

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)

TEMA: “ESTUDIO DE LA ALEACIÓN INTELIGENTE CON MEMORIA DE FORMA Cu-Zn PARA DETERMINAR SU APLICACIÓN INDUSTRIAL”.

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

Autor: Ing. Marcia Ximena Criollo Camacho.

Director: Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg.

Ambato – Ecuador

2017

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y
Mecánica

El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación presidido por el Ingeniero Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes Magister, e integrado por los señores: Ing. Santiago Paul Cabrera Anda, Mg., Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg., Ing. Gustavo David Patín Manobanda, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “Estudio de la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn para determinar su aplicación industrial”, elaborado y presentado por la señora Ingeniera Marcia Ximena Criollo Camacho, para optar por el Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

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

Ing. Santiago Paul Cabrera Anda, Mg.
Miembro del Tribunal

Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg.
Miembro del Tribunal

Ing. Gustavo David Patín Manobanda, Mg.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: “Estudio de la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn para determinar su aplicación industrial”, le corresponde exclusivamente a: la Ingeniera Marcia Ximena Criollo Camacho, Autora bajo la Dirección del Ingeniero Segundo Manuel Espín Lagos Magister, Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Marcia Ximena Criollo Camacho
C.C. 1804158697
Autora

Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg.
C.C. 0501500771
Director

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ing. Marcia Ximena Criollo Camacho

C.C. 1804158697

Autora

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

Página de título o portada.....	i
A la unidad académica de titulación.....	ii
Autoría del trabajo de investigación.....	iii
Derechos de autor.....	iv
Índice general de contenidos.....	v
Índice de figuras.....	xi
Índice de tablas.....	xiv
Agradecimiento.....	xvi
Dedicatoria.....	xvii
Resumen Ejecutivo.....	xviii
Abstract.....	xix

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento el 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
1.1.6.1 Delimitación de contenido.....	5
1.1.6.2 Delimitación espacial	5
1.1.6.3 Delimitación temporal.....	5

1.3	Justificación	5
1.4	Objetivos de la investigación	6
1.4.1	Objetivo general	6
1.4.2	Objetivos específicos	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes investigativos	8
2.2	Fundamentación filosófica	9
2.3	Fundamentación legal	9
2.4	Categorías fundamentales	10
2.4.1	Aleaciones inteligentes.....	10
2.4.2	Materiales con memoria de forma.....	10
2.4.2.1	Tipos de aleaciones con memoria de forma.....	14
2.4.2.2	Aleaciones inteligentes base Cobre	15
2.4.3	Factores que modifican las propiedades mecánicas de las aleaciones con memoria de forma.....	17
2.4.3.1	Temperatura	17
2.4.3.2	Frecuencia y velocidad de aplicación de la carga	18
2.4.3.3	Amplitud.....	19
2.4.3.4	Tamaño de grano	19
2.4.4	Diagrama de fase binario Cu-Zn	19
2.4.5	Propiedades del cobre	21
2.4.6	Propiedades del zinc.....	22
2.4.7	Fundición.....	23
2.4.7.1	Proceso de moldeo.....	23
2.4.7.2	Sistema de alimentación	25
2.4.7.2.1	Componentes del sistema de alimentación.....	25
2.4.7.3	Mazarota	27
2.4.7.4	Respiradero.....	27
2.4.8	Fundición por inducción	27
2.4.8.1	Hornos de inducción.....	28

2.4.8.2	Crisoles	28
2.4.9	Ensayos y propiedades mecánicas	29
2.4.9.1	Ensayo de tracción.....	30
2.4.9.2	Ensayo de dureza	33
2.4.9.3	Ensayo de metalografía.....	36
2.4.9.4	Ensayo de impacto.....	38
2.5	Hipótesis.....	40
2.6	Señalamiento de variables.....	40
2.6.1	Variable independiente.....	40
2.6.2	Variable dependiente.....	40
2.6.3	Término de relación	40

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1	Enfoque	41
3.2	Modalidad básica de la investigación	42
3.2.1	Bibliográfica.....	42
3.2.2	Experimental	42
3.2.3	Aplicada	42
3.3	Nivel o tipo de investigación	42
3.3.1	Exploratoria.....	42
3.3.2	Descriptiva	42
3.3.3	Asociación de variables.....	43
3.4	Población y muestra	43
3.4.1	Población.....	43
3.4.2	Muestra.....	43
3.5	Operacionalización de las variables	45
3.5.1	Variable independiente.....	45
3.5.2	Variable dependiente.....	46
3.6	Recolección de la información.....	47
3.7	Procesamiento y análisis	47
3.7.1	Plan de procesamiento.....	47

3.7.2 Plan de análisis e interpretación de resultados.....	48
--	----

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados.....	49
4.1.1 Prueba 1.....	51
4.1.1.1 Análisis químico Prueba 1.....	51
4.1.1.2 Análisis metalográfico Prueba 1.....	52
4.1.1.3 Ensayo de dureza Prueba 1 sin tratamiento térmico.....	57
4.1.1.4 Ensayo de dureza Prueba 1 templada.....	58
4.1.1.5 Ensayo de tracción Prueba 1.....	58
4.1.1.6 Ensayo de impacto Prueba 1.....	59
4.1.2 Prueba 2.....	59
4.1.2.1 Análisis químico Prueba 2.....	60
4.1.2.2 Análisis metalográfico Prueba 2.....	60
4.1.2.3 Ensayo de dureza Prueba 2 sin tratamiento térmico.....	65
4.1.2.4 Ensayo de dureza Prueba 2 templada.....	66
4.1.2.5 Ensayo de tracción Prueba 2.....	66
4.1.2.6 Ensayo de impacto Prueba 2.....	67
4.1.3 Prueba 3.....	67
4.1.3.1 Análisis químico Prueba 3.....	68
4.1.3.2 Análisis metalográfico Prueba 3.....	68
4.1.3.3 Ensayo de dureza Prueba 3 sin tratamiento térmico.....	73
4.1.3.4 Ensayo de dureza Prueba 3 templada.....	74
4.1.3.5 Ensayo de tracción Prueba 3.....	74
4.1.3.6 Ensayo de impacto Prueba 3.....	75
4.1.4 Prueba 4.....	75
4.1.4.1 Análisis químico Prueba 4.....	76
4.1.4.2 Análisis metalográfico Prueba 4.....	76
4.1.4.3 Ensayo de dureza Prueba 4 sin tratamiento térmico.....	81
4.1.4.4 Ensayo de dureza Prueba 4 templada.....	82
4.1.4.5 Ensayo de tracción Prueba 4.....	82

4.1.4.6	Ensayo de impacto Prueba 4.....	83
4.1.5	Prueba 5.....	83
4.1.5.1	Análisis químico Prueba 5.....	84
4.1.5.2	Análisis metalográfico Prueba 5.....	84
4.1.5.3	Ensayo de dureza Prueba 5 sin tratamiento térmico.....	89
4.1.5.4	Ensayo de dureza Prueba 5 templada.....	90
4.1.5.5	Prueba 5 microestructura SEM (Scanning Electron Microscopy).....	90
4.1.5.6	Ensayo de tracción Prueba 5.....	92
4.1.5.7	Ensayo de impacto Prueba 5.....	103
4.1.5.8	Comprobación de la memoria de forma aleación obtenida.....	105
4.1.5.9	Densidad de la aleación inteligente con memoria de forma prueba 5. ...	105
4.3	Verificación de la hipótesis.....	120
4.3.1	Análisis estadístico para la comprobación de hipótesis.....	121

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	127
5.2	Recomendaciones.....	128

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1	Datos administrativos.....	130
6.2	Antecedentes de la propuesta.....	130
6.3	Justificación.....	131
6.4	Objetivos.....	131
6.4.1	Objetivo general.....	131
6.4.2	Objetivos específicos.....	131
6.5	Análisis de factibilidad.....	132
6.6	Fundamentación.....	132
6.7	Metodología.....	133
6.7.1	Determinación de la aplicación industrial.....	153

6.8 Administración.....	156
6.9 Previsión de la evaluación.....	157
6.10 Bibliografía	159
Anexos.....	161

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Materiales con memoria de forma	10
Figura 2. Cambio en la estructura cristalina de las aleaciones con memoria de forma producido por el cambio de fase.....	11
Figura 3. a) Maclas de deformación, b) Placas de martensita.....	12
Figura 4. Representación de los cambios en las prop. vs cambios de temperatura	13
Figura 5. Clasificación de materiales según su comportamiento.....	15
Figura 6. Esfuerzo crítico de transformación.....	18
Figura 7. Diagrama de fases binario Cu-Zn.....	21
Figura 8. Molde de arena verde y sección transversal de la pieza final.....	24
Figura 9. (a) Vista frontal y (b) Vista superior del sistema de alimentación	26
Figura 10. Tipos de crisoles	29
Figura 11. Máquina universal para el ensayo de tensión.	30
Figura 12. Curva esfuerzo-deformación correspondiente a una aleación de aluminio de la tabla 3	31
Figura 13. Deformación localizada durante el ensayo de tracción de un material dúctil produciendo una región de encuellamiento	32
Figura 14. Etapas para la medida de la dureza con un penetrador cónico de diamante.	34
Figura 15. Prueba de impacto: a) Pruebas de Charpy e Izod y b) dimensiones de los especímenes comunes.....	39
Figura 16. Categorías fundamentales.....	40
Figura 17. Diagrama de procedimiento para la obtención de la aleación Cu-Zn..	50
Figura 18. Fundición en un horno a gas en la ESPOCH, prueba 1	51
Figura 19. Fundición en un horno a gas en la ESPOCH, prueba 2.....	59
Figura 20. Fundición en un horno a gas en la ESPOCH, prueba 3	67
Figura 21. Fundición en un horno a inducción en la UTA, prueba 4.....	75
Figura 22. Fundición en un horno a inducción en la UTA, prueba 5.....	83
Figura 23. a)Viruta en su forma inicial, b) viruta deformada en frío (estado martensítico) c) viruta después de aplicar calor	105
Figura 24. Masa de la muestra	106
Figura 25. Volumen de la muestra	106

Figura 26. Gráfico comparativo de dureza.....	111
Figura 27. Diagrama fuerza máxima de rotura sin tratamiento térmico	112
Figura 28. Diagrama de fuerza de fluencia sin tratamiento térmico	113
Figura 29. Diagrama de resistencia máx. a la tracción sin tratamiento térmico .	113
Figura 30. Diagrama de resistencia máx. a la tracción templada a 835°C.....	113
Figura 31. Diagrama fuerza máxima de rotura probetas templadas a 835°C.....	115
Figura 32. Diagrama fuerza de fluencia probetas templadas a 835°C.....	115
Figura 33. Diagrama resistencia máxima a la Tracción probetas templadas a 835°C.....	116
Figura 34. Diagrama límite de fluencia probetas templadas a 835°C.....	116
Figura 35. Diagrama energía absorbida probetas sin tratamiento térmico.....	117
Figura 36. Diagrama resistencia al impacto probetas sin tratamiento térmico ...	117
Figura 37. Diagrama energía absorbida probetas templadas a 835°C	118
Figura 38. Diagrama resistencia al impacto probetas templadas a 835 °C.....	118
Figura 39. Comparación del ensayo de impacto	119
Figura 40. Verificación de la hipótesis mediante T-Student.....	122
Figura 41. Esquema en dos dimensiones de la transformación austenita a martensita	133
Figura 42. Representación de los cambios en las prop vs temperatura.....	133
Figura 43. Molde en arena macho y hembra.....	135
Figura 44. Peso del cobre y zinc	136
Figura 45. Carga del crisol con cobre en el horno a inducción.....	138
Figura 46. Probetas obtenidas después de colar la aleación en el molde.....	139
Figura 47. Dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción, espécimen 1	140
Figura 48. Dimensiones de la probeta para el ensayo Charpy tipo A	141
Figura 49. Probetas maquinadas para el ensayo Charpy tipo A.....	141
Figura 50. Diagrama de tratamiento térmico Temple	142
Figura 51. Horno y probetas para tratamiento térmico.	143
Figura 52. Enfriamiento de las probetas en agua a 16°C	143
Figura 53. Resultado de análisis químico.	144
Figura 54. Preparación de las probetas	145
Figura 55. Probetas preparadas para el ensayo metalográfico	145

Figura 56. Ataque químico.....	146
Figura 57. Resultado de la microestructura a) aleación sin tratamiento térmico b) aleación templada.....	147
Figura 58. Ensayo de dureza.	148
Figura 59. Ensayo de tracción, máquina universal y probetas ensayadas.....	149
Figura 60. Curva esfuerzo- deformación	149
Figura 61. Ensayo Charpy.....	150
Figura 62. Determinación de la masa de la aleación inteligente	151
Figura 63. Determinación del volumen de la aleación inteligente con memoria de forma, a) volumen inicial, b) volumen final	151
Figura 64. Obtención de la lámina de aleación 59.32% Cu - 40.08% Zn. a) cortadora de hilo, b) medición de espesor.....	153
Figura 65. Componentes del diseño del circuito básico para la aplicación de la aleación inteligente.....	153
Figura 66. Funcionamiento del circuito básico	154
Figura 67. Componentes del circuito para comprobación de la memoria de forma de la aleación 59.32% Cu - 40.08% Zn.....	154
Figura 68. a) Galga de calibración utilizada, b) medición de la distancia máxima para que la lámina reaccione al estímulo	155
Figura 69. Sistema demostrativo, a) Circuito abierto, b) Circuito cerrado	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características principales aleaciones con memoria de forma.....	17
Tabla 2. Propiedades del cobre y zinc.....	22
Tabla 3. Resultado de un ensayo de tensión de una barra de aleación de aluminio de 12.75 mm (0.505pulg) de diámetro.....	31
Tabla 4. Tipos de penetradores y tipos de huellas producidas, asociados a cuatro ensayos de dureza comunes: Brinell, Vickers, Knoop y Rock-well.....	35
Tabla 5. Probetas para realizar los ensayos de la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn.....	43
Tabla 6. Variable independiente	45
Tabla 7. Variable dependiente.....	46
Tabla 8. Resultado del análisis químico prueba 1.....	52
Tabla 9. Resultado del análisis químico prueba 2.....	60
Tabla 10. Resultado del análisis químico prueba 3.....	68
Tabla 11. Parámetros de funcionamiento del horno a inducción.....	75
Tabla 12. Resultado del análisis químico prueba 4.....	76
Tabla 13. Parámetros de funcionamiento del horno a inducción.....	83
Tabla 14. Resultado del análisis químico prueba 5.....	84
Tabla 15. Resultado análisis químico.....	108
Tabla 16. Resultado del análisis metalográfico 100 X.....	109
Tabla 17. Resultado del ensayo de dureza.	111
Tabla 18. Resultado del ensayo de tracción prueba 5.	112
Tabla 19. Resultado del ensayo de tracción prueba 5 templada a 835°C en agua a 16°C.....	114
Tabla 20. Comparación del ensayo de tracción prueba 5.....	114
Tabla 21. Resumen de los resultados obtenidos en los ensayos realizados de la prueba 5.	119
Tabla 22. Estadísticos descriptivos, porcentaje de deformación.....	123
Tabla 23. Normalidad de todos los valores.....	124
Tabla 24. Análisis de normalidad.....	124
Tabla 25. Prueba de muestras independientes.....	125
Tabla 26. Decisión estadística.....	126

Tabla 27. Cantidad de cada elemento presente en la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.....	137
Tabla 28. Parámetros de funcionamiento del horno a inducción.	138
Tabla 29. Especificaciones de las dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción, espécimen 1.	140
Tabla 30. Resultado de análisis químico.....	144
Tabla 31. Recursos materiales.....	156
Tabla 32. Recursos materiales elaboración de la propuesta.....	157
Tabla 33. Recursos humanos.....	157
Tabla 34. Recursos varios.	157
Tabla 35. Gastos totales de investigación.	157

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por darme la vida, siendo mi guía y mi luz, brindándome la fuerza, la sabiduría y por todo lo que sin pedir nada a cambio me ha concedido.

A mis padres que con su amor, paciencia y comprensión supieron apoyarme en todo momento sin importar las dificultades que se presenten en mi camino.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, quienes supieron transmitir sus valiosos conocimientos, en especial al Ing. Segundo Espín quién me ha brindado su ayuda con paciencia y dedicación.

Al Ing. Mario Pastor por su contribución para el desarrollo de la investigación y por demostrar ser una persona con un don de apoyo desinteresado.

Al Ing. Diego Pérez quién me ha brindado su valiosa colaboración, y a cada una de las personas que generosamente contribuyeron de una u otra manera para que este trabajo de investigación culmine.

Ximena

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a mis hijos Sebastián y Mathías quienes con su inocencia han llenado mi vida de felicidad y fortaleza.

A mis padres quienes han sido el pilar fundamental para el crecimiento como persona, brindándome su apoyo moral y psicológico.

A mis hermanos y familiares cercanos con quienes he compartido la alegría de la vida, y todos quienes supieron apoyar mis decisiones en el trayecto de mi existencia.

Ximena

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO SEGUNDA COHORTE

Tema:

“Estudio de la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn para determinar su aplicación industrial”

AUTORA: Ing. Marcia Ximena Criollo Camacho

DIRECTOR: Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg.

FECHA: 08 de Agosto del 2017

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo de investigación se desarrolló el estudio de la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn para determinar su aplicación industrial, se realizaron cinco pruebas de fundición con diferentes cantidades de elementos aleantes, variando principalmente la cantidad de Zn, hasta lograr un porcentaje de 59.32% Cu y 40.08% Zn, obteniendo con esta composición que la aleación se comporte como material inteligente con memoria de forma, el que vuelve a su forma predeterminada con la presencia de un estímulo externo, en éste caso la reacción a la presencia del calor y posee características como la superelasticidad y memoria térmica, se determinaron las propiedades mecánicas basadas en normas ASTM, como son los ensayos metalográficos, de tracción, de impacto y dureza del material obtenido. En función de las propiedades alcanzadas se da una aplicación industrial, proponiendo utilizar como interruptor o actuador, el que cierra o abre un circuito al aplicar calor.

