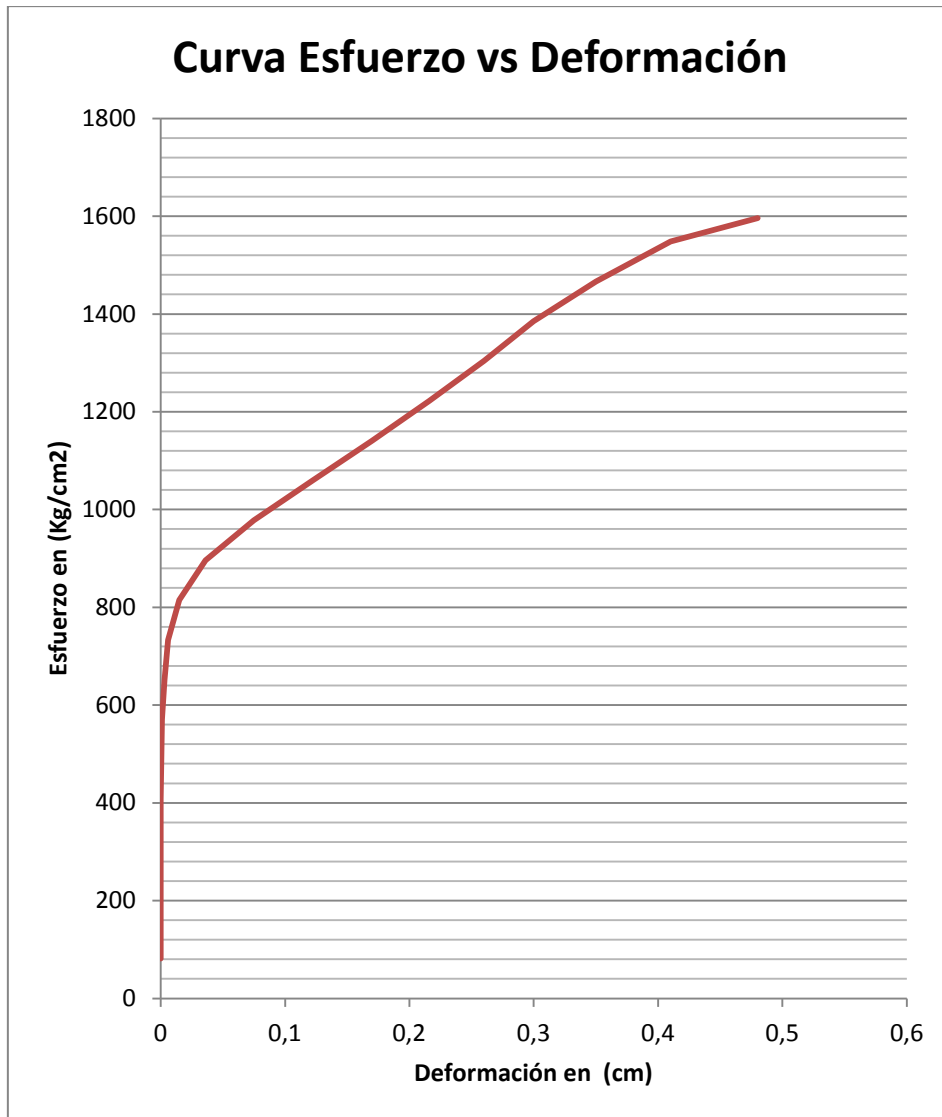


**Figura 89. Microscopio para medir el diámetro de la impresión y toma de medida de las impresiones (Fuente: el autor)**

4. Para el caso de la aleación compuesta con 100% de maquinabilidad con la composición química Cu = 58.978 %, Zn = 36.958 %, Pb = 3.357 % se encontraron valores de entre 1.095 y 1.235mm valores que según la fórmula se determinara de la fila de dureza  $10 \frac{0.102(612.9)}{2.5^2} = 10.002528$  arrojando el promedio de dureza de 54.04 Brinell como se indica en la tabla 19

#### **6.7.4.12 Ensayos de tracción.**

El ensayo de tracción se lo debe realizar según la norma ASTM-8, en nuestro caso se realizó en la máquina universal del Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, obteniendo los siguientes resultados, el presente ensayo se lo realizó con la colaboración y supervisión del señor ayudante de laboratorio.



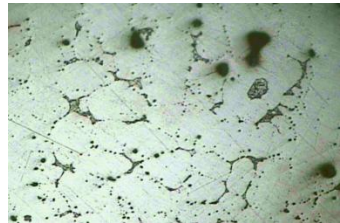
**Figura 90. Diagrama Esfuerzo deformación para la prueba 8 probeta 1 (Fuente: el autor)**



### 6.7.4.13 Evaluación y resultados.

A continuación se muestra una tabla con el resumen de los resultados de los diferentes ensayos que fue sometida la aleación compuesta con 100% de maquinabilidad Cu=58.978%, Zn=36.958%, Pb=3.357%.

**Tabla 25 Resultado de los ensayos en la aleación compuesta con 100% de maquinabilidad Cu=58.978%, Zn=36.958%, Pb=3.357%.**

NÚMERO DE PRUEBA	TIPO DE HORNO Y CRISOL	CANTIDAD DE ELEMENTOS EN GRAMOS	TIEMPO DE FUNDICION	COMPOSICION QUIMICA OBTENIDA	DUREZA BRINELL	CARGA TOTAL DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	MICROESTRUCTURA (100X)
8	Horno de inducción y crisol de grafito arcilla A6 preparado.	Cu = 1770,30 Zn = 1380,80 Pb = 105,30	20 Minutos	Cu = 58,978 % Zn = 36,958 % Pb = 3,357 % Ra = 0,175 % Mo = 1,700 % Otros = 0,192	54,04	2092,80 Kg.	

(Fuente: el autor)

### **6.7.14 Determinación de una aplicación industrial**

La aleación compuesta con Cu = 58,978 %, Zn = 36,958 %, Pb = 3,357 % que se obtuvo es apta para un sin número de aplicaciones industriales, una de las principales aplicaciones es en chapas para puertas, en algún tipo de piñones y en bujes de puertas de vehículos motorizados.

Con el auspicio del Ing. Sebastián Cepeda Gerente de Carrocerías IMCE sucursal 2 realizamos los bujes que son utilizados en el autobús Orión 1 de la empresa carrocerías IMCE. Dichos bujes van en la parte superior e inferior de las hojas de las puertas delanteras y traseras, utilizando un total de 8 bujes en un autobús de 2 puertas.

Se tomó la decisión de realizar dichos bujes ya que son factibles realizarlos en nuestra facultad además de cumplir algunas propiedades requeridas para dichos elementos como son:

- Excelente resistencia a la corrosión por tener como mayor material de aporte el cobre
- Al tener partículas de plomo es posible obtener menos ruido que otro material
- Se puede utilizar en ambientes sucios y corrosivos
- Buena propiedad conductividad térmica

Los bujes fabricados se lo realizó con las medidas de acuerdo a los planos facilitados por Carrocerías IMCE sucursal 2 como se muestra en el Anexo 5.

Dichos bujes actualmente son fabricados de acero comercial sin tratamientos térmicos, y se fabrica en dos partes las mismas que son soldadas, igualmente el eje o macho que va