Palabras clave: aleación inteligente, memoria de forma, elementos aleantes, propiedades mecánicas, calor.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING
MASTERS IN MECHANICAL DESIGN SECOND COHORT

Theme:

“Study of the intelligent alloy with shape memory Cu-Zn to determine its industrial application”

AUTHOR: Eng. Marcia Ximena Criollo Camacho

DIRECTOR: Eng. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg.

DATE: August 08, 2017

ABSTRACT

In the present research work, the study of the intelligent alloy with Cu-Zn shape-memory was developed to determine its industrial application, five tests of casting with different quantities of alloying elements were conducted, mainly varying the quantities of Zn, until achieving a percentage of 59.32% Cu and 40.08% Zn, obtaining with this composition that the alloy behaves as an intelligent material with shape-memory, which returns to its predetermined form in the presence of an external stimulus, in this case the reaction to the presence of heat, it has characteristics such as superelasticity and thermal memory, the mechanical properties were determined based on ASTM standards, such as metallographic, traction, impact and hardness tests of the material obtained. In function of the properties achieved, an industrial application is given, proposing to use as a switch or actuator, which closes or opens a circuit when applying heat.

Keywords: intelligent alloy, shape-memory, alloying elements, mechanical properties, heat.

INTRODUCCIÓN

Desde hace mucho tiempo se ha estudiado la aleación entre el Níquel y el Titanio (Nitinol), misma que presenta propiedades como la superelasticidad y memoria térmica, características principales de un material inteligente, pero existen limitados estudios de la aleación Cu-Zn, donde se pueda obtener valores de propiedades mecánicas, para posteriormente utilizar en aplicaciones industriales.

Las aleaciones inteligentes con memoria de forma al ser materiales con nuevas propiedades, abren un nuevo campo de aplicaciones tecnológicas respecto a los materiales convencionales.

Una aleación con memoria de forma es un material inteligente que puede llegar a ser funcional, este tipo de aleaciones tienen la capacidad de volver a una forma predeterminada cuando se presenta algún estímulo externo, por ejemplo la reacción a la presencia del calor, estas aleaciones inteligentes tienen un buen futuro dentro de las aplicaciones industriales

En el estudio realizado se obtuvo una aleación inteligente con memoria de forma con porcentajes de 40.08% Zn - 59.32% Cu y 0.6% de otros elementos como el silicio, elemento que pudo ser absorbido de la fibra cerámica, utilizada para cubrir el crisol durante la fundición y evitar pérdidas de calor. Además se realiza un temple a 835 °C con enfriamiento rápido en un medio convencional (agua a 16°C), obteniendo propiedades de la aleación representativas, para darle una aplicación industrial, en éste caso se utiliza como un contacto de apertura y cierre de un circuito ante la presencia de calor.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA:

“ESTUDIO DE LA ALEACIÓN INTELIGENTE CON MEMORIA DE FORMA Cu-Zn PARA DETERMINAR SU APLICACIÓN INDUSTRIAL”.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

En el mundo, los avances de la ciencia y tecnología van de la mano, con la mejora de los materiales porque sus propiedades han permitido dar soluciones eficientes a las necesidades presentes, en la actualidad los materiales que se usan comúnmente dentro de la industria presentan propiedades que no se pueden alterar de manera específica, motivo por el cual se da gran importancia al desarrollo de nuevos materiales los cuales sean capaces de responder a estímulos externos.

El desarrollo de nuevos materiales es una línea base de las tecnologías modernas, rediseñar productos existentes y desarrollar otros, las tecnologías actuales están ligadas al concepto de sostenibilidad, tanto así que es un criterio de evaluación para el desarrollo de nuevos materiales (Akhras, 1999).

Una aleación con memoria de forma es un material inteligente que resulta ser muy funcional y ha despertado grandes expectativas en varias aplicaciones tecnológicas, este tipo de aleaciones tienen la capacidad de volver a una forma predeterminada cuando se calienta o en presencia de alguna fuerza que produzca deformación, con lo que generan interesantes propiedades como el denominado efecto superelástico, así como la memoria de forma simple y doble, estas

aleaciones inteligentes tienen un buen futuro dentro de las aplicaciones industriales.

En el continente americano también se están realizando investigaciones sobre las aleaciones con memoria de forma, tal es el caso que en México, en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, 2007, Nohemí Salcido Fernández, realiza el estudio sobre el Análisis Experimental de Diferentes Aleaciones con Memoria de Forma para su posible uso como Disipadores de Energía Sísmica, el objetivo del estudio realizado fue comparar tres tipos de aleaciones en base cobre y determinó mediante la caracterización de las aleaciones que la óptima para disipar la energía sísmica en este caso específico fue CuAlBe (Salcido, 2007).

En Chile, 2008, Pablo Cecil Salvador Gibson Torres, realiza el estudio sobre la fabricación y caracterización de una aleación con memoria de forma CuZnAl considerada para disipadores sísmicos, en el cual realiza varios ensayos de tracción con probetas con diámetro de 12.7 mm, para comparar con estudios anteriores con ensayos realizados en probetas de diámetro de hasta 8 mm con una composición con base cobre Cu, 16.9% Zn y 7.7% Al, la misma que se comporta como una aleación inteligente superelástica y dando valores y patrones similares a los encontrados por otros autores a menores diámetros en aleaciones similares (Gibson, 2008).

En Ecuador, 2012, Segundo Manuel Espín Lagos, en la Universidad Técnica de Ambato, realizó el estudio de la aleación inteligente con memoria de forma CuZnAl para determinar su aplicación industrial, la misma se comporta como aleación inteligente en porcentajes de 75% Cu, 18.71% Zn, 6.17% Al, en la misma se realizó ensayos químicos, físicos y mecánicos los cuales sirvieron para dar una aplicación industrial.

En el país se está desarrollando estudios importantes sobre las aleaciones inteligentes con memoria de forma, las cuales serán de gran utilidad en un futuro no muy lejano para aplicaciones industriales, sin embargo no existe una investigación puntual sobre la aleación mencionada para el presente estudio que está compuesta por Cobre y Zinc, haciendo una variación de composiciones hasta

lograr la presencia de una aleación inteligente, realizando los ensayos respectivos en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

El deseo del hombre por mejorar su entorno, ha dado lugar a un incremento de necesidades en las diferentes áreas, la facilidad que brinda la tecnología es de gran importancia a nivel de industria, una manera de conseguir lo mencionado es dando lugar a la presencia de nuevas aleaciones inteligentes con memoria de forma en este caso una aleación en base cobre y zinc, para desarrollar aplicaciones industriales, al ser desconocidas las propiedades que tienen estos compuestos no se puede reemplazar los materiales convencionales por materiales que tengan mejores características.

En el país las empresas presentan desinterés por la investigación de nuevos materiales inteligentes por la falta de recursos y por la crisis que vive la nación, este es un motivo fundamental para el desarrollo de la investigación. La aleación Cu-Zn, ofrece grandes expectativas y por ello se profundiza mencionado estudio, para caracterizar propiedades mecánicas que posee la aleación, para ser utilizado en el diseño de partes para la aplicación industrial.

Es factible realizar la investigación, pues se cuenta con los recursos humanos y tecnológicos, como equipos que se encuentran en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, los mismos que ayudan a la determinación de propiedades de la aleación inteligente en estudio, así mismo se puede encontrar los elementos presentes en la aleación, los que deben tener el mayor grado de pureza, de ésta característica depende los porcentajes correctos de aleación sin presencia de algún elemento extraño.

Con la presente investigación se aportará al desarrollo del sector de producción industrial, con la obtención de nuevos productos que reemplacen a los utilizados convencionalmente.

1.2.3 PROGNÓISIS

Dentro de la industria se utilizan materiales convencionales, para la construcción de partes mecánicas, dejando de lado a nuevas alternativas como las aleaciones inteligentes, con el desarrollo de la presente investigación se podrá obtener un material con características como la superelasticidad y memoria térmica, las que aportarán a la elaboración de mecanismos para diferentes aplicaciones industriales. Además con las propiedades mecánicas obtenidas se podrá facilitar la comparación con otro tipo de aleaciones que tengan comportamiento de memoria de forma, siendo éste un atenuante para la competitividad de la industria del país, en cuanto a materiales se refiere.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿El estudio de las propiedades físicas químicas y mecánicas de la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn permitirá sugerir alguna aplicación industrial?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

- ¿Cuál será el procedimiento adecuado para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn?
- ¿Cuál será la composición apropiada de los elementos presentes en la aleación resultante para que se comporte como material inteligente con memoria de forma?
- ¿Qué ensayos ASTM permitirán demostrar que la aleación resultante es una aleación inteligente con memoria de forma?
- ¿Cuáles serán las propiedades que presenta la aleación inteligente resultante con memoria de forma Cu-Zn?
- ¿Cuál será el tipo de aplicación industrial que se puede dar a la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn?

1.2.6 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.6.1 DELIMITACIÓN DE CONTENIDO

La presente investigación se llevará a cabo en los parámetros científicos de investigación dentro del campo de la Ingeniería Mecánica con el estudio en el área de Materiales, y tomando en consideración como fuentes de consulta varios libros de la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, y para una información global el internet.

1.1.6.2 DELIMITACIÓN ESPACIAL

El estudio de la aleación inteligente con memoria de forma Cobre-Zinc para determinar su Aplicación Industrial se desarrollará en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, con el apoyo del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del Gobierno Provincial de Tungurahua y de la Escuela Politécnica del Ejército de Latacunga, en donde se encuentran los equipos necesarios para la investigación, de igual manera para el desarrollo de tutoría información y bibliografía, además el mecanizado de las probetas para los diferentes ensayos se realizará en el taller de Troqueles Jacob.

1.1.6.3 DELIMITACIÓN TEMPORAL

Esta investigación se desarrollará durante los meses de Marzo, Abril, Mayo, Junio, Julio y Agosto del 2017, tiempo en el que se determinará los parámetros que sean necesarios en el estudio de la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn para determinar su aplicación industrial.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Es de gran importancia realizar este trabajo porque se quiere saber la capacidad ingenieril que tiene la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn, es sabido que cualquier material convencional puede disipar energía al deformarse plásticamente, lo que hace diferentes a las aleaciones inteligentes es que puede

alcanzar grandes deformaciones en forma casi completamente reversible gracias a la transformación de fase martensítica durante la deformación.

Las aplicaciones que se puede dar a este tipo de aleaciones inteligentes son potenciales, pueden ser utilizados para generar fuerza o movimiento, mediante el efecto de memoria de forma o almacenar energía, mediante el efecto de superelasticidad.

Es novedoso estudiar las propiedades que presenta la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn, ya que existe limitada información con respecto a esta aleación, es sabido que la aleación de níquel y titanio (NiTi) sigue siendo la aleación más comercial y más estudiada debido a su buena estabilidad, biocompatibilidad y capacidad de recuperar grandes deformaciones.

Con el presente estudio se podrá dar utilidad en el campo del diseño a la aleación inteligente con memoria de forma en base cobre Cu-Zn, con el análisis de las propiedades y la estandarización de los parámetros óptimos para la obtención de la aleación, para adquirir importancia y desarrollo industrial.

Es un estudio factible de realizarlo, se cuenta con la bibliografía, talleres y equipos necesarios para el desarrollo del mismo, además cuenta con el personal calificado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las propiedades y parámetros de la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn para sugerir una aplicación industrial.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar el procedimiento adecuado para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn.

- Determinar la composición apropiada de los elementos presentes en la aleación resultante para que se comporte como material inteligente con memoria de forma.
- Ensayar la aleación inteligente con memoria de forma obtenida bajo normas ASTM.
- Determinar las propiedades que presenta la aleación inteligente resultante con memoria de forma Cu-Zn.
- Determinar la aplicación industrial que se puede dar a la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Las primeras investigaciones para el descubrimiento del efecto memoria de forma fueron realizadas, según Miyazaki y Otsuka (Miyasaki, 1989), junto con otros investigadores lograron observar la aparición y desaparición de fase martensítica a medida que crece y decrece la temperatura en una aleación. Pese a estos antecedentes el descubrimiento más importante se realizó en 1962, cuando en el instituto Naval Ordnance Laboratory, desarrollaron una aleación de níquel y titanio (NiTi), con un efecto de memoria de forma superior a pasadas investigaciones y denominaron al nuevo material como Nitinol, de aquí en adelante se abrió una gran puerta a la búsqueda de nuevas aleaciones con memoria de forma, así como el estudio de su comportamiento mecánico y sus posibles aplicaciones (López, 2006).

Otros autores han realizado estudios sobre la tensión-deformación en un rango amplio de temperaturas, el estudio se ha realizado a rotura y por tanto no se realizaba completamente el fenómeno pseudoelástico ni el fenómeno de recuperación de la deformación con el calentamiento característica principal de la memoria de forma. En la misma línea de analizar con detalle los mecanismos de deformación implicados en la transformación martensítica, Roumagnac analizó probetas de NiTi a tracción a una deformación máxima creciente determinando la deformación plástica y la influencia de esta deformación en la evolución de las temperaturas de transformación (López, 2006).

Las aleaciones con memoria de forma han sido utilizadas para diversos tipos de aplicaciones, algunas de ellas son biocompatibles. Una de estas aplicaciones se da en la fabricación de tuberías. Las aleaciones con memoria de forma tienen

propiedades distintas a las aleaciones convencionales, ya que poseen dos propiedades diferentes, una en la fase martensítica y otra en la fase austenítica (Matamoros & Gonzales , 2013).

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

El presente estudio está ubicado en un paradigma crítico propositivo; es crítico porque cuestiona los esquemas iniciales de la investigación basada en una realidad que ha sufrido los avances tecnológicos en diferentes áreas, en este caso en los materiales para ingeniería, y propositivo porque plantea la realización de varios ensayos para determinar propiedades las cuales servirán para dar una aplicación industrial a la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

La base legal en la que se sustenta la presente investigación es principalmente en las normas ASTM las mismas que servirán de guía para el desarrollo de los ensayos requeridos en la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn, las mismas se detallan a continuación:

- ASTM E-3: Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens.
- ASTM E7-03: Standard Terminology Related to Metallography.
- ASTM E-112: Standard Test Methods for Determining Average Grain Size.
- ASTM E-8: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric].
- ASTM E-18: Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials.
- ASTM E-23: Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.
- ASTM E-407: Standard Practice for Microetching Metals and Alloys

2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

2.4.1 Aleaciones inteligentes

Los materiales inteligentes son denominados también multifuncionales, son aquellos que tienen la capacidad de cambiar sus propiedades mecánicas o físicas en presencia de un estímulo concreto. Aunque todavía no existe un consenso sobre los límites exactos entre materiales inteligentes y los que no lo son, se acepta que ellos poseen ciertas características que los hacen diferentes de los materiales convencionales (Arias & Vanegas, 2004).

Los materiales inteligentes son la conjugación de un sistema completo en un material, es decir, un material que responde ante una acción o estímulo, siendo este material un sensor y un actuador a la vez (Matellanes, 2003). De los materiales inteligentes se puede decir que están clasificados como: materiales con memoria de forma, materiales electro y magnetoactivos, y materiales foto y cromoactivos (Carrillo, Archila, & Vargas, 2010).

2.4.2 Materiales con memoria de forma

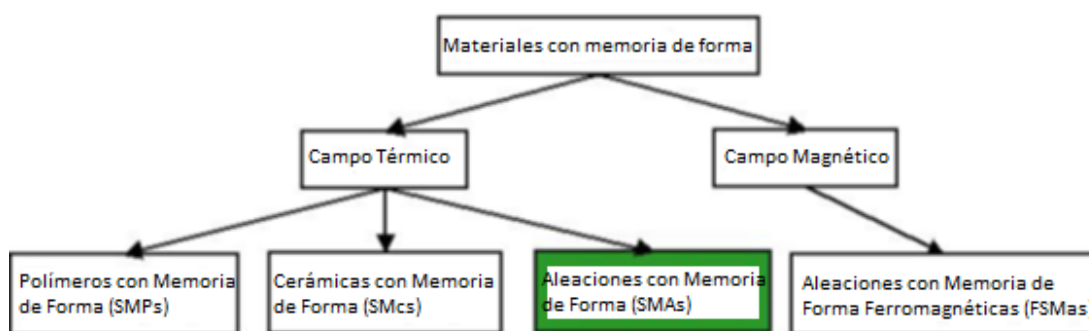


Figura 1. Materiales con memoria de forma (Fuente: Herranz, 2011).

El efecto de memoria de forma consiste en una relación causa-efecto entre la deformación (cambio de forma) y un estímulo externo, por ejemplo, cambio de temperatura o de campo magnético.

Los materiales con memoria de forma pueden ser: aleaciones, polímeros o cerámicas con memoria de forma y aleaciones ferromagnéticas con memoria de forma (figura 1). De estos materiales, los más comunes son las aleaciones con

memoria de forma, las cuales son metales que además del efecto de memoria, tienen la propiedad de pseudoelasticidad. Después de ser deformadas mediante carga, las aleaciones con memoria de forma pueden recuperar su forma o configuración original cuando se someten a un pequeño cambio de temperatura (unos 10°C), el cual produce un cambio de fase de estado sólido (figura 2). Aparecen dos fases, la martensita y la austenita. La martensita, que es relativamente suave, existe a bajas temperaturas. La austenita es más dura y aparece a una temperatura más alta. La martensita puede deformarse fácilmente, con lo cual una carga en la pieza con fase martensítica puede producir un cambio significativo en su forma, pero si la pieza se calienta por encima de la temperatura a la cual el material es completamente austenítico, ésta recupera su forma inicial, aun soportando la misma carga.