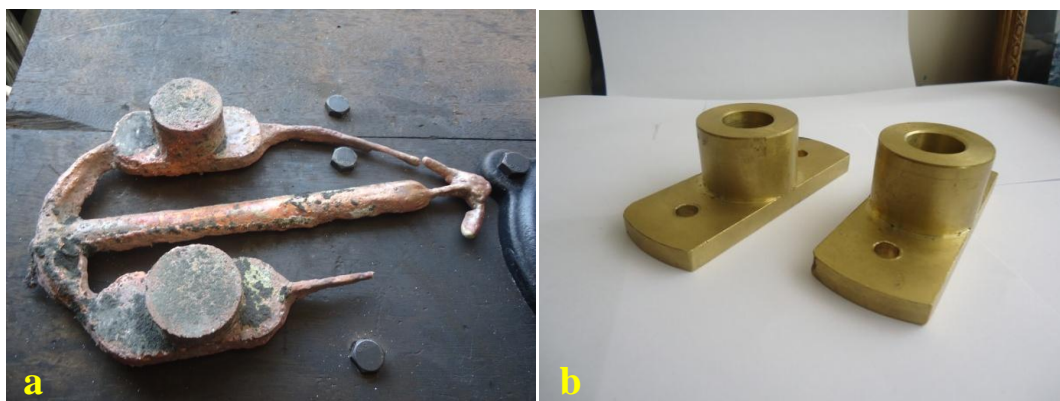
en las puertas también es soldado a las puertas dejándolo inservible en caso de avería, teniendo que fabricarse nuevamente por completo el marco de la puerta.

En nuestro caso se fabricó los moldes de madera primeramente dejando una holgura de 4 mm a cada lado para el respectivo maquinado



**Figura 91. Fabricación de los moldes de madera para la aplicación industrial (Fuente: el autor)**

Una vez obtenido la fundición se procedió a maquinar en el taller de matricería del Ing. Cristian Pérez, con las medidas tomada de los planos de carrocerías IMCE obteniendo una base de un solo cuerpo.



**Figura 92a. Lingotes fundidos con la aleación antes de la fabricación de las bases de las puertas.**

**Figura 92b. Bases de las puertas fabricadas (Fuente: el autor)**

En el eje se procedió a hacer un cambio ya que como es difícil soldar nuestro material con la puerta se procedió a perforar y roscar 3 agujeros para su sujeción mediante pernos de ¼”.



**Figura 93. Ejes para los bujes de las puertas del autobús ORION 1 (Fuente: el autor)**

De esta manera quedaron listos los bujes de puerta para el modelo de autobús Orión 1 que se utiliza actualmente en carrocerías IMCE.

## **6.8 ADMINISTRACIÓN**

Se presenta a continuación un detalle de gastos que suscitaron para el desarrollo del presente estudio.

**Tabla 26. Detalle de gastos de materiales**

<b>DETALLE DE GASTOS (MATERIALES)</b>				
<b>DETALLE</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
COBRE	LIBRAS	30	3,50	105,00
ZINC	Kg	18,70	5,80	108,50
PLOMO (Gentileza del Ing. Benito Lara)	LIBRAS	5		
CRISOL A6	UNIDAD	2	60,00	120,00
PECHERA DE CUERO	UNIDAD	2	8,00	16,00
MASCARILLA DE SOLDADOR	UNIDAD	1	5,00	5,00
MASCARILLA DE ESPONJA	UNIDAD	8	0,50	4,00
PLIEGO DE LIGA 600	UNIDAD	1	0,60	0,60
PLIEGO DE LIGA 400	UNIDAD	1	0,60	0,60
PLIEGO DE LIGA 320	UNIDAD	1	0,60	0,60
PLIEGO DE LIGA 240	UNIDAD	1	0,60	0,60
PALO DE ESCOBA	UNIDAD	1	1,50	1,50
LANA TERMICA (pedazo de 50 x 20)	Cm2	1	18,00	18,00
MAQUINADO DE PROBETAS	UNIDAD	6	10,00	60,00
MAQUINADO DE BOCINES Y BUJES	UNIDAD	2 PARES	25,00	50,00
ANÁLISIS QUIMICO	UNIDAD	1	56,00	56,00
<b>TOTAL 1</b>				<b>546,40</b>

(Fuente: el autor)

**Tabla 27. Detalle de gastos Recursos Humanos**

<b>DETALLE DE GASTOS (Recursos Humanos)</b>			
<b>DETALLE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>	<b>TOTAL</b>
Ayudante de Tesis	1	80,00	80,00
Ayudante de Laboratorio	1	50,00	50,00
Mano de obra	1	50,00	50,00
<b>TOTAL 2</b>			<b>180,00</b>

(Fuente: el autor)

**Tabla 28. Detalle de gastos suministros**

<b>DETALLE DE GASTOS (Suministros)</b>			
<b>DETALLE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
Resmas de hojas	4	5,00	20,00
Impresiones	380	0,05	19,00
Anillados	4	3,00	12,00
Copias	450	0,02	9,00
Empastados	4	10,00	40,00
Internet (Horas)	100	1,00	100,00
<b>TOTAL 3</b>			<b>200,00</b>

(Fuente: el autor)

**Tabla 29. Detalle de gastos totales**

<b>Detalle (Totales e Imprevistos)</b>	
<b>DETALLE</b>	<b>Total</b>
Total 1	546,40
Total 2	180,00
Total 3	200,00
Transporte	200,00
Imprevistos (10%)	07,64
<b>TOTAL</b>	<b>1.234,04</b>

(Fuente: el autor)

## **6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN**

La presente propuesta debe estar sujeta a un plan de evaluación para mejorar los resultados obtenidos. Dicha investigación se la realizó en su totalidad en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato Campus Huachi, En el Laboratorio de Materiales y Fundición. Bajo la supervisión del Ing. Mg. Segundo Espín.

Si hubiere más investigaciones sobre este tema se recomienda tomar muy en cuenta las recomendaciones del presente trabajo, esto ayudara a mejorar los resultados y cumplirá de mejor manera las expectativas de los futuros ingenieros.

Una vez terminada la presente investigación nos encontramos que la aleación compuesta a base de Cu, Zn y Pb. Tiene muchísimas aplicaciones en varios campos de la naturaleza humana, gracias a las excelentes propiedades que presenta el cobre especialmente y con la ayuda del zinc se las puede variar a conveniencia del trabajo a desempeñar para tal o cual aplicación.

## 6.10 BIBLIOGRAFÍA

1. DAVIS Harner E. y TROXELL George E. (1964). *Ensaye e inspección de los Materiales de Ingeniería*. Tercera edición, Cía. editorial continental.
2. ASKELAND, Donal R. (2004). *Ciencia e Ingeniería de Materiales*. Cuarta edición, International Thomson Editores.
3. George S Brady, (1996). *Manual de Materiales de Ingeniería*. Cuarta edición, Graw – Hill Book Company.
4. John E. Nelly, (2002). *Metalúrgia de Materiales Industriales*. Tercera edición, Limusa S. A.
5. Mikell P. Groover, (2007). *Fundamentos De Manufactura Moderna*. Tercera edición, Mc Graw – Hill Interamericana.
6. W. Trinks, (1975). *Hornos Industriales*. Primera edición, URMO S. A.
7. Harry D. Moore y Donald R. Kibbey. (1987). *Materiales Y Procesos de Fabricación*. Primera edición, Limusa S. A.
8. Wayne Hayden, William G. Moffatt y John Wulf. (1968). *Propiedades Mecánicas*. Primera edición, Limusa – Wiley S. A.



9. Autores Varios. (2004). "ASM Handbook for Materials Research and Engineering, Tomo 2: Applications", Metallography and Microstructures.
10. Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos, (2012). *Trabajo de Investigación*. Previa a la obtención del Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico
11. Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, (2012). *Trabajo de Investigación*. Previa a la obtención del Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico
12. Ing. Benítez Thomas Alfonso Augusto, (1995). *Maquinabilidad de los bronce al aluminio*. Previa a la obtención de título de Ingeniero Mecánico
13. Kalpakjian Serope; Steven R. Schmid. (2002) "*Manufactura, Ingeniería y Tecnología*". Cuarta edición, Laurite Freidman

## **LINKOGRAFÍA.**

1. <http://www.monografias.com/trabajos76/griferias-domesticas-contaminacion-plomo/griferias-domesticas-contaminacion-plomo2.shtml#ixzz2Ha53EaJ0>

Pancorvo Francisco Javier, (trabajo 76) *Griferías domésticas y contaminación por plomo*. Publicado en monografías.com

2. <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/5703/1/PFC%20DEFINITIU%20Eul%C3%A0lia%20Nogu%C3%A9s.pdf>

Anónimo. *Caracterización de latones obtenidos por colada continua*. Publicado como PDF.