Además, para que la austenita se transforme en martensita, basta sólo con cargar la pieza (no se requiere cambio de temperatura). Cuando se reduce la carga, la martensita comienza a transformarse en austenita nuevamente y el alambre o pieza puede recuperar su forma inicial. Este es el fenómeno conocido como pseudoelasticidad (Arias & Vanegas, 2004).

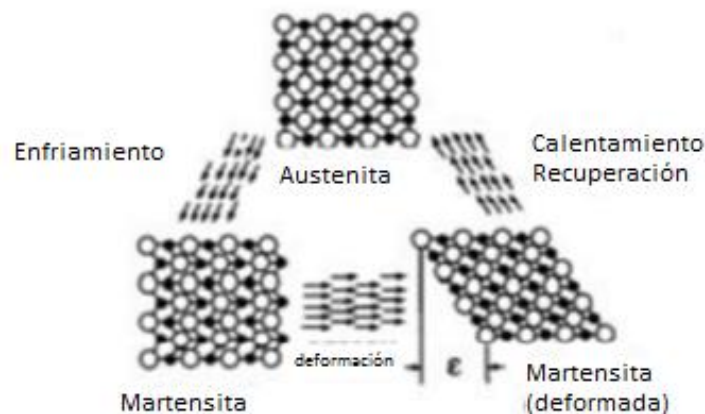


Figura 2. Cambio en la estructura cristalina de las aleaciones con memoria de forma producido por el cambio de fase (Fuente: Arias & Vanegas, 2004).

Una característica particular de estas aleaciones y que ayuda a su identificación es la forma de agujas característica de las martensitas que presenta en su estructura metalográfica como se muestra en la figura 3. (Gibson, 2008)

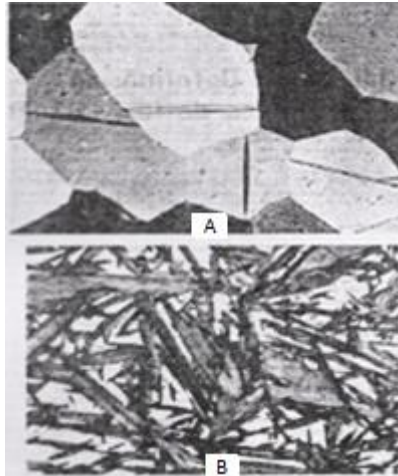


Figura 3. a) Maclas de deformación, b) Placas de martensita (Fuente: Pablo Cecil Salvador Gibson Torres. Tesis de grado, Santiago de Chile, Agosto 2008).

Existe un diferencial en los picos de temperaturas martensita y austenita, este ocurre cuando más o menos el 50% ya se ha transformado, normalmente en un rango de valores de entre 20°/40°C, la magnitud de esta diferencia depende del tipo de aleación del material, por lo cual conociendo los rangos de temperaturas se puede lograr un control de los procesos de deformación, la figura 4 nos indica la curva de cambio de volumen respecto al aumento de temperatura.

El efecto de memoria de forma puede ser usado para generar movimiento o fuerza, la superelasticidad puede almacenar energía de deformación, se puede utilizar su recuperación libre, es decir, a temperatura ambiente, en estado martensita, el material se deforma y se calienta, lo cual aprovecharía su recuperación de forma, pero si lo estiramos a temperatura ambiente y le impedimos que recupere su forma al fijarlo antes de calentar se puede estar generando fuerza por recuperación impedida. Se puede generar trabajo, si la fuerza opositora puede ser vencida por la fuerza generada por este al intentar recuperar su forma generando desplazamiento, en estos casos las deformaciones recuperables son del orden del 10%, pero en aplicaciones cíclicas es mucho menor (López, 2006).

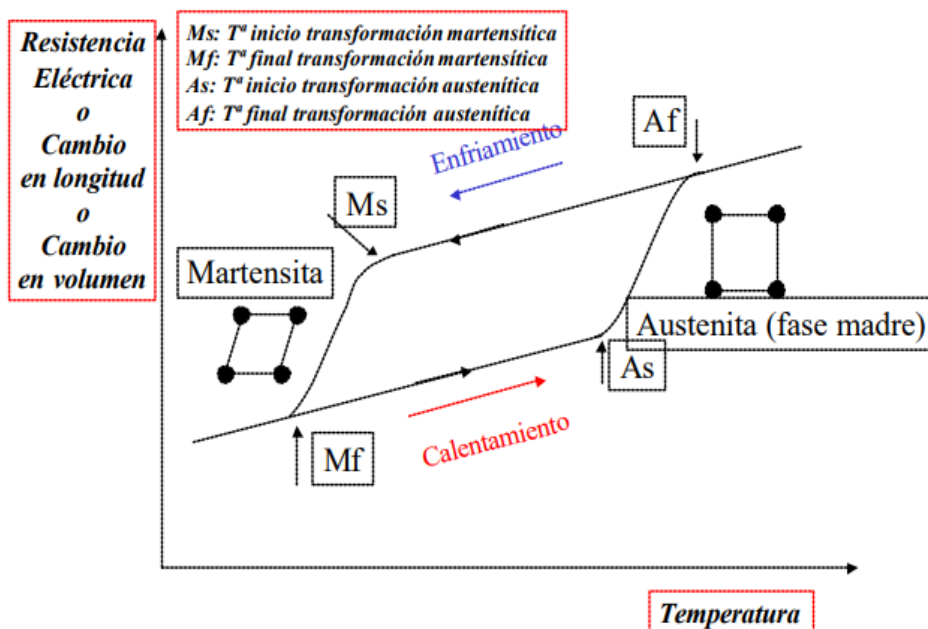


Figura 4. Representación de los cambios en las propiedades vs cambios de temperatura (Fuente: López, 2006, pág. 23).

Las temperaturas Ms, Mf, As y Af se refieren a las temperaturas a las cuales la transformación martensítica comienza y acaba, y la temperatura a la cual la transformación austenítica empieza y termina. No existe una determinada temperatura sino un rango de temperaturas en el que se produce la transformación, denominadas temperaturas características o temperaturas de transformación.

En el proceso de enfriamiento, la primera de estas temperaturas es la temperatura de inicio de la transformación martensítica (Ms), a partir de la cual se empieza a formar martensita por temperatura. Esta transformación termina a medida que decrece la temperatura a una temperatura cercana a Mf o temperatura final de la transformación martensítica. El siguiente conjunto de temperaturas características de transformaciones la temperatura de inicio de la transformación austenítica y la final de austenita, As y Af respectivamente. La formación de la fase austenítica comienza a medida que la aleación, en el proceso de calentamiento, alcanza la temperatura As. Se comienza a formar entonces una estructura cristalina cúbica centrada en las caras, rígida y dura, que se termina de formar alrededor de Af. Cuando el elemento se calienta más allá de Af, la deformación se recupera completamente obteniendo el efecto memoria de forma. Los procesos de

transformación de austenita a martensita y viceversa, siguen diferentes caminos como consecuencia de la histéresis de la transformación (Figura 4).

Se define pico de austenita (A_p) y de martensita (M_p) como aquella temperatura donde el 50% del material ya se ha transformado. La magnitud de la histéresis depende de la aleación, pero normalmente son típicos los rangos de valores entre 20-40°C para materiales con memoria de forma. Existen muchas propiedades de las SMA que varían con la transformación martensítica, pero una de las que cambia de modo más significativo es el límite elástico (Cano, 2010).

2.4.2.1 Tipos de aleaciones con memoria de forma

Las aleaciones con memoria de forma se encuentran entre los materiales metálicos llamados inteligentes junto con los materiales magnetostrictivos o aleaciones con memoria de forma magnética, como se muestra en la figura 5.

Las aleaciones con memoria de forma pueden tener, como base, por ejemplo el Cobre o la combinación llamada NiTiNOL, nombre dado a una fusión entre níquel y titanio casi en las mismas proporciones agregándole las iniciales del laboratorio donde fue creado por primera vez (Naval Ordnance Laboratory).

El fenómeno de la magnetostricción es el cambio en la forma o tamaño de un material ferroeléctrico, inducido por un campo magnético. Es causado por el movimiento de los límites de los dominios magnéticos, asociados con la magnetización. Los materiales magnetostrictivos tienen la habilidad de convertir energía magnética en energía mecánica y viceversa, esto permite usarlos como actuadores (Klemas, 2002).

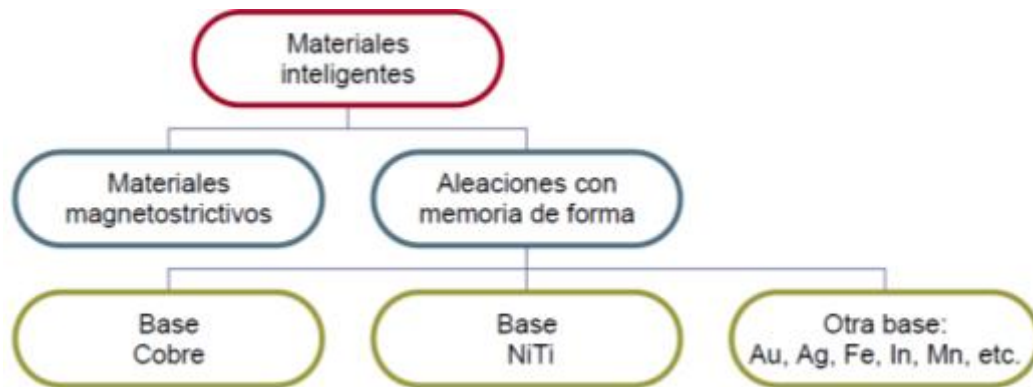


Figura 5. Clasificación de materiales según su comportamiento (Fuente: Salcido, 2007).

Ciertos materiales con memoria de forma, que también son ferromagnéticos, pueden exhibir grandes cambios dimensionales cuando se aplica un campo magnético. Estas deformaciones ocurren en la fase de baja temperatura (martensítica). Esta combinación de memoria de forma y cambio dimensional hace que estos materiales, descubiertos en 1996, sean de los más promisorios (Salcido, 2007).

2.4.2.2 Aleaciones inteligentes base Cobre

Actualmente el NiTiNOL y las aleaciones de base cobre, como CuAlBe, CuZnAl y CuAlNi, son extensamente utilizadas aprovechando el efecto de memoria de forma que estas presentan. Las aleaciones con base NiTi generalmente exhiben mucho mejores propiedades de memoria de forma y resistencia a la corrosión que las de base cobre; sin embargo, éstas últimas son más económicas en su fabricación y presentan menores dificultades para su fundición y conformado. Una desventaja de las aleaciones base cobre es que presentan fallas intergranulares debido a su estructura de grano, por lo que, recientemente se han realizado avances para el refinamiento del tamaño de grano en estas aleaciones, lo cual mejora el comportamiento mecánico significativamente.

Las aleaciones base cobre que actualmente se conocen son derivados de tres sistemas de aleación binarios: CuZn, CuAl y CuSn. La transformación martensítica en la aleación CuSn no es la ideal ya que sufre una degradación

rápida de las propiedades de memoria de forma durante su envejecimiento aún a moderadas temperaturas.

Entre las aleaciones ternarias con base CuZn pueden encontrarse las que contienen Al, Si, Sn, Ga o Mn y entre las de base CuAl podemos tener las que tienen como tercer elemento Ni, Be, Zn o Mn, aunque el estudio de ellos se ha extendido a aleaciones formadas por 4 elementos como CuZnAlNi, CuZnAlMn y CuAlNiMn. (Salcido, 2007).

A pesar de todas las investigaciones en busca de nuevas aleaciones con memoria de forma, las únicas aleaciones comerciales en la actualidad son las NiTi y las de base Cu. Las aleaciones NiTi presentan las siguientes ventajas comparado con las aleaciones de base Cu:

- Tienen mayor capacidad de memoria (hasta un 8% mientras que sólo se alcanza un 4-5% en las de base Cu).
- Son mucho más estables térmicamente.
- Poseen mejor resistencia a la corrosión que el cobre.
- Tienen mayor resistividad eléctrica (siendo pues su activación eléctrica más simple), Pueden ser aleadas y extruidas con facilidad.
- Tienen un mayor rango de posibles temperaturas de transformación.

En cuanto a los inconvenientes de las aleaciones de NiTi comparado con las de base Cu, son los siguientes:

- Son mucho más caras y más difíciles de mecanizar
- El ciclo de histéresis de las aleaciones NiTi suele ser muy pronunciado (grandes cambios en la deformación con pequeños cambios de T), lo que suele ser útil si se desea una aplicación en la que se realice una función al alcanzar una T, pero dificulta la aplicación para control proporcional.

En la tabla 1, se muestra una comparación entre algunas de las principales aleaciones con memoria de forma.

Tabla 1. Características principales aleaciones con memoria de forma.

<i>Aleación</i>	<i>composición</i>	<i>Rango de temperaturas (°C)</i>	<i>Histéresis (°C)</i>
Ag-Cd	44/49 at %Cd	-190 a -50	15
Au-Cd	46,5/50 at % Cd	30 a 100	15
Cu-Al-Ni	14/14,5 at %Al; 3/4,5 wt% Ni	-140 a 100	35
Cu-Sn	15 at % Sn	-120 a 30	
Cu-Zn	38,5/41,5 wt % Zn	-180 a -10	10
In-Ti	18/23 at % Ti	60 a 100	4
Ni-Al	36/38 at % Ti	-180 a 100	10
Ni-Ti	49/51 at % Ni	-50 a 110	30
Fe-Pt	25 at % Pt	-130	4
Mn-Cu	5/35 at % Cu	-250 a 180	24
Fe-Mn-Si	32 wt%Mn; 6 wt% Si	-200 a 150	100

(Fuente: Cano, 2010)

2.4.3 Factores que modifican las propiedades mecánicas de las aleaciones con memoria de forma.

Las propiedades de las aleaciones con memoria de forma afectan básicamente el amortiguamiento que éstas pueden presentar debido a la modificación de factores externos como pueden ser las variaciones en la temperatura a la cual trabajan, la frecuencia (velocidad) de aplicación de la carga así como la amplitud. El tamaño de grano y los defectos en la microestructura son importantes variables internas que también modifican el comportamiento de las aleaciones, los cuales se pueden alterar, mediante procesos térmicos o termomecánicos, para beneficio de las propiedades mecánicas requeridas.

2.4.3.1 Temperatura

La variación de la temperatura tiene un papel importante en la respuesta de las aleaciones con memoria de forma, de ella depende la fase predominante y su comportamiento.

La temperatura también está relacionada con el esfuerzo crítico de transformación que indica la capacidad de resistencia de la aleación frente a incrementos de carga o variaciones de temperatura. Esta relación está descrita por la ecuación de

Clausius-Clapeyron que permite determinar el esfuerzo crítico de transformación en función de la temperatura.

$$\frac{d\sigma}{dM_s} = -\frac{\Delta H}{T \cdot \varepsilon_0} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

σ = Esfuerzo crítico de transformación

M_s = Temperatura de la transformación martensítica

ΔH = Calor latente de transformación o entalpia de transformación

T = Temperatura ambiente

ε_0 = Deformación inicial de la transformación

En el diagrama de esfuerzo-temperatura de la figura 6, se aprecian las zonas de estabilidad de las fases martensítica y austenítica. En esta figura se establece la trayectoria correspondiente al efecto superelástico, donde se parte de una muestra austenítica y se transforma en martensita cuando el esfuerzo sobrepasa el valor crítico (Salcido, 2007).

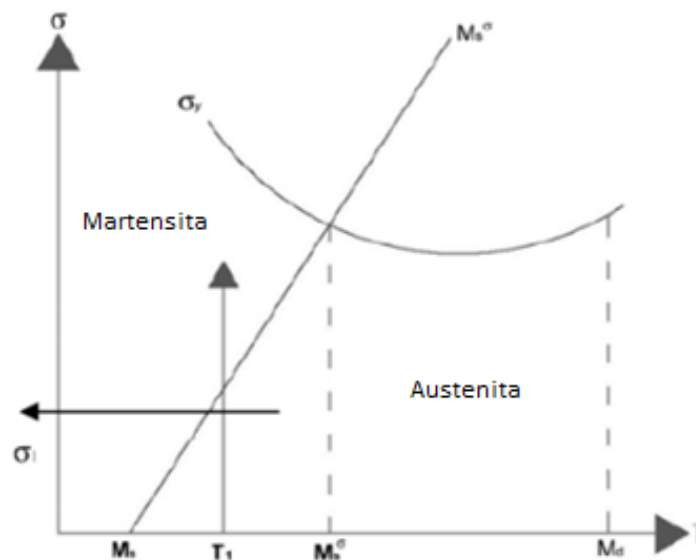


Figura 6. Esfuerzo crítico de transformación (Fuente: Salcido, 2007).

2.4.3.2 Frecuencia y velocidad de aplicación de la carga

Es posible observar en algunas aleaciones una dependencia con respecto a la velocidad con la que se aplican las cargas, lo que puede influir de manera importante en el comportamiento mecánico de éstas.

Se ha reportado, en base a estudios anteriores, que conforme se incrementa la velocidad de aplicación de carga se reduce el valor del esfuerzo máximo alcanzado en cada ciclo, lo cual implica una reducción en el amortiguamiento las aleaciones debido al aumento en la frecuencia de la aplicación de la carga.

2.4.3.3 Amplitud

El amortiguamiento dado por cierto elemento estructural depende directamente del material del cual está constituido. Al aumentar las deformaciones plásticas en el material la disipación aumenta, por lo que el incremento en la amplitud de la onda sinusoidal de la carga aplicada que produce los desplazamientos intermoleculares en el material será la principal razón para el incremento del amortiguamiento.