3. <http://www5.knowledgres.com/00001854/Laton>

Anónimo. *Latón*. Publicado en knowledgres.com

4. <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4703/1/7225.pdf>

Ing. Benítez Thomas Alfonso Augusto, (1995). *Maquinabilidad de los broncees al aluminio*. Previa a la obtención te título de Ingeniero Mecánico

5. <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/UNS%20C-36000.pdf>

Aleaciones de bronce UNS C-36000. Publicado en [www.sumiteccr.com](http://www.sumiteccr.com)

# ANEXO 1

## Análisis Químico Prueba 4



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA



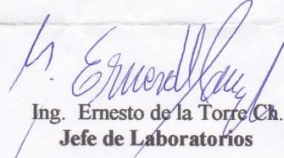
### Resultados de análisis por Espectrometría de Chispa

Solicitante : Sr. Pablo Alejandro Fiallos  
No. Referencia : ST - 6303  
Fecha : 16 - 05 - 2013  
Muestras recibidas : Una muestra de aleación Cu-Zn-Pb

La cuantificación de los metales presentes en la muestra se realizó empleando el Espectrómetro de Chispa marca BRUKER modelo Q4TASMAN. A continuación los resultados obtenidos:

Metales	Aleación Cu-Zn-Pb (%)
Zinc (Zn)	42,28
Plomo (Pb)	1,370
Estaño (Sn)	0,002
Fósforo (P)	0,025
Plata (Ag)	0,002
Antimonio (Sb)	0,017
Selenio (Se)	0,002
Teluro(Te)	0,013
Cobre (Cu)	56,24

  
Ing. Alicia Guevara C.  
Jefe de Departamento

  
Ing. Ernesto de la Torre Ch.  
Jefe de Laboratorios

## ANEXO 2


Análisis químico Pruebas: (M1=Prueba5, M2=prueba3, M3=Prueba8)

		LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD			
		INFORME DEL ENSAYO DE COMPOSICION QUÍMICA DE MUESTRAS			
<b>FECHA:</b>	13/09/2013				
<b>OPERADOR:</b>	EDUARDO VILLEGAS				
<b>MAQUINA:</b>	ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720				
<b>CANAL DE ENSAYO:</b>	ENERGY TEST				
<b>MUESTRA:</b>	<b>M1</b>				
<b>QUANTITATIVE RESULT</b>					
ANALYTE	RESULT	(STD.DEV.)	PROC. CALC.	LINE	
Cu	49,320%	0,052	QUAN-FP	CuKa	
Zn	46,719%	0,052	QUAN-FP	ZnKa	
Pb	3,398%	0,032	QUAN-FP	PbLb1	
Ca	0,363%	0,009	QUAN-FP	CaKa	
Ra	0,200%	0,011	QUAN-FP	RaLa	
<b>MUESTRA:</b>	<b>M2</b>				
<b>RESULTADOS:</b>					
<b>QUANTITATIVE RESULT</b>					
ANALYTE	RESULT	(STD.DEV.)	PROC. CALC.	LINE	
Cu	92,643%	0,066	QUAN-FP	CuKa	
Pb	4,071%	0,031	QUAN-FP	PbLb1	
Zn	2,840%	0,014	QUAN-FP	ZnKa	
Ra	0,198%	0,01	QUAN-FP	RaLa	