2.4.3.4 Tamaño de grano

Una estructura de tipo granular está compuesta por dos partes: los granos y las fronteras intergranulares. Existen fallas de tipo intragranular (en los granos) e intergranulares (en las fronteras). Ambas fallas no pueden coexistir debido a que la intragranular se debe a que es más resistente el interior de los granos y viceversa.

En las aleaciones con memoria de forma el tamaño de grano es una variable importante que se debe tomar en cuenta ya que afecta directamente a la ductilidad disponible. Una aleación con memoria de forma cuya microestructura tiene granos relativamente grandes (>1 mm) puede desarrollar una falla frágil y por lo tanto baja o nula ductilidad. Además, la resistencia a la fatiga es notablemente menor que el de una muestra en la que los granos de la estructura son muy pequeños ($\ll 1$ mm) (Salcido, 2007).

2.4.4 Diagrama de fase Binario Cu-Zn

En un material, una fase es una región que difiere en su microestructura y/o composición, de otra región. Los diagramas de fase son representaciones gráficas de las fases que existen en un sistema de materiales a varias temperaturas,

presiones y composiciones. Los diagramas, en su mayoría, se han construido en condiciones de equilibrio y son utilizados por ingenieros y científicos para entender y predecir muchos aspectos del comportamiento de los materiales (Smith, 2006).

Las aleaciones cobre-zinc, figura 7, con menos del 40% de Zn forman soluciones sólidas monofásicas de zinc en cobre, con las propiedades correspondientes a la estructura cristalina C.C.C. del cobre. Las propiedades mecánicas aumentan conforme se eleva el contenido en Zn, sin disminución apreciable del alargamiento o ductilidad. En el rango de composiciones entre el 35 y 40% de Zn, la aleación forma una segunda fase β que sufre una transformación eutectoide al disminuir la temperatura. Es por esto último que el contenido de Zn se limite al 35% para obtener una estructura monofásica que puede ser conformada en frío y por lo tanto endurecida por deformación. La adición de manganeso a la aleación proporciona una elevada resistencia de forma que a esta aleación se denomina bronce al manganeso (Gibson, 2008).

En la figura 7, se observa las fases presentes en el diagrama cobre-zinc cuya nomenclatura es la siguiente:

α = Solución primaria de Cu, FCC. Fase clara en solución en la matriz de austenita. Fase maleable a temperatura ambiente.

β = Fase austenítica desordenada de alta temperatura, ordenamiento tipo B2 \rightarrow 9R (martensita), cristal FCC. Fase menos clara, correspondiente a la matriz. Fase maleable a altas temperaturas.

γ = Fase cúbica inmersa en la perlítica y alrededor de la solución primaria. Fase de color oscuro.

$\alpha + \beta$ = Estructura eutectoide característica o Perlita.

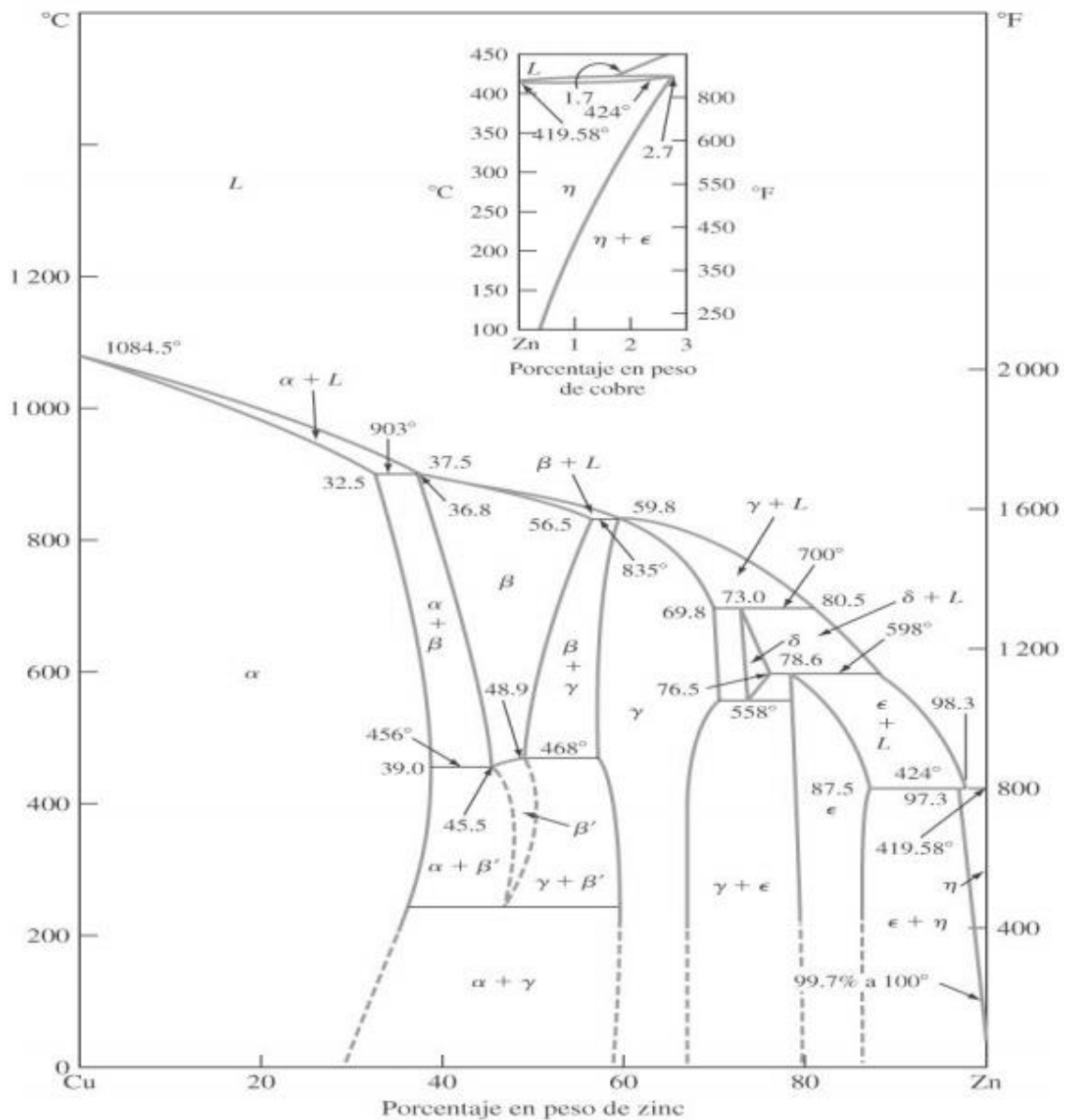


Figura 7. Diagrama de fases binario Cu-Zn (Fuente: Gibson, 2008).

2.4.5 Propiedades del cobre

El cobre es un metal no ferroso, se presenta de un color rojizo característico, cuyas propiedades más importantes son: alta conductividad eléctrica y térmica, buena resistencia a la corrosión, buena maquinabilidad, alta resistencia mecánica y facilidad de fabricación, además el cobre es no magnético, puede ser soldado con latón y soldado con estaño. Varias de estas propiedades pueden ser mejoradas mediante una aleación adecuada. La mayor parte del cobre se utiliza para conductores eléctricos ya que contienen el 99.99 % de pureza.

El cobre es muy tenaz, dúctil, y se suelda bien, y muchas de sus aleaciones se caracterizan por una conveniente asociación de resistencia mecánica y ductilidad, si bien el trabajo mecánico continuado endurece el material con una disminución de la ductilidad, lo cual hace que la deformación resulte progresivamente más difícil. Extraído de diferentes bibliografías se elabora una recopilación de características del cobre, resumidas en la tabla 2 (Callister, 2007).

2.4.6 Propiedades del zinc

El zinc puro tiene una temperatura de recristalización inferior a la ambiente, de modo que se auto recuece y no puede endurecerse por trabajo a temperatura ambiente. Entre las aplicaciones típicas se incluyen cascos estirados para pilas, arandelas, como elemento aleante en fundiciones, como recubrimiento superficial del acero para evitar la corrosión. Es más anódico que el acero, y en una atmósfera corrosiva al realizar el zincado, actúa como ánodo de sacrificio. De este modo, el zinc se consume mientras se protege el acero de cualquier ataque químico. El óxido de zinc se utiliza en la manufactura del cemento dental, esmaltes, vidrios, barnices, fósforos, pinturas, cerámicos, artículos de hule, llantas, etc. En la tabla 2 se muestran las propiedades del zinc (Ortega, 1990).

Tabla 2. *Propiedades del cobre y zinc.*

Nombre del elemento	Cobre	Zinc
Símbolo químico	Cu	Zn
Número atómico	29	30
Grupo	11	12
Periodo	4	4
Aspecto	Rojizo y brillo metálico	Azul pálido grisáceo
Densidad	8960 kg/m ³	7140 kg/m ³
Masa atómica	63.536 u	65.406 u
Radio atómico	145 pm (radio de bohr)	142 pm (radio de bohr)
Radio de van der Waals	140 pm	139 pm
Electrones por capa	2,8,18,1	2,8,18,2
Estados de oxidación	1,2,3,4	2
Estructura cristalina	FCC	Hexagonal
Estado	sólido	sólido

Nombre del elemento	Cobre	Zinc
Punto de fusión	1357.77K (1084.62°C)	692.68 K (420°C)
Punto de ebullición	3200 K (2927°C)	1180 K (907°C)
Electronegatividad	1.9	1.6
Calor específico	385 J/(K*Kg)	390 J/(K*Kg)
Conductividad eléctrica	58.108x10 ⁶ S/m	16.6x10 ⁶ S/m
Conductividad térmica	400 W/(K*m)	116 W/(K*m)

(Fuente: La Autora)

2.4.7 Fundición

La fundición es un proceso de manufactura que tiene como objetivo producir una pieza por vaciado del material fundido dentro de una cavidad seleccionada. La superficie interna de esta cavidad llamada molde tiene la forma en negativo de la pieza.

Después de la solidificación, la pieza es extraída del molde. Las piezas fundidas pueden ser de forma simple (como en el caso de lingotes y las palanquillas) o compleja, en cuyo caso el proceso se denomina fundición de formas. La fundición se puede usar para fabricar piezas pequeñas o muy grandes (Groover, 2007)

2.4.7.1 Proceso de moldeo

El proceso de moldeo se define como el conjunto de operaciones necesarias para poder preparar un molde. A continuación se describen algunos procesos de moldeo:

- Moldeo en arena verde

Este es el proceso más común, y para realizarlo se utiliza un modelo de madera, metal o yeso. Los modelos más comunes se llaman divididos y están formados por dos piezas llamadas porciones superior e inferior, las cuales se originan al dividir el modelo a lo largo de un eje de simetría, el modelo y la pieza tienen dimensiones y formas similares, pero no idénticas.

Cuando las piezas tienen superficies internas, se utilizan los machos o corazones. Los machos están fabricados de madera o arena, tienen la forma de la superficie interna de la pieza y se colocan dentro del molde antes de cerrar la caja de moldeo (figura 8).

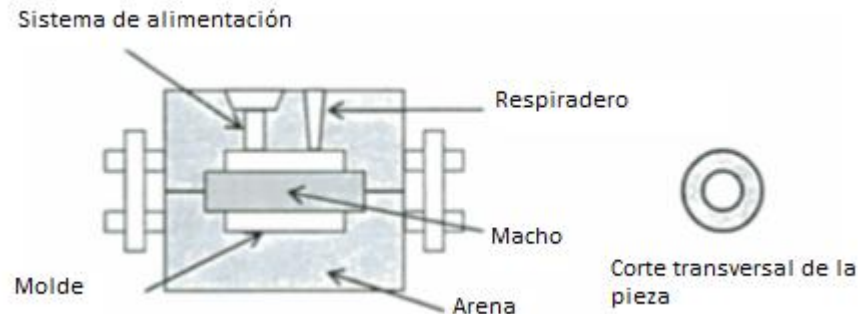


Figura 8. Molde de arena verde y sección transversal de la pieza final (Fuente: Pazos, 2007).

- Moldeo en molde metálico

En este caso se usan moldes de acero, fundición de hierro o bronce, los cuales se obtienen por fundición y maquinado posterior hasta alcanzar las dimensiones finales. Los sistemas de alimentación se fabrican durante el proceso de maquinado. Los moldes están formados por dos cajas articuladas con bisagras. Los corazones son de arena o metal y se insertan en el molde antes de cerrarlo.

- Moldeo de precisión

En este proceso se utiliza un modelo de cera obtenido por fundición en molde metálico. El modelo es usualmente fundido junto con el sistema de alimentación. La cera puede ser parafina.

Luego el conjunto formado por el modelo y el sistema de alimentación es sumergido en una lechada de partículas cerámicas suspendidas en una solución cerámica. Esta suspensión se solidifica sobre el conjunto, el cual queda revestido con un recubrimiento cerámico. La inmersión se repite hasta obtener un espesor de recubrimiento determinado.

El conjunto se vierte de tal forma que la entrada al sistema de alimentación quede ubicada en la parte inferior, se vacía sobre esta mezcla de moldeo de precisión y se deja secar. La mezcla mencionada está constituida principalmente por arena, agua y otro componente, el cual puede ser alúmina, silicato de sodio o fosfato de calcio.

A continuación el conjunto es calentado en posición invertida hasta una temperatura de 100°C, con lo cual el modelo y el sistema se funden y escapan del molde cerámico. La cera puede reciclarse. El revestimiento obtenido a partir de la mezcla de moldeo es el molde generado en este proceso (Pazos, 2006).

2.4.7.2 Sistema de alimentación

Los objetivos de este sistema son los siguientes:

- Llenar el molde rápidamente
- Reducir la agitación y la turbulencia del metal fundido.
- Impedir la entrada de impurezas, arena removida del molde y otros contaminantes al molde.
- Evitar la entrada al molde de aire aspirado o gases producidos durante la solidificación.
- Evitar la erosión del molde o del macho debido a la alta velocidad del metal fundido.
- Facilitar el vaciado del metal fundido.

2.4.7.2.1 Componentes del sistema de alimentación

a) Recipiente de colada.

El recipiente de colada es el sitio de vaciado del metal fundido. El recipiente está diseñado para evitar turbulencia y salpicaduras durante el proceso de vaciado, además, promueve la entrada de metal limpio al bebedero, pues usualmente está provisto de mallas, tapones o pantallas.

b) *Bebedero*

Este componente tiene forma de tronco de cono. Como el radio mayor de este tronco se encuentra a mayor altura que el radio menor, la presión aumenta hacia abajo, la cual impide la entrada de gases al molde y, por lo tanto, la presencia de defectos en la pieza fundida.

La disminución de radio también aumenta la energía cinética del metal líquido, con lo cual se evita que el metal solidifique antes de entrar en el molde.

c) *Pozo*

El pozo tiene un área de sección transversal mayor que el área inferior del tronco de cono, por lo cual la energía cinética del metal fundido disminuye en esta sección. Como consecuencia, las inclusiones presentes en el fluido se depositan en el fondo por diferencia de densidad por lo tanto no entran al molde, así la pieza obtenida tendrá menor cantidad de inclusiones que otra en ausencia del pozo. Algunas veces se colocan filtros o mallas en esta sección para mejorar la capacidad para retener inclusiones.

d) *Canal de alimentación*

Esta sección en forma de conducto hace que el metal líquido tenga una velocidad uniforme a lo largo del molde.

e) *Compuertas*

Se utilizan para distribuir el metal fundido a lo largo de la pieza (figura 9).

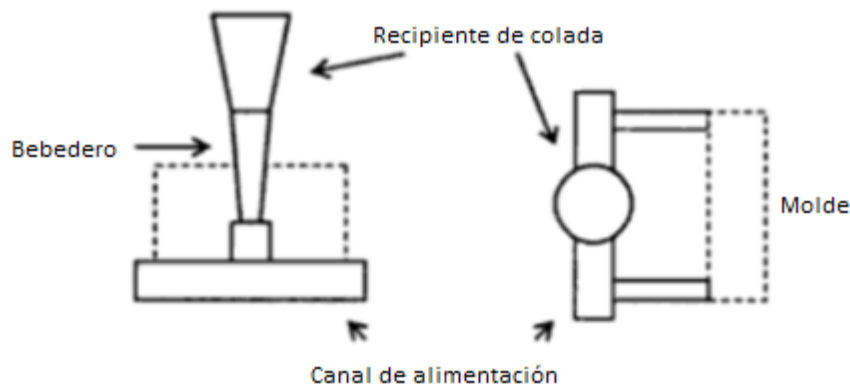


Figura 9. (a) Vista frontal y (b) Vista superior del sistema de alimentación (Fuente: Pazos, 2006).

2.4.7.3 Mazarota

La mazarota es un volumen adicional que algunas veces se conecta al sistema de alimentación para minimizar la concentración por solidificación de la pieza. Este volumen se ubica entre el canal de alimentación y el molde, por lo cual es el último espacio en llenarse de metal fundido y en solidificar.

Debido a esto, la mazarota actúa como un depósito de material adicional para el molde y, en consecuencia, evita la contracción por solidificación de la pieza. Como es el último volumen en solidificar, la concentración por solidificación ocurre muchas veces en el interior de la mazarota.

2.4.7.4 Respiradero

En el proceso de solidificación se generan gases como el hidrógeno y el oxígeno. La solubilidad de estos gases en el sólido es menor que en el metal fundido. Por esta razón, en el proceso de solidificación el exceso de gases tiende a combinarse para formar moléculas, las cuales quedan atrapadas en el sólido y provocan la aparición de defectos en la pieza fundida. Adicionalmente, en el proceso de vaciado puede ocurrir la aspiración de gases a través del sistema de alimentación. Para facilitar la salida de los gases, se moldean canales y orificios adicionales en el molde, los cuales reciben el nombre de respiraderos (Pazos, 2006).

2.4.8 Fundición por inducción

En primer lugar, conviene recordar que la inducción es un método de calentamiento sin contacto ni llama, que puede poner al rojo vivo, en segundos, una sección determinada de una barra metálica con gran precisión.

El calentamiento por inducción se emplea industrialmente para múltiples aplicaciones como tratamientos térmicos, principalmente temple, revenido y normalizado por inducción; generación de plasma; procesos de unión como braseado y soldadura, forja y, por supuesto, fundición por inducción.

La fundición por inducción es extremadamente rápida, limpia y uniforme; cuando se realiza correctamente, es tan limpia que permite omitir la fase de purificación necesaria con otros métodos. El calor uniforme inducido en el metal también contribuye a un resultado final de alta calidad, ya que los sistemas y hornos de inducción modernos tienen avanzadas características tecnológicas y ergonómicas, lo cual no sólo hacen los lugares de trabajo más seguros, sino que además aumentan la productividad y logran un proceso de fusión más rápido y más cómodo.

2.4.8.1 Hornos de inducción

Los hornos de inducción son equipos eléctricos que utilizan una corriente inducida para fundir la carga (material). Es decir, consisten en una unidad de potencia o inversor que inyecta corriente de frecuencia alterna y variable a una bobina, la cual contiene una sección de cobre reforzado y alta conductividad maquinada en forma helicoidal; la corriente que pasa por la bobina forma un campo electromagnético.

La fuerza y magnitud de este campo varía en función de la potencia y corriente que pasa a través de la bobina y su número de espiras. La energía calorífica se logra por efecto la corriente alterna y el campo electromagnético que generan corrientes secundarias en la carga; el crisol es cargado con material, que puede ser chatarra, lingotes, retornos, virutas u otros. Cuando el metal es cargado en el horno, el campo electromagnético penetra la carga y le induce la corriente que lo funde; una vez la carga esta fundida, el campo y la corriente inducida agitan el metal, la agitación es producto de la frecuencia suministrada por la unidad de potencia, la geometría de la bobina, densidad, permeabilidad magnética y resistencia del metal fundido (Botero, 2000).

2.4.8.2 Crisoles

Crisoles, estos hornos funden el metal sin que tenga contacto directo con una mezcla combustible. Por esta razón, en ocasiones se les llama hornos de combustible indirecto (Groover, 2007).

En las fundidoras se utilizan tres tipos de crisoles: a) móvil, b) estacionario y c) de volteo, los cuales se ilustran en la figura 10. Todos emplean un contenedor hecho de material refractario apropiado (por ejemplo, una mezcla de arcilla y grafito) o una aleación de acero de alta temperatura, para contener la carga. En el crisol móvil, éste se coloca en un horno y se calienta lo suficiente para derretir la carga de metal. Cuando el metal se derrite, el crisol se eleva fuera del horno y se usa como cuenco de vertido. Los otros dos tipos, que en ocasiones reciben el nombre de hornos de vasija, tienen el horno para calentar y el contenedor como unidad integrada. En el horno de crisol estacionario, el horno es estacionario y el metal fundido se extrae del contenedor con un cucharón. En el horno de crisol de volteo, todo el conjunto se inclina para hacer el vertido. Los crisoles se emplean para metales no ferrosos tales como bronce, latón y aleaciones de zinc y aluminio. Las capacidades de los hornos por lo general están limitadas a varios cientos de libras.

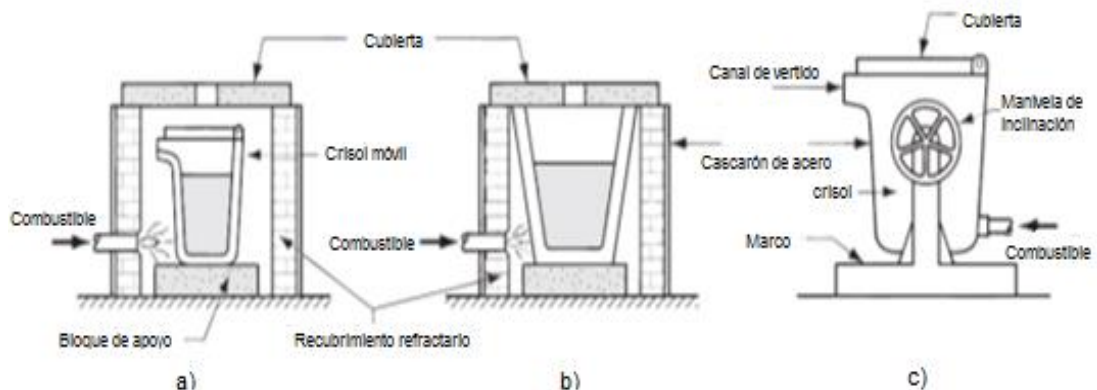


Figura 10. Tipos de crisoles: (a) crisol móvil, (b) crisol estacionario, (c) crisol de volteo (Fuente: Groover, 2007).

2.4.9 Ensayos y Propiedades Mecánicas

El primer paso en el proceso de selección requiere que se analice la composición de la aleación, a fin de determinar las características más importantes que el material debe poseer. Una vez, conocidas las propiedades requeridas, se puede dar la aplicación industrial apropiada, se debe sin embargo conocer cómo se llega a las propiedades incluidas en los manuales, lo que dichas propiedades significan y tomar en cuenta que las propiedades listadas se obtienen a partir de ensayos y pruebas ideales que pudieran no ser exactamente aplicables a casos o aplicaciones ingenieriles de la vida real.

2.4.9.1 Ensayo de tracción

El ensayo de tracción mide la resistencia de un material a una fuerza estática o gradualmente aplicada. Un dispositivo de ensayo aparece en la figura 11, una probeta típica tiene un diámetro de 0.505 pulg y una longitud calibrada de 2 pulg. La probeta se coloca en la máquina de pruebas y se le aplica una fuerza F , que se conoce como carga. Para medir el alargamiento del material causado por la aplicación de la fuerza en la longitud calibrada se utiliza un extensómetro (Askeland, 2011).

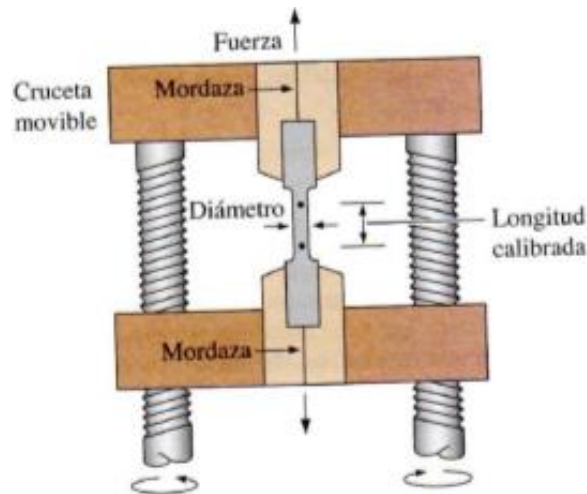


Figura 11. Máquina Universal para el ensayo de Tensión (Fuente: Askeland, 2011).

- **Esfuerzo y deformación ingenieriles**

Para un material dado, los resultados de un solo ensayo son aplicables a todo tamaño y formas de muestras, si se convierte la fuerza en esfuerzo y la distancia entre marcas calibradas en deformación. El esfuerzo y la deformación ingenieril se definen a través de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Esfuerzo ingenieril } \sigma = \frac{F}{A_o} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$\text{Deformación ingenieril } \varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

A_o = Es el área original de la sección transversal de la probeta antes de iniciarse el ensayo.

l_o = Es la distancia original entre marcas calibradas.

l_f = Es la distancia entre marcas calibradas después de haberse aplicado la fuerza

Las conversiones de carga-longitud calibrada a esfuerzo-deformación aparecen en la tabla 3. La curva esfuerzo-deformación se utiliza para registrar los resultados del ensayo de tensión (figura 12).

Tabla 3. Resultado de un ensayo de tensión de una barra de aleación de aluminio de 12.75 mm (0.505 pulg) de diámetro.

Carga (lb)	Medido		Calculado	
	Longitud calibrada (plg)	Esfuerzo (psi)	Deformación (plg/plg)	
0	2.000	0	0	
1000	2.001	5000	0.0005	
3000	2.003	15000	0.0015	
5000	2.005	25000	0.0025	
7000	2.007	35000	0.0035	
7500	2.030	37500	0.0150	
7900	2.080	39500	0.0400	
8000 (carga máxima)	2.120	40000	0.0600	
7950	2.160	39700	0.0800	
7600 (fractura)	2.205	38000	0.1025	

(Fuente: Askeland, 2011)

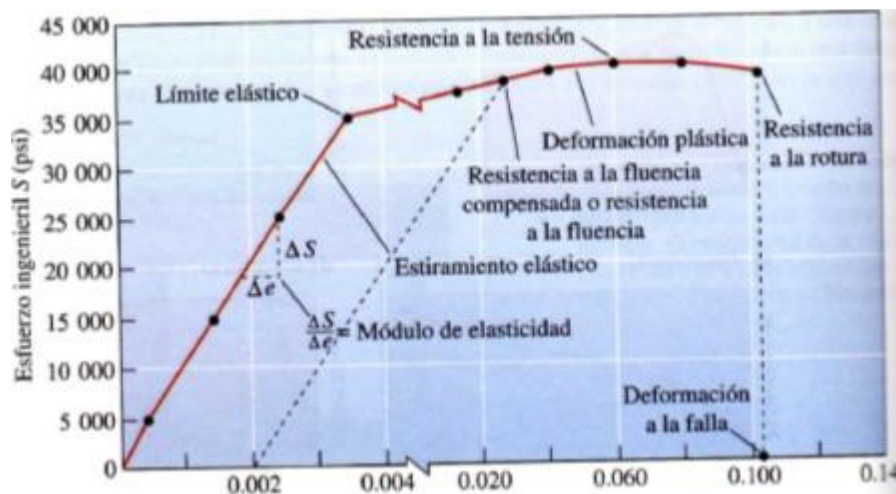


Figura 12. Curva esfuerzo-deformación correspondiente a una aleación de aluminio de la tabla 3 (Fuente: Askeland, 2011).

- **Límite Elástico**

El límite elástico es un dato muy importante para el diseño de estructuras en ingeniería puesto que es la tensión a la cuál un metal o aleación muestra deformación plástica significativa. Debido a que no hay un punto definido en la

curva de tensión deformación donde acabe la deformación elástica y se presente la deformación plástica se elige el límite elástico cuando tiene lugar un 0,2% de deformación plástica.

- **Resistencia máxima a la Tensión**

El esfuerzo obtenido de la fuerza más alta aplicada es la resistencia a la tensión, que es el esfuerzo máximo sobre la curva esfuerzo-deformación. En muchos casos materiales dúctiles, la deformación no se mantiene uniforme. En cierto momento una región se deforma más que otras y ocurre una reducción local de importancia en la sección recta (Figura 13). Esta región localmente deformada se conoce como zona de estricción (encuellamiento). Dado que el área de la sección transversal en este punto se hace más pequeña, se requiere una fuerza menor para continuar su deformación, y se reduce el esfuerzo, calculado a partir del área original A_0 . La resistencia a la tensión es el esfuerzo al cual se inicia este encuellamiento o estricción en materiales dúctiles.

$$S_{ut} = \frac{\text{carga máxima}}{\text{área de la sección transversal original}} \quad \text{Ec. (4)}$$



Figura 13. Deformación localizada durante el ensayo de tracción de un material dúctil produciendo una región de encuellamiento (Fuente: Askeland, 2011).

- **Ductilidad**

La ductilidad mide el grado de deformación que puede soportar un material sin romperse. Se puede medir la distancia entre las marcas calibradas en una probeta

antes y después del ensayo. El porcentaje de elongación presenta la distancia que la probeta se alarga plásticamente antes de la fractura.

$$\% \text{ de elongación} = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

l_f = distancia entre las marcas calibradas después de la ruptura del material.

Un segundo método para medir la ductilidad es calcular el cambio porcentual en el área de la sección transversal en el punto de fractura antes y después del ensayo. El porcentaje de reducción en área expresa el adelgazamiento sufrido por el material durante la prueba:

$$\% \text{ de reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

A_f = Área de la sección transversal en la superficie de la fractura.

La ductilidad es importante tanto para los diseñadores como para los fabricantes. El diseñador de un componente preferirá un material que tenga por lo menos cierta ductilidad, de manera que si el esfuerzo aplicado resulta demasiado alto, el componente se deforme antes de romperse. Los fabricantes también prefieren un material dúctil, a fin de manufacturar formas complicadas sin que se rompan durante el proceso (Askeland, 2011).

2.4.9.2 Ensayo de dureza

La dureza es una medida de la resistencia de un metal a la deformación permanente (plástica). La dureza de un metal se mide forzando la indentación de un penetrador en la superficie del metal. El penetrador, que normalmente es una bola, pirámide o cono, está fabricado con un material mucho más duro que el material a ensayar. Por ejemplo, el material empleado en estos penetradores suele

ser acero templado, carburo de tungsteno o diamante. En la mayoría de los ensayos de dureza normalizados se aplica lentamente una carga conocida, que presiona el penetrador contra la superficie del metal a ensayar y perpendicularmente a ésta (figura 14-2). Después de producir la indentación, se retira el penetrador (figura 14-3). Se calcula o se leen un dial un número empírico de dureza basado en el área del corte transversal de la huella producida o en su profundidad.

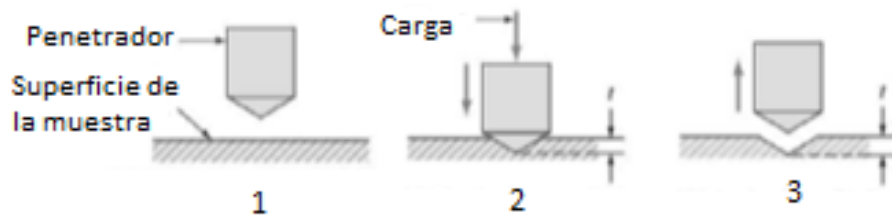
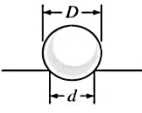

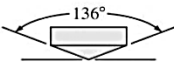

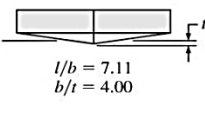
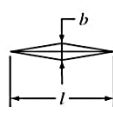
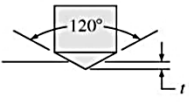

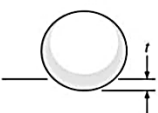



Figura 14. Etapas para la medida de la dureza con un penetrador cónico de diamante. La profundidad t determina la dureza del metal. A menor valor de t , mayor dureza del material. 1) Penetrador por encima de la muestra, 2) Penetrador sometido a carga penetra en la superficie de la muestra, 3) Penetrador retirado de la superficie de la muestra dejando una huella de identificación (Fuente: Smith, 2006).

El ensayo de dureza Rockwell constituye el método más usado para medir la dureza debido a que es muy simple de llevar a cabo y no requiere conocimientos especiales. Se pueden utilizar diferentes escalas que provienen de la utilización de distintas combinaciones de penetradores y cargas, lo cual permite ensayar prácticamente cualquier metal o aleación.

En la tabla 4, se muestran los tipos de penetradores y los tipos de huellas producidas asociados a cuatro ensayos de dureza comunes: Brinell, Vickers, Knoop y Rock-well. El número de dureza para cada uno de estos ensayos depende del penetrador y de la carga aplicada. (Smith, 2006).

Tabla 4. Tipos de penetradores y tipos de huellas producidas, asociados a cuatro ensayos de dureza comunes: Brinell, Vickers, Knoop y Rock-well.

Ensayo	Penetrador	Forma del penetrador		Carga	Fórmula del número de dureza
		Vista lateral	Vista en planta		
Brinell	Esfera de 10 mm fabricada de acero o carburo de wolframio			P	$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Pirámide de diamante			P	$VHN = \frac{1.72P}{d_1^2}$
Microdureza Knoop	Pirámide de diamante			P	$KHN = \frac{14.2P}{l^2}$
Rockwell					
A } C } D }	Cono de diamante			60 kg $R_A =$ 150 kg $R_C =$ 100 kg $R_D =$	100-500f
B } F } G }	Esfera de acero de 1/16 pulgadas			100 kg $R_B =$ 60 kg $R_F =$ 150 kg $R_G =$	
E	Esfera de acero de 1/8 pulgadas			100 kg $R_E =$	130-500f

(Fuente: Smith, 2006)

La dureza de un metal se mide según sea la facilidad con que puede ser deformada plásticamente. Por tanto, se puede determinar una relación experimental entre la dureza y la resistencia para cada metal en particular. El ensayo de dureza es mucho más simple que el ensayo de tracción y puede ser no destructivo (es decir, la presencia de una pequeña huella no impide la utilización del objeto ensayado). Por estas razones, es común la utilización del ensayo de dureza en el control de calidad de procesos industriales (Smith, 2006).

Los índices de dureza se utilizan principalmente como base de comparación de materiales; de sus especificaciones para la manufactura y tratamiento térmico, para el control de calidad y para efectuar correlaciones con otras propiedades de los mismos. Por ejemplo, la dureza Brinell según Callister está relacionada estrechamente con la resistencia a la tracción del acero mediante la relación siguiente:

$$S_{ut} = 500 HB [psi] \quad Ec. (7)$$

Según Shigley: Para aceros la relación entre la Resistencia última a la tracción y la dureza Brinell para una dureza de $200 \leq HB \leq 450$ se define como:

$$S_{ut} = \begin{cases} 495 HB [psi] \\ 3.41 HB [MPa] \end{cases} \quad Ec. (8)$$

Se puede obtener un índice de dureza Brinell en unos cuantos minutos sin preparar ni destruir el componente; y obteniendo una buena aproximación de su resistencia a la tensión.