<b>Th</b>	0,109%	0,005	QUAN-FP	ThLa
<b>Ti</b>	0,059%	0,006	QUAN-FP	TiKa
<b>Mn</b>	4,100%	0,003	QUAN-FP	MnKa
<b>Nb</b>	3,900%	0,003	QUAN-FP	NbKa
<b>MUESTRA: M3</b>				
<b>RESULTADOS:</b>				
<b>QUANTITATIVE RESULT</b>				
<b>ANALYTE</b>	<b>RESULT</b>	<b>(STD.DEV.)</b>	<b>PROC. CALC.</b>	<b>LINE</b>
<b>Cu</b>	58,978%	0,0570	QUAN-FP	CuKa
<b>Zn</b>	36,958%	0,0410	QUAN-FP	ZnKa
<b>Pb</b>	3,357%	0,0310	QUAN-FP	PbLb1
<b>Ra</b>	0,175%	0,0110	QUAN-FP	RaLa
<b>Ca</b>	0,143%	0,0130	QUAN-FP	CaKa
<b>Mn</b>	0,049%	0,0040	QUAN-FP	MnKa
<b>Mo</b>	1,700%	0,0030	QUAN-FP	MoKa

### ANEXO 3

#### Análisis químico Pruebas: (M1=Prueba6, M2=prueba7, M3=Prueba7)

		LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD			
		E DEL ENSAYO DE COMPOSICION QUÍMICA DE MUESTRAS			
FECHA:	22/08/2013				
OPERADOR:	EDUARDO VILLEGAS				
MAQUINA:	ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720				
CANAL DE ENSAYO:	ENERGY TEST				
MUESTRA:	<b>M1</b>				
QUANTITATIVE RESULT					
ANALYTE	RESULT	(STD.DEV.)	PROC. CALC.	LINE	
Cu	62,530%	0,067	QUAN-FP	CuKa	
Zn	31,401%	0,050	QUAN-FP	ZnKa	
Pb	3,838%	0,041	QUAN-FP	PbLb1	
Ir	1,680%	0,074	QUAN-FP	IrLa	
Th	0,552%	0,017	QUAN-FP	ThLa	
MUESTRA:	<b>M2</b>				
RESULTADOS:					
QUANTITATIVE RESULT					
ANALYTE	RESULT	(STD.DEV.)	PROC. CALC.	LINE	
Cu	56,272%	0,056	QUAN-FP	CuKa	
Zn	37,184%	0,044	QUAN-FP	ZnKa	

<b>Pb</b>	4,176%	0,035	QUAN-FP	PbLb1
<b>S</b>	3,100%	0,037	QUAN-FP	Ska
<b>Ra</b>	0,199%	0,01	QUAN-FP	RaLa
<b>Ca</b>	0,169%	0,014	QUAN-FP	CaKa
<b>MUESTRA: M3</b>				
<b>RESULTADOS:</b>				
<b>QUANTITATIVE RESULT</b>				
<b>ANALYTE</b>	<b>RESULT</b>	<b>(STD.DEV.)</b>	<b>PROC. CALC.</b>	<b>LINE</b>
<b>Cu</b>	55,896%	0,0510	QUAN-FP	CuKa
<b>Zn</b>	36,094%	0,0400	QUAN-FP	ZnKa
<b>Pb</b>	4,414%	0,0330	QUAN-FP	PbLb1
<b>S</b>	3,225%	0,0380	QUAN-FP	Ska
<b>Ra</b>	0,205%	0,0090	QUAN-FP	RaLa
<b>Ca</b>	0,167%	0,0140	QUAN-FP	CaKa