La dureza se relaciona con la resistencia al desgaste. Los dientes de los engranes en la transmisión o en el sistema impulsor de un vehículo deberá ser lo suficientemente duros para que no se desgasten. Generalmente se encuentra que los materiales poliméricos son excepcionalmente blandos, los metales son de dureza intermedia y los cerámicos son excepcionalmente duros (Callister, 2007).

2.4.9.3 Ensayo Metalográfico

La metalografía estudia la estructura de los metales y sus aleaciones estas tienen un enorme campo de aplicación en las construcciones mecánicas y metálicas.

Los ensayos micrográficos se realizan sobre muestras o probetas de los materiales que han de ser sometidos a estudio, preparamos una superficie que luego de ser pulida convenientemente, se ataca con reactivos químicos apropiados a la finalidad de la determinación a realizar.

Se debe tener en cuenta, los tratamientos recibidos por la pieza en su fabricación, como forjado, laminado, recocido, temple, etc. pues en muchos casos (forjado y laminado) es beneficio contar con muestras en las distintas direcciones de sus fibras. Como se ha indicado, el estudio si se hace sobre superficies convenientemente preparadas de dichas muestras o probetas. Esta preparación consistente en llegar a un pulido casi perfecto, para lo cual se parte de un desbaste que podríamos llamar grueso, con el fin de aplanar la superficie, lo que se

consigue con un ajuste a lima o con el auxilio de devastadoras mecánicas de diseño especial.

Los reactivos químicos y sus finalidades son muy variadas, pero en principio se busca con ellos la revelación, por coloración o por corrosión, de los distintos componentes de una estructura metalográfica para poder diferenciarlos con facilidad. Por lo general, están constituidos por ácidos, álcalis, etc. diluidos en alcoholes, agua, glicerina, etc. Y su elección se hará de acuerdo con la naturaleza química la estructura a destacar en la muestra. Con tal fin, una vez pulida la superficie se hará en agua caliente, frotándola con un algodón o tela suave para quitarle todo rastro de las operaciones anteriores o grasa que pueda presentar, concluyendo esta limpieza con alcohol etílico o solvente similar y secándola con un soplado de aire caliente.

Las fotografías obtenidas de estos exámenes, genéricamente llamados “Microfotografías”, se logran con la ayuda del microscopio metalográfico, cuyos principios ópticos y de observación no difieren mayormente de los comunes. Con iluminación adecuada, se observa por reflexión (los rayos luminosos al incidir sobre el objeto se refleja hacia el ocular), la imagen de la superficie atacada, a través de un sistema de lentes con los que se amplifica según lo que requiera la observación

Por otra parte, con la observación de las estructuras micrográficas y por comparación con microfotografías, es posible determinar diferentes características de los materiales analizados como por ejemplo: el contenido aparente de carbono, finura y variedad de los componentes, clasificación de aceros, reconocer las inclusiones por defectos de fabricación.

Se sabe que existe cierta relación entre la tenacidad de los aceros y el tamaño de grano.

Siempre se han preferido los aceros de grano fino, porque las herramientas y piezas fabricadas con esos aceros, tiene mayor tenacidad que los fabricados con acero de grano grueso.

En metalografía a menudo es necesario establecer cuantitativamente valores diferentes tales como:

- El número de partículas o poros por unidad de volumen (las partículas se usan aquí en el sentido de partículas sueltas o unidades separadas de un constituyente en la matriz; granos y tamaños de grano se refieren a los cristales de la matriz y su tamaño).
- El tamaño de las figuras presentes en la probeta.
- El tamaño del grano del material.
- La fracción de volumen de las fases presentes en una probeta.

Generalmente, los cálculos de la fracción de volumen a partir de las mediciones cuantitativas sobre una superficie de un material opaco solamente puede, proporcionar valores aproximados. No obstante, este método es empleado casi sin excepción (Bramfitt & Bencoter, 2002).

2.4.9.4 Ensayo de impacto

Una fuerza externa aplicada a una estructura o a una parte de esta recibe el nombre de carga de impacto si el tiempo de aplicación es menor que $1/3$ del mínimo periodo natural de vibración de la pieza o estructura. De otro modo se llama simplemente carga estática.

Los ensayos de Izod y de Charpy utilizan barras de configuración especificada para determinar la fragilidad y la resistencia al impacto. Estas pruebas sirven para comparar varios materiales y determinar la fragilidad a baja temperatura. En los dos ensayos la probeta es golpeada por un péndulo que se suelta desde una altura fija y la energía absorbida por la muestra, llamada energía de impacto, se calcula a partir de la altura pendular después de la ruptura (Shigley, 2008).

Con frecuencia se utiliza un ensayo de impacto para evaluar la fragilidad de un material, en contraste con la prueba de tensión, en esta prueba la rapidez de deformación es mucho mayor.

La prueba de Izod se utiliza con frecuencia para los materiales plásticos. El espécimen de la prueba puede o no tener muesca; los especímenes con muesca en V miden mejor la resistencia del material a la propagación del agrietamiento. En esta prueba un péndulo pesado comienza a una elevación h_o , se balancea a través de su arco, golpea y rompe el espécimen y alcanza una elevación final menor h_f . Si se conocen las elevaciones inicial y final del péndulo, se puede calcular la diferencia de energía potencial. Esta diferencia es la energía de impacto absorbida por el espécimen durante la falla. Para la prueba de Charpy, la energía se expresa por lo general en pies-libras (ft*lb) o en joules (J), donde 1ft-lb =1.356 J. A la habilidad de un material para soportar un golpe de impacto con frecuencia se refiere como tenacidad de impacto del material. En algunas ocasiones se considera el área bajo la curva esfuerzo-deformación verdadero o ingenieriles como una medida de la tenacidad a la tensión (Askeland, 2011).

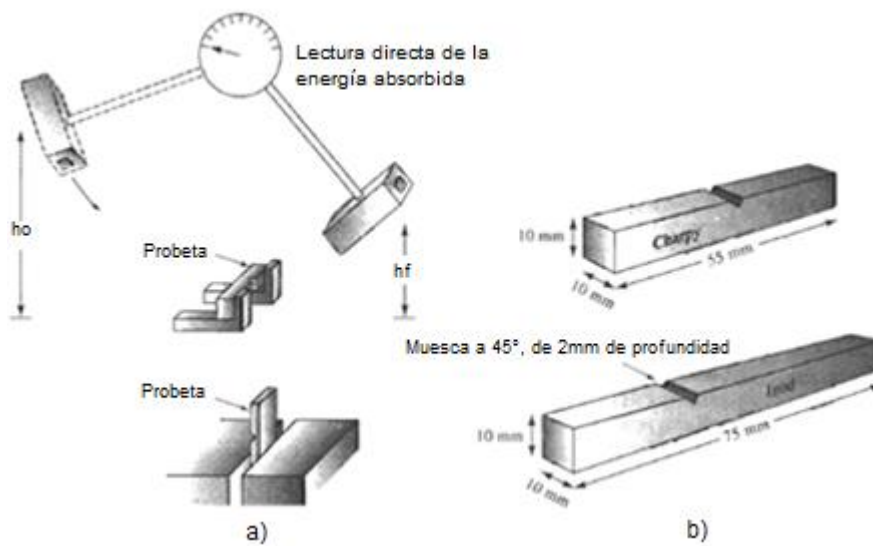


Figura 15. Prueba de impacto: a) Pruebas de Charpy e Izod y b) dimensiones de los especímenes comunes (Fuente: Askeland, 2011).

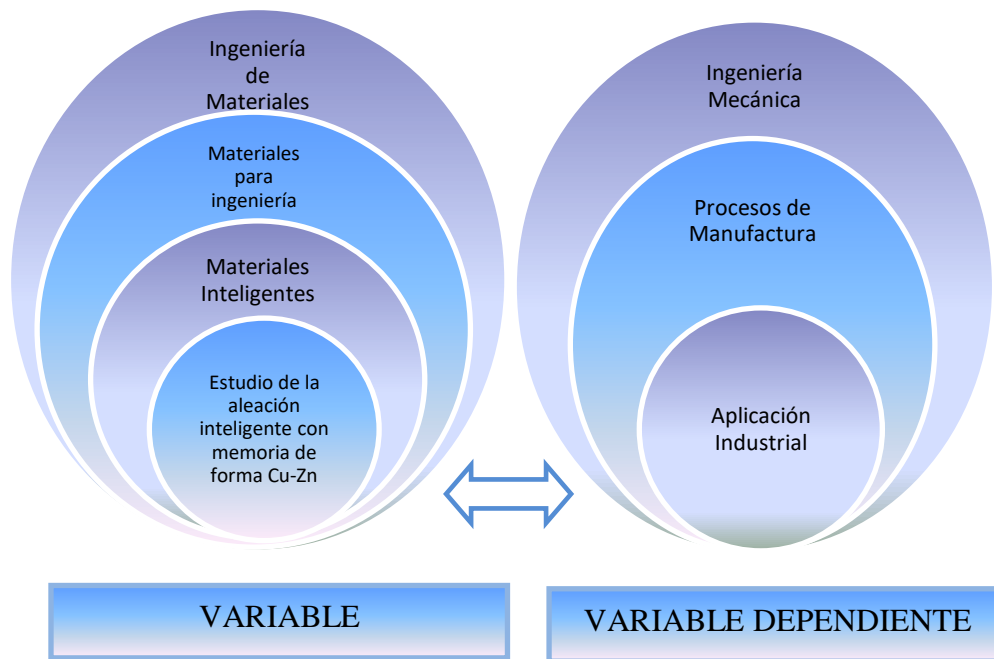


Figura 16. Categorías Fundamentales (Fuente: La Autora).

2.5 HIPÓTESIS

¿El estudio de la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn permitirá determinar una aplicación industrial?

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE:

El estudio de la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn

2.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE:

Aplicación Industrial

2.6.3 TÉRMINO DE RELACIÓN:

permitirá determinar

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

En el presente estudio se utilizó variables cuantitativas de tipo continuas porque se manejaron datos numéricos con fraccionamientos, los que a su vez fueron explicativos, porque se realizó varios ensayos para determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas que presenta la aleación inteligente con memoria de forma en base cobre (Cu-Zn) para sugerir una aplicación industrial, también se realizó una investigación cualitativa al utilizar las normas ASTM en su desarrollo. La información necesaria e indispensable para la realización del estudio provino principalmente de fuentes primarias y secundarias, y se realizó posteriormente el análisis de las mismas.

Las fuentes primarias nos proporcionaron información importante, las que fueron recolectadas en fuentes como en libros, tesis, artículos técnicos, documentales, internet, etc.

Las secundarias fueron resúmenes y listados de referencias que estén vigentes en determinadas áreas de estudio, así como personas entendidas en el tema que puedan brindar ayuda en base a su experiencia.

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

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 BIBLIOGRÁFICA

El estudio se lo realizó basándose en información obtenida en fuentes tales como libros, revistas, tesis, artículos técnicos e internet necesarios para una correcta investigación, bajo normas, para posteriormente realizar la comparación y verificación de las variables involucradas.

3.2.2 EXPERIMENTAL

En el estudio se realizó el análisis de las probetas en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, con ensayos como metalográfico, de dureza, de tracción, de impacto, químico, bajo normas, para poder garantizar la veracidad de los resultados obtenidos sobre la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn.

3.2.3 APLICADA

Es una investigación aplicada porque en base a los resultados obtenidos en la parte experimental se pudo dar una aplicación industrial para la aleación inteligente en estudio.

3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 EXPLORATORIA

Este tipo de estudio está dentro del primer nivel exploratorio de investigación, se realizó porque es un tema que no ha sido abordado con anterioridad, se ha destinado pocos recursos para el estudio en el campo de los materiales para ingeniería, y se pudo determinar las propiedades y la aplicación industrial para la aleación inteligente con memoria de forma en base cobre (Cu-Zn).

3.3.2 DESCRIPTIVA

El propósito de esta investigación fue la descripción de eventos y situaciones, para especificar, medir y evaluar las propiedades más relevantes del fenómeno en

análisis, la investigación también llegó al segundo nivel descriptivo debido a que se analizó diferentes variables como por ejemplo el procedimiento para obtener la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn, a la vez se evaluó propiedades para dar una aplicación dentro de la industria.

3.3.3 ASOCIACIÓN DE VARIABLES

La gran importancia de establecer una relación recíproca de las diferentes partes de la investigación (Variable dependiente e independiente), hizo que este tipo sea fundamental dentro de la misma, por lo que se pudo indicar el grado de dependencia entre los diferentes parámetros de estudio.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 POBLACIÓN

La población o universo de la presente investigación fueron lingotes cilíndricos y rectangulares de aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn, obtenidos por fundición en el horno de inducción y moldeados en arena en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

3.4.2 MUESTRA

La muestra se presenta en la tabla 5, donde se resume en detalle de los ensayos que se realizaron en la investigación, variando el contenido de zinc presente en la aleación.

Tabla 5. Probetas para realizar los ensayos de la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn.

TIPO DE ALEACIÓN	PRUEBA	ENSAYO	PROBETAS
Aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn	Prueba 1 53.25% Cu- 46.38% Zn	Metalográfico	2
		Dureza	2
		Tracción	5
		Químico	1
		Impacto	5

TIPO DE ALEACIÓN	PRUEBA	ENSAYO	PROBETAS
Aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn	Prueba 2 66.94% Cu- 32.7% Zn	Metalográfico	2
		Dureza	2
		Tracción	5
		Químico	1
		Impacto	5
	Prueba 3 64.23% Cu- 35.67% Zn	Metalográfico	2
		Dureza	2
		Tracción	5
		Químico	1
		Impacto	5
	Prueba 4 54.4% Cu- 45.11% Zn	Metalográfico	2
		Dureza	2
		Tracción	5
		Químico	1
		Impacto	5
	Prueba 5 59.32% Cu- 40.08% Zn	Metalográfico	2
		Dureza	2
		Tracción	5
		Químico	1
		Impacto	5

(Fuente: La Autora)

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE:

Aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn

Tabla 6. Variable Independiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTO
Una aleación inteligente con memoria de forma como la aleación de Cu-Zn es la que resiste deformaciones reversibles, debido a la aplicación de cargas mecánicas. Este efecto es posible debido a la existencia de una transformación martensítica la que se puede inducir cuando la carga aplicada supera un cierto valor crítico, al quitar la misma se produce una retransformación, recuperándose la forma inicial.	Elementos presentes en la aleación	Concentración de cada elemento en la aleación	Cu: (61.5- 58.5%) Zn: (38.5-41.5%)	Ensayo de fundición. Observación directa. Ficha de datos.
	Fundición de la aleación	Temperatura	(410°C-1200°C)	Ensayo de fundición. Observación directa. Ficha de datos.
	Agitado manual de la mezcla	Tiempo	(0s-60s)	Observación directa hoja de registro.
	Modelado de las Probetas	Tipos de modelado	Moldeo por arena	Observación directa hoja de registro.

(Fuente: La Autora)

3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE:

Aplicación Industrial

Tabla 7. Variable Dependiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTO
La aplicación industrial de una aleación con memoria de forma depende principalmente de las propiedades que a través de ensayos realizados bajo normas tenga aquella aleación, tales como: concentración de cada elemento, propiedades físicas, químicas y mecánicas, etc.	Metalografía	Microestructura Tamaño de grano	Determinación de fases Grueso- Fino	Ensayo de laboratorio. Observación directa. Ficha de datos.
	Dureza	Rockwell B Brinell	(30-100) HRB (50-250) HB	Ensayo de laboratorio. Observación directa. Ficha de datos.
	Tracción	Resistencia Última a la Tracción. Porcentaje de reducción de área. Porcentaje de elongación.	(100-600) MPa (1-5) % (1-8) %	Ensayo de laboratorio. Observación directa. Hoja de registro.
	Impacto	Energía de rotura	(0-50) Joules	Ensayo de laboratorio. Observación directa. Hoja de registro.

(Fuente: La Autora)

3.6 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

De acuerdo con la operacionalización de variables de la presente investigación se recolectó la información por medio de las siguientes técnicas con sus respectivos instrumentos:

Observación.- Con esta técnica se tomó las notas de todo lo que se consideró necesario para el desarrollo de la investigación, para describir los hechos de significación especial que ayudaron a tener una base informativa suficiente y veraz; se utilizó un cuaderno de notas para describir todo lo observado, además se anotó fechas, características, cantidades, también se utilizó como instrumento hojas de verificación los cuales indican el procedimiento para obtener la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn.

Documental.- Para el desarrollo de la investigación se necesitó recolectar información de libros, publicaciones, artículos técnicos, revistas, para tener apoyo científico y poder tabular los datos de los diferentes ensayos realizados en las probetas de la aleación Cu-Zn para determinar una aplicación industrial.

3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.7.1 PLAN DE PROCESAMIENTO

Los datos fueron recogidos y analizados de una manera crítica debido a que muchos podrían tener datos anómalos, razón por la cual tienen que ser separados.

Se utilizó varias fuentes para verificar la veracidad de la recolección de datos los cuales tuvieron una gran incidencia en el desarrollo del estudio.

Tabulación de los datos de acuerdo a los parámetros y a la relación que tienen con las variables de la hipótesis.

Se obtuvo la relación porcentual con respecto al total de los indicadores, con el resultado numérico y con el porcentaje se estructuró un cuadro de resultados que sirvió de base para graficar y entender las variaciones en cada prueba realizada.

Se representó de los resultados obtenidos a través de gráficas estadísticas.

3.7.2 PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para el análisis e interpretación de los resultados fue necesario realizar los ensayos que detallan a continuación:

- Análisis químico de cada prueba realizada con las diferentes composiciones de los elementos presentes en la aleación inteligente Cu-Zn.
- Análisis metalográfico de las diferentes probetas de la aleación resultante.
- Análisis del ensayo de dureza de todas las probetas obtenidas en cada una de las pruebas.
- Análisis de tracción, para determinar la resistencia última a la tracción, porcentaje de reducción de área, porcentaje de elongación.
- Ensayo de impacto de las diferentes probetas de la aleación resultante.
- Ensayos físicos de las probetas obtenidas.