ANEXO 4

Tabla para determinar dureza Brinell

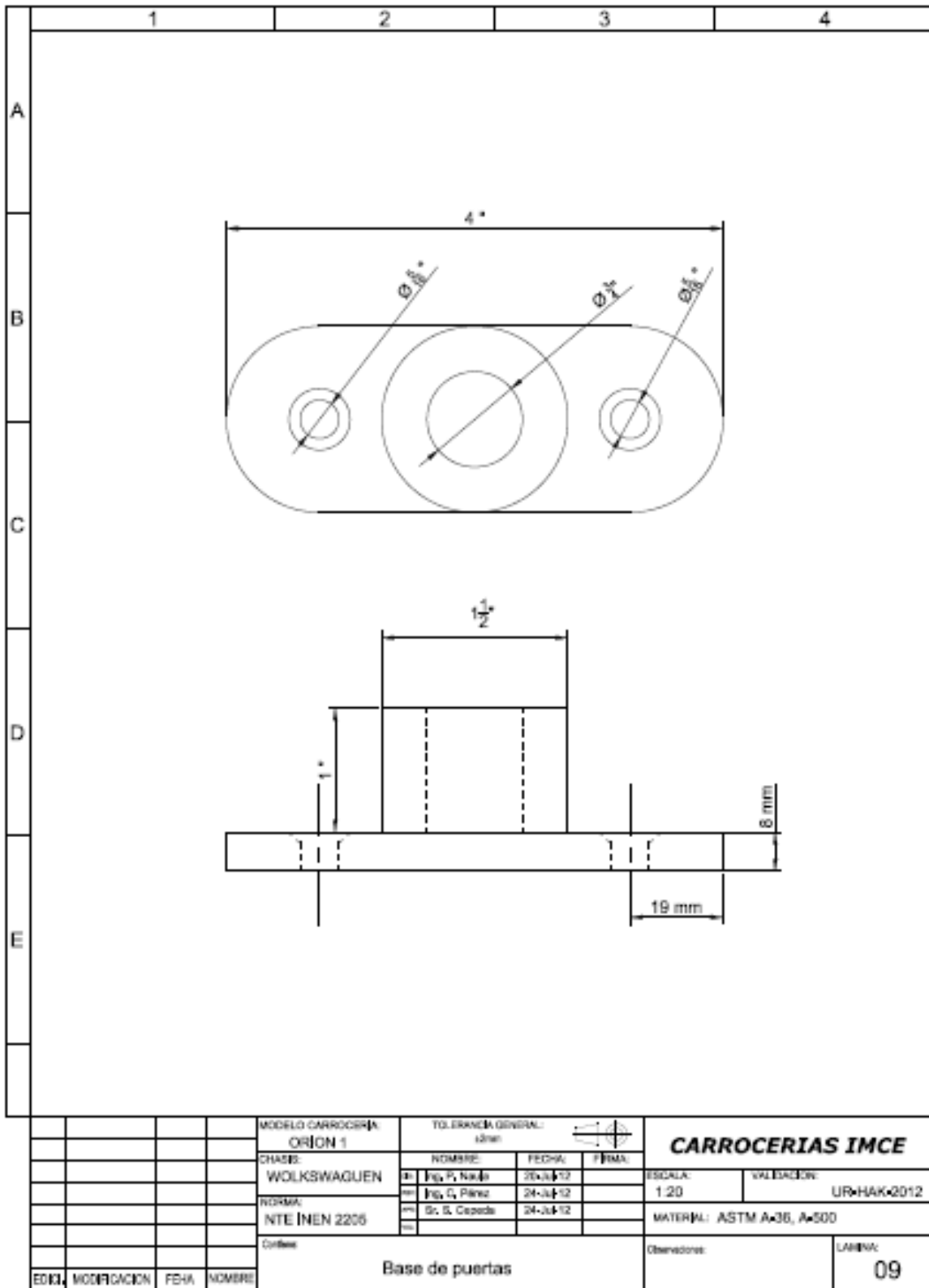
Table 1

Brinell Hardness Number of Metal													
Diameter of steel ball D (mm)		0.102F/D <sup>2</sup>					Diameter of steel ball D (mm)		0.102F/D <sup>2</sup>				
		30	10	5	2.5	1.25			30	10	5	2.5	1.25
		Test force F, N (kgf)							Test force F, N (kgf)				
5	2.5	1839 (187.5)	612.9 (62.5)	306.5 (31.25)	612.9 (62.5)	306.5 (31.25)	5	2.5	1839 (187.5)	612.9 (62.5)	306.5 (31.25)	612.9 (62.5)	306.5 (31.25)
Diameter of impression d (mm)		Brinell hardness HBS (W)					Diameter of impression d (mm)		Brinell hardness HBS (W)				
1.965	0.9825	237	79.1	39.6	19.8	9.89	2.095	1.0475	208	69.2	34.6	17.3	8.65
1.970	0.9850	236	78.7	39.4	19.7	9.84	2.100	1.0500	207	68.8	34.4	17.2	8.61
1.975	0.9875	235	78.3	39.1	19.6	9.79	2.105	1.0525	205	68.5	34.2	17.1	8.56
1.980	0.9900	234	77.9	38.9	19.5	9.73	2.110	1.0550	204	68.2	34.1	17.0	8.52
1.985	0.9925	232	77.5	38.7	19.4	9.68	2.115	1.0575	203	67.8	33.9	17.0	8.48
1.990	0.9950	231	77.1	38.5	19.3	9.63	2.120	1.0600	202	67.5	33.7	16.9	8.44
1.995	0.9975	230	76.7	38.3	19.2	9.58	2.125	1.0625	201	67.1	33.6	16.8	8.39
2.000	1.0000	229	76.3	38.1	19.1	9.53	2.130	1.0650	200	66.8	33.4	16.7	8.35
2.005	1.0025	228	75.9	37.9	19.0	9.48	2.135	1.0675	199	66.5	33.2	16.6	8.31
2.010	1.0050	226	75.5	37.7	18.9	9.43	2.140	1.0700	198	66.2	33.1	16.5	8.27