Con el desarrollo de todos los ensayos se tabuló los resultados obtenidos, se comprobó la hipótesis y se presentó las conclusiones y recomendaciones respectivas para la investigación.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el presente estudio el material utilizado para la obtención de la aleación es el Cobre electrolítico con una pureza del 99.9 % (Anexo 1), y ánodos de Zinc planos con una pureza del 99.95 %, para todas las pruebas (Anexo 2).

A continuación se muestran los resultados de los ensayos pertinentes realizados en las diferentes pruebas y con la finalidad de obtener un correcto manejo de la información y de los resultados durante el desarrollo del trabajo de investigación, se ha establecido un diagrama del procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma Cu - Zn.

En la figura 17, se muestra el diagrama de procedimiento para la obtención de la aleación.

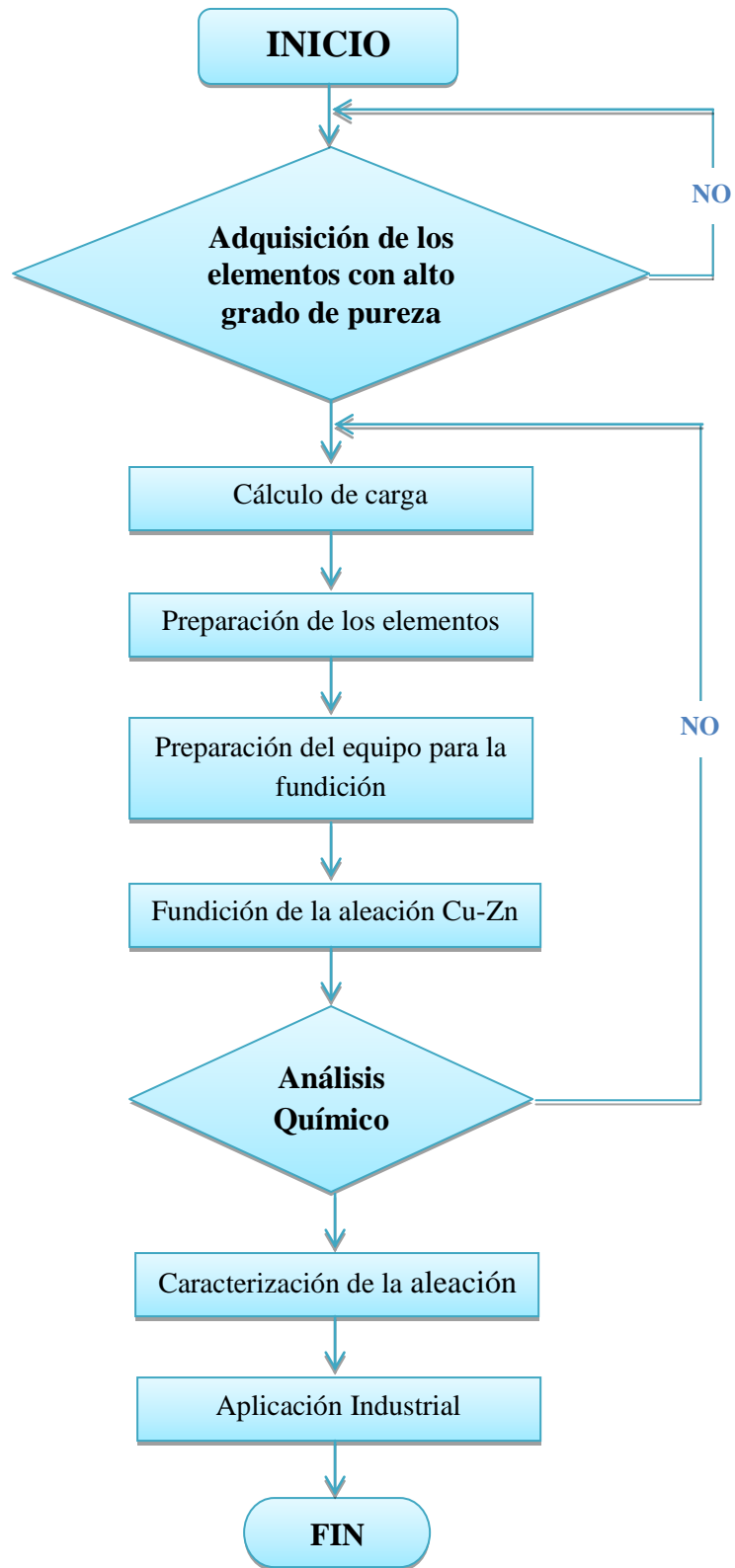


Figura 17. Diagrama de procedimiento para la obtención de la aleación Cu-Zn (Fuente: La Autora).

4.1.1 Prueba 1

La prueba 1, se realizó en un horno a gas en el laboratorio de fundición de la Escuela Politécnica de Chimborazo carrera de Ingeniería Mecánica como se muestra en la figura 18, los detalles se muestran a continuación:



Figura 18. Fundición en un horno a gas en la ESPOCH, prueba 1 (Fuente: La Autora).

Fecha de realización de la primera prueba: 21/03/2017

Hora de inicio: 7:40 am

Hora de finalización: 10:40 am

Para la primera prueba se realizó el cálculo de carga para 3000 gramos de aleación, con una pérdida por evaporación de Zinc del 20 % los mismos que se detallan a continuación:

- Cu: $3000 * 60\% = 1800$ gr.
- Zn: $3000 * 40\% = 1200$ gr +20 % de pérdidas= 1440 gr.

4.1.1.1 Análisis químico Prueba 1

Para la determinación de la composición química de la prueba 1 se utilizó un espectrómetro de Chispa Bruker Q2 ION, en el mismo se pudo obtener los siguientes resultados:

Tabla 8. Resultado del análisis químico prueba 1.

Elementos	Porcentaje de composición
Cu	53.25 %
Zn	46.38 %
Pb	0.066 %
Sn	0.156 %
P	0.020 %
Mn	0.011 %
Fe	0.023 %
Ni	0.012 %
Si	<0.0030 %
Al	<0.0020 %
S	<0.0030 %
As	0.032 %
Bi	<0.0050 %
Se	0.049 %

(Fuente: La Autora)

En la tabla 8, se puede observar la presencia de otros elementos químicos diferentes al Cobre y al Zinc, sin embargo sus cantidades en porcentajes son mínimas, esto se debe a que existe contaminación en el medio utilizado durante el proceso de la fundición.

4.1.1.2 Análisis Metalográfico Prueba 1

Para observar la estructura metalográfica obtenida se cuenta con un sistema de circuito cerrado de televisión el cual está formado por computador, cámara digital acoplada al microscopio, televisor y software, mismo que se encuentra en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



ANÁLISIS METALOGRAFICO

REG: E.M. 001

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	01
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 1 sin tratamiento térmico	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	23°C	Radiación:	No aplica
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	S/O

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	24°C	Superficie preparada en:	40 min
Ataque Químico de la superficie con:	Cobre y sus aleaciones	Durante:	120 seg

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA ALEACIÓN OBTENIDA CON UNA COMPOSICIÓN DE 53.25 % Cu y 46.38% Zn (100_X) SIN TEMPLAR



Aleación 53.25 % Cu y 46.38% Zn , Sin templar, 100X, Cobre y sus aleaciones, 120 seg.

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



ANÁLISIS METALOGRAFICO

REG: E.M. 002

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	02
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 1 templada	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

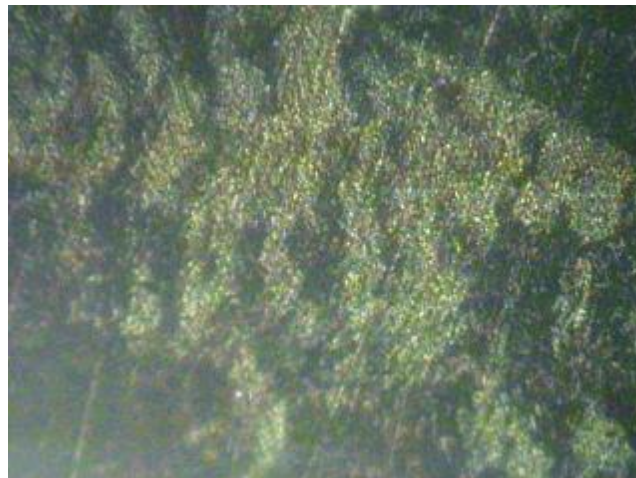
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	23°C	Radiación:	No aplica
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	S/O

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	24°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Cobre y sus aleaciones	Durante:	5 seg

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA ALEACIÓN OBTENIDA CON UNA COMPOSICIÓN DE 53.25 %Cu y 46.38% Zn (100_X) TEMPLADA



Aleación 53.25 %Cu y 46.38% Zn , Templada, 100X, Cobre y sus aleaciones, 5 seg.

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

REG: Ev.M. 001


Datos Informativos:

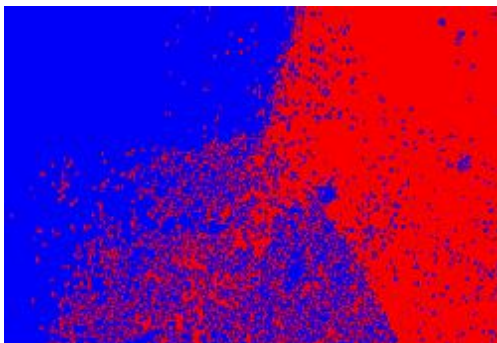
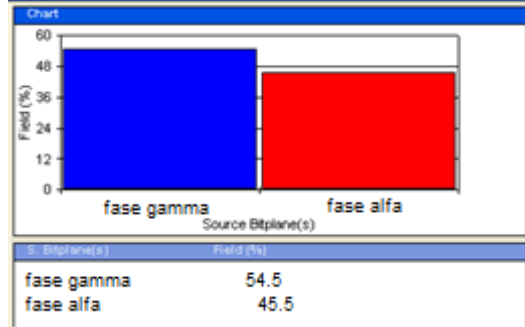
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	03
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 1 sin tratamiento térmico	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS DEL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	18°C	Magnificación:	100 X
Norma aplicada:	ASTM E112	Método:	Planimétrico

RESULTADO: Aleación 53.25 %Cu y 46.38% Zn (Sin tratamiento térmico)

Microestructura:	Cálculo:
	$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left(0 + \frac{3}{2} \right) = f * 1.5$ $f = 2 \text{ por Jeffries (100_X)}$ $NA = 2 * 1.5 = 3$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(3) - 2.954$ $G = -1.4 \approx 0$

Componentes Microestructurales	Porcentajes:						
	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Source Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fase gamma</td> <td>54.5</td> </tr> <tr> <td>fase alfa</td> <td>45.5</td> </tr> </tbody> </table>	Source Bitplane(s)	Field (%)	fase gamma	54.5	fase alfa	45.5
Source Bitplane(s)	Field (%)						
fase gamma	54.5						
fase alfa	45.5						

Observaciones: en la prueba 1, se presenta un 54.5 % de fase γ y un 45.5 % de fase α , con tamaño de grano ASTM de 0

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

REG: Ev.M. 002


Datos Informativos:

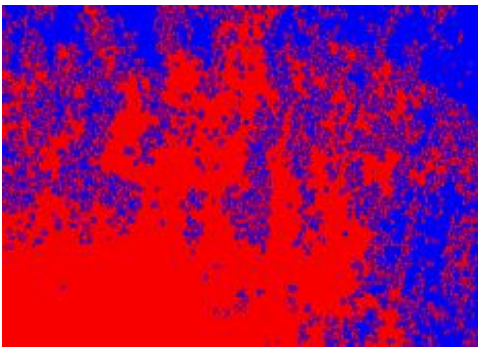
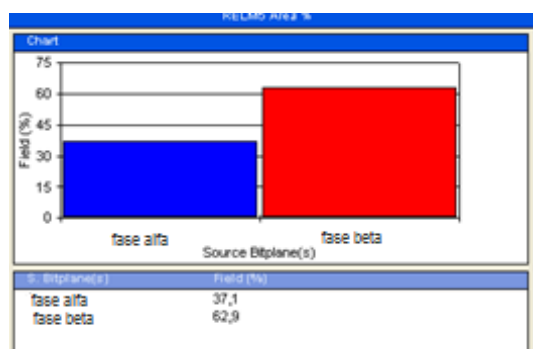
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	04
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 1 templada	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS DEL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	18°C	Magnificación:	100 X
Norma aplicada:	ASTM E112	Método:	Planimétrico

RESULTADO: Aleación 53.25 %Cu y 46.38% Zn (Templada a 835°C)

Microestructura:	Cálculo:
	$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} \right) = f \left(32 + \frac{23}{2} \right) = f * 43.5$ <p><i>f = 2 por Jeffries (100_X)</i></p> $NA = 2 * 43.5 = 87$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(87) - 2.954$ $G = 3.5$



Componentes Microestructurales	Porcentajes:						
	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Source Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fase alfa</td> <td>37,1</td> </tr> <tr> <td>fase beta</td> <td>62,9</td> </tr> </tbody> </table>	Source Bitplane(s)	Field (%)	fase alfa	37,1	fase beta	62,9
Source Bitplane(s)	Field (%)						
fase alfa	37,1						
fase beta	62,9						

Observaciones: en la prueba 1 templada a 835°C, se presenta un 37.1 % de fase α y un 62.9 % de fase β, con tamaño de grano ASTM de 3.5



Autora: Ximena Criollo

4.1.1.3 Ensayo de Dureza Prueba 1 sin tratamiento térmico

Para el ensayo de dureza se utiliza un durómetro el mismo que se encuentra en la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE) de Latacunga, con escala de dureza Rockwell B (HRB) con esfera de 1/16", precarga de 100 Kg y utilizando la norma ASTM E-18, los resultados se muestran en la ficha siguiente.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA 														
ENSAYO DE DUREZA		REG: E.D. 001												
Datos Informativos:														
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°: 05												
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 1 sin tratamiento térmico												
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha: 19/07/2017												
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de Materiales – ESPE Latacunga												
Equipo utilizado:		Durómetro ROCKWELL HARDNESS TESTER HR-150A												
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.												
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA														
Método:	Rockwell	Tipo: B												
Tipo de penetrador:		De esfera de acero 1/16 pulg.												
Cantidad de carga aplicada:	100 Kgf	Tiempo de ensayo: 20 min												
RESULTADO:														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Dureza (HRB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>58</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>52.5</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>56</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>52</td> </tr> </tbody> </table>			Medición	Dureza (HRB)	1	58	2	53	3	52.5	4	56	5	52
Medición	Dureza (HRB)													
1	58													
2	53													
3	52.5													
4	56													
5	52													
Interpretación de Resultados:														
La dureza promedio alcanzada durante el ensayo para la probeta sin tratamiento térmico en la prueba 1 es de 54.3 HRB														
Autora: Ximena Criollo														

4.1.1.4 Ensayo de Dureza Prueba 1 templada

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA															
ENSAYO DE DUREZA		REG: E.D. 002													
Datos Informativos:															
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	06												
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 1 templada													
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	19/07/2017												
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de Materiales – ESPE Latacunga													
Equipo utilizado:		Durómetro ROCKWELL HARDNESS TESTER HR-150A													
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.													
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA															
Método:	Rockwell	Tipo:	B												
Tipo de penetrador:		De esfera de acero 1/16 pulg.													
Cantidad de carga aplicada:	100 Kgf	Tiempo de ensayo:	20 min												
RESULTADO:															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Dureza (HRB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>68</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>68</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>69</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>69</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>67</td> </tr> </tbody> </table>				Medición	Dureza (HRB)	1	68	2	68	3	69	4	69	5	67
Medición	Dureza (HRB)														
1	68														
2	68														
3	69														
4	69														
5	67														
Interpretación de Resultados:															
La dureza promedio alcanzada durante el ensayo para las probetas templadas a 835°C en agua a 16°C en la prueba 1 es de 68.2 HRB															
Autora: Ximena Criollo															

4.1.1.5 Ensayo de Tracción Prueba 1

El ensayo de tracción de la prueba 1, no se lo pudo realizar, porque la cantidad de colada obtenida durante el proceso de fundición no fue suficiente para maquinarse las probetas normalizadas.

4.1.1.6 Ensayo de Impacto Prueba 1

El ensayo de impacto tampoco se pudo realizar por la falta de cantidad de la colada obtenida durante el proceso de fundición de la aleación.

4.1.2 Prueba 2

La prueba 2, se realizó en un horno a gas en el laboratorio de fundición de la Escuela Politécnica de Chimborazo carrera de Ingeniería Mecánica como se muestra en la figura 19, los detalles se muestran a continuación:



Figura 19. Fundición en un horno a gas en la ESPOCH, prueba 2 (Fuente: La Autora).

Fecha de realización de la segunda prueba: 30/03/2017

Hora de inicio: 8:45 am

Hora de finalización: 11:47 am

Para la segunda prueba se realiza el cálculo de carga para 2500 gramos de aleación, con una pérdida por evaporación de Zinc del 11.32 % (Espín, 2012), que se detalla a continuación:

- Cu: $2500 * 60\% = 1500$ gr.
- Zn: $2500 * 40\% = 1000$ gr + 11.32 % de pérdidas = 1113.2 gr.

4.1.2.1 Análisis químico Prueba 2

Para la determinación de la composición química de la prueba 2, se utilizó un espectrómetro de Chispa Bruker Q2 ION, en el mismo se pudo obtener los siguientes resultados:

Tabla 9. Resultado del análisis químico prueba 2.