2.015	1.0075	225	75.1	37.5	18.8	9.38	2.145	1.0725	198	65.8	32.9	16.5	8.23
2.020	1.0100	224	74.7	37.3	18.7	9.34	2.150	1.0750	197	65.5	32.8	16.4	8.19
2.025	1.0125	223	74.3	37.1	18.6	9.29	2.155	1.0775	196	65.2	32.6	16.3	8.15
2.030	1.0150	222	73.9	37.0	18.5	9.24	2.160	1.0800	195	64.9	32.4	16.2	8.11
2.035	1.0175	221	73.5	36.8	18.4	9.19	2.165	1.0825	194	64.6	32.3	16.1	8.07
2.040	1.0200	219	73.2	36.6	18.3	9.14	2.170	1.0850	193	64.2	32.1	16.1	8.03
2.045	1.0225	218	72.8	36.4	18.2	9.10	2.175	1.0875	192	63.9	32.0	16.0	7.99
2.050	1.0250	217	72.4	36.2	18.1	9.05	2.180	1.0900	191	63.6	31.8	15.9	7.95
2.055	1.0275	216	72.0	36.0	18.0	9.01	2.185	1.0925	190	63.3	31.7	15.8	7.92
2.060	1.0300	215	71.7	35.8	17.9	8.96	2.190	1.0950	189	63.0	31.5	15.8	7.88
2.065	1.0325	214	71.3	35.7	17.8	8.91	2.195	1.0975	188	62.7	31.4	15.7	7.84
2.070	1.0350	213	71.0	35.5	17.7	8.87	2.200	1.1000	187	62.4	31.2	15.6	7.80
2.075	1.0375	212	70.6	35.3	17.6	8.82	2.205	1.1025	186	62.1	31.2	15.5	7.76
2.080	1.0400	211	70.2	35.1	17.6	8.78	2.210	1.1050	185	61.8	30.9	15.5	7.73
2.085	1.0425	210	69.9	34.9	17.5	8.74	2.215	1.1075	185	61.5	30.8	15.4	7.69
2.090	1.0450	209	69.5	34.8	17.4	8.69	2.220	1.1100	184	61.2	30.6	15.3	7.65



## ANEXO 5

### Plano de las bases de la puerta del Autobús ORION 1 de carrocerías IMCE



## ANEXO 6

### Plano del eje de la puerta del Autobús ORION 1 de carrocerías IMCE