Elementos	Porcentaje de composición
Cu	66.94 %
Zn	32.70 %
Pb	0.067 %
Sn	0.144 %
P	0.019 %
Mn	0.011 %
Fe	0.098 %
Ni	0.010 %
Si	<0.0030 %
Al	0.0026 %
S	<0.0030 %
As	0.0055 %
Bi	<0.0050 %
Se	<0.0050 %

(Fuente: La Autora)

En la tabla 9, se observa que el cobre tiene un porcentaje de 66.94 % y el zinc tiene un porcentaje de 32.70%, además se observa la presencia de otros elementos químicos diferentes al cobre y al zinc, sin embargo sus cantidades en porcentajes son mínimas, esto se debe a que existe contaminación en el medio utilizado durante el proceso de la fundición.

4.1.2.2 Análisis Metalográfico Prueba 2

Para observar la estructura metalográfica obtenida se cuenta con un sistema de circuito cerrado de televisión el cual está formado por computador, cámara digital acoplada al microscopio, televisor y software.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



ANÁLISIS METALOGRÁFICO

REG: E.M. 003

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	07
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 2 sin tratamiento térmico	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	22/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

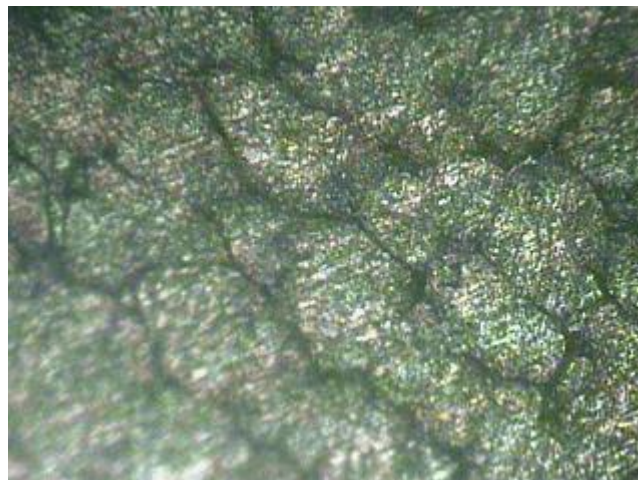
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	23°C	Radiación:	No aplica
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	S/O

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	24°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Cobre y sus aleaciones	Durante:	90 seg

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA ALEACIÓN OBTENIDA CON UNA COMPOSICIÓN DE 66.94 %Cu y 32.70 % Zn (100_X) SIN TEMPLAR



Aleación 66.94 %Cu y 32.70 % Zn , Sin templar, 100X, Cobre y sus aleaciones, 90 seg.

Autora: Ximena Criollo



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



ANÁLISIS METALOGRÁFICO

REG: E.M. 004

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	08
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 2 templada	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	22/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	23°C	Radiación:	No aplica
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	S/O

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	24°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Cobre y sus aleaciones	Durante:	2 seg

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA ALEACIÓN OBTENIDA CON UNA COMPOSICIÓN DE 66.94 %Cu y 32.70% Zn (100_X) TEMPLADA



Aleación 66.94 %Cu y 32.70 % Zn , Templada, 100X, Cobre y sus aleaciones, 5 seg.

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

REG: Ev.M. 003


Datos Informativos:

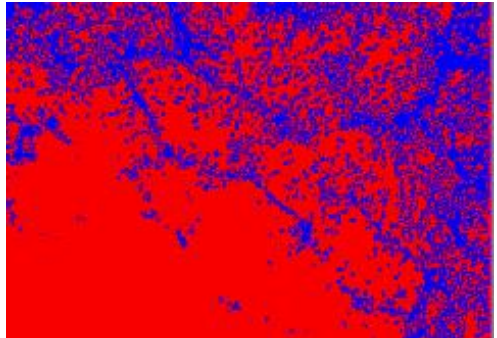
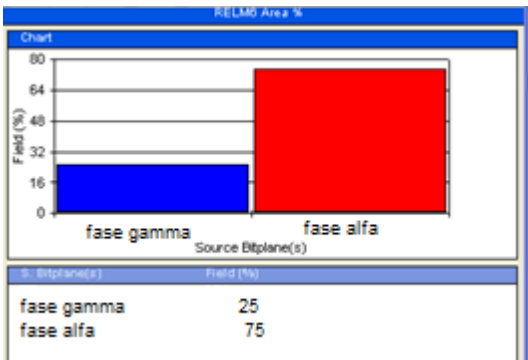
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	09
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 2 sin tratamiento térmico	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS DEL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	18°C	Magnificación:	100 X
Norma aplicada:	ASTM E112	Método:	Planimétrico

RESULTADO: Aleación 66.94 % Cu y 32.70 % Zn (Sin tratamiento térmico)

Microestructura:	Cálculo:
	$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left(12 + \frac{11}{2} \right) = f * 17.5$ <p><i>f = 2 por Jeffries (100 X)</i></p> $NA = 2 * 17.5 = 35$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(35) - 2.954$ $G = 2.17$

Componentes Microestructurales	Porcentajes:						
	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Source Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fase gamma</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>fase alfa</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>	Source Bitplane(s)	Field (%)	fase gamma	25	fase alfa	75
Source Bitplane(s)	Field (%)						
fase gamma	25						
fase alfa	75						

Observaciones: en la prueba 2 sin tratamiento térmico, se presenta un 25 % de fase γ y un 75 % de fase α , con tamaño de grano ASTM de 2.17

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

REG: Ev.M. 004

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	10
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 2 templada	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS DEL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	18°C	Magnificación:	100 X
Norma aplicada:	ASTM E112	Método:	Planimétrico

RESULTADO: Aleación 66.94 % Cu y 32.70 % Zn (Templada a 835°C)

Microestructura:	Cálculo:
-------------------------	-----------------



$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left(10 + \frac{14}{2} \right) = f * 17$$

$$f = 2 \text{ por Jeffries (100 X)}$$

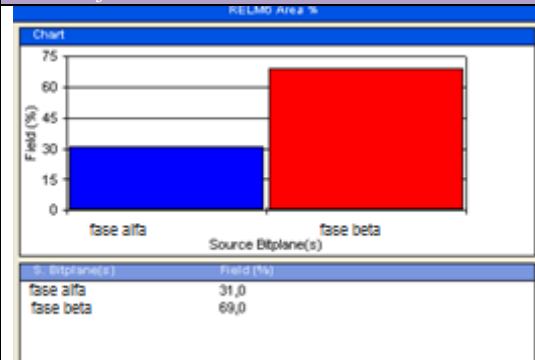
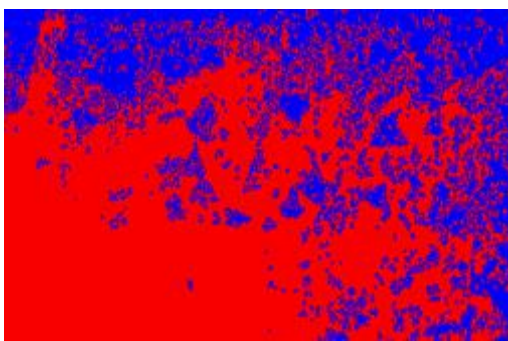
$$NA = 2 * 17 = 34$$

$$G = 3.321918 * \log NA - 2.954$$

$$G = 3.321918 * \log(34) - 2.954$$

$$G = 2.13$$

Componentes Microestructurales	Porcentajes:
---------------------------------------	---------------------





Observaciones: en la prueba 2 templada a 835°C, se presenta un 31 % de fase α y un 69 % de fase β, con tamaño de grano ASTM de 2.13.



Autora: Ximena Criollo

4.1.2.3 Ensayo de Dureza Prueba 2 sin tratamiento térmico

Para el ensayo de dureza se utiliza un durómetro el mismo que se encuentra en la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE) de Latacunga, con escala de dureza Rockwell B (HRB) con esfera de 1/16", precarga de 100 Kg y utilizando la norma ASTM E-18, los resultados se muestran en la ficha siguiente.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA 														
ENSAYO DE DUREZA		REG: E.D. 003												
Datos Informativos:														
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°: 11												
Identificación del componente de estudio:	Prueba N° 2 sin tratamiento térmico													
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha: 19/07/2017												
Centro de estudio y análisis:	Laboratorio de Materiales – ESPE Latacunga													
Equipo utilizado:	Durómetro ROCKWELL HARDNESS TESTER HR-150A													
Supervisado por:	Ing. Segundo Espín, Mg.													
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA														
Método:	Rockwell	Tipo: B												
Tipo de penetrador:	De esfera de acero 1/16 pulg.													
Cantidad de carga aplicada:	100 Kgf	Tiempo de ensayo: 20 min												
RESULTADO:														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Dureza (HRB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>35</td> </tr> </tbody> </table>			Medición	Dureza (HRB)	1	35	2	35	3	32	4	36	5	35
Medición	Dureza (HRB)													
1	35													
2	35													
3	32													
4	36													
5	35													
Interpretación de Resultados:														
La dureza promedio alcanzada durante el ensayo para la probeta sin tratamiento térmico en la prueba 2 es de 34.6 HRB														
Autora: Ximena Criollo														

4.1.2.4 Ensayo de Dureza Prueba 2 templada

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA															
ENSAYO DE DUREZA			REG: E.D. 004												
Datos Informativos:															
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	12												
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 2 templada													
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	19/07/2017												
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de Materiales – ESPE Latacunga													
Equipo utilizado:		Durómetro ROCKWELL HARDNESS TESTER HR-150A													
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.													
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA															
Método:	Rockwell	Tipo:	B												
Tipo de penetrador:		De esfera de acero 1/16 pulg.													
Cantidad de carga aplicada:	100 Kgf	Tiempo de ensayo:	20 min												
RESULTADO:															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Dureza (HRB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>64</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>65</td> </tr> </tbody> </table>				Medición	Dureza (HRB)	1	65	2	63	3	64	4	60	5	65
Medición	Dureza (HRB)														
1	65														
2	63														
3	64														
4	60														
5	65														
Interpretación de Resultados:															
La dureza promedio alcanzada durante el ensayo para las probetas templadas a 835°C en agua a 16°C en la prueba 2 es de 63.4 HRB															
Autora: Ximena Criollo															

4.1.2.5 Ensayo de Tracción Prueba 2

El ensayo de tracción de la prueba 2, no se lo pudo realizar, porque la cantidad de colada obtenida durante el proceso de fundición no fue suficiente para maquinarse las probetas normalizadas.

4.1.2.6 Ensayo de Impacto Prueba 2

El ensayo de impacto tampoco se pudo realizar por la falta de cantidad de la colada obtenida durante el proceso de fundición de la aleación.

4.1.3 Prueba 3

La prueba 3, se realizó en un horno a gas en el laboratorio de fundición de la Escuela Politécnica de Chimborazo carrera de Ingeniería Mecánica como se muestra en la figura 20, los detalles se muestran a continuación:



Figura 20. Fundición en un horno a gas en la ESPOCH, prueba 3 (Fuente: La Autora).

Fecha de realización de la tercera prueba: 17/04/2017

Hora de inicio: 13:30 pm

Hora de finalización: 16:47 pm

Para la tercera prueba se realizó el cálculo de carga para 3500 gramos de aleación, con una pérdida por evaporación de Zinc del 11.32 % (Espín, 2012) los mismos se detallan a continuación:

- Cu: $3500 \times 60\% = 2100$ gr.
- Zn: $3500 \times 40\% = 1400$ gr + 11.32 % de pérdidas = 1558.48 gr.

4.1.3.1 Análisis químico Prueba 3

Para la determinación de la composición química de la prueba 3 se utilizó un espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C con el método de comparación por fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía dispersiva (ED), equipo que se encuentra en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, el mismo se pudo obtener los siguientes resultados:

Tabla 10. Resultado del análisis químico prueba 3.

Elementos	Porcentaje de composición
Cu	64.23 %
Zn	35.67 %
Ni	0.051 %
Fe	0.044 %
otros	0.037 %

(Fuente: La Autora)

En la tabla 10, se observa que el Cobre tiene un porcentaje de 64.23 % y el Zinc tiene un porcentaje de 35.67 %, además se observa la presencia de otros elementos químicos diferentes al Cobre y al Zinc, sin embargo sus cantidades en porcentajes son mínimas, esto se debe a que existe contaminación en el medio utilizado durante el proceso de la fundición.

4.1.3.2 Análisis Metalográfico Prueba 3

Para observar la estructura metalográfica obtenida se cuenta con un sistema de circuito cerrado de televisión el cual está formado por computador, cámara digital acoplada al microscopio, televisor y software.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



ANÁLISIS METALOGRÁFICO

REG: E.M. 005

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	13
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 3 sin tratamiento térmico	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	22/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

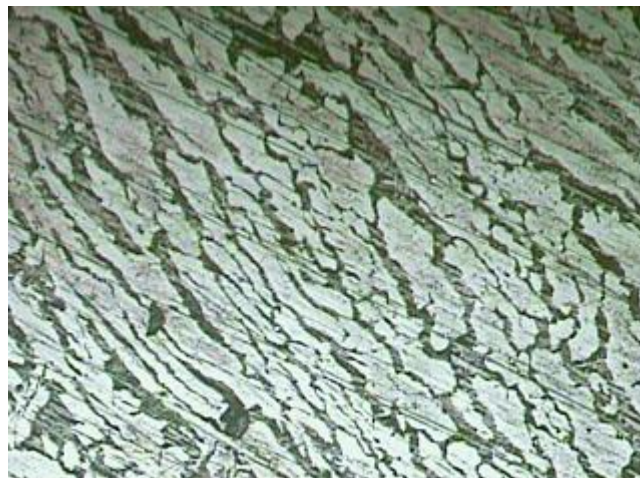
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	23°C	Radiación:	No aplica
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	S/O

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	24°C	Superficie preparada en:	40 min
Ataque Químico de la superficie con:	Cobre y sus aleaciones	Durante:	2 seg

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA ALEACIÓN OBTENIDA CON UNA COMPOSICIÓN DE 64.23 %Cu y 35.67 % Zn (100_X) SIN TEMPLAR



Aleación 64.23 %Cu y 35.67 % Zn , Sin templar, 100X, Cobre y sus aleaciones, 2 seg.

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



ANÁLISIS METALOGRÁFICO

REG: E.M. 006

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	14
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 3 templada	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	22/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

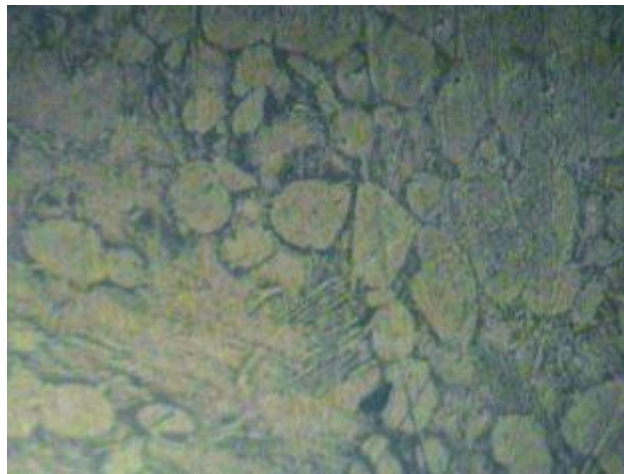
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	23°C	Radiación:	No aplica
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	S/O

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	24°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Cobre y sus aleaciones	Durante:	15 seg

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA ALEACIÓN OBTENIDA CON UNA COMPOSICIÓN DE 64.23 %Cu y 35.67 % Zn (100_X) TEMPLADA



Aleación 64.23 % Cu y 35.67 % Zn , Templada, 100X, Cobre y sus aleaciones, 15 seg.

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



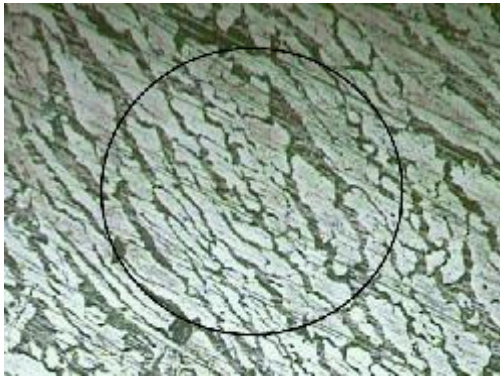
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA REG: Ev.M. 005

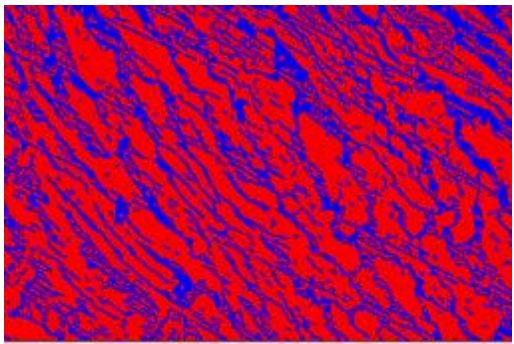
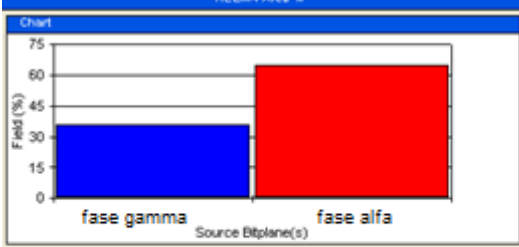
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	15
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 3 sin tratamiento térmico	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS DEL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	18°C	Magnificación:	100 X
Norma aplicada:	ASTM E112	Método:	Planimétrico

RESULTADO: Aleación 64.23 % Cu y 35.67 % Zn (Sin tratamiento térmico)

Microestructura:	Cálculo:
	$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left(38 + \frac{19}{2} \right) = f * 47.5$ $f = 2 \text{ por Jeffries (100 X)}$ $NA = 2 * 47.5 = 95$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(95) - 2.954$ $G = 3.6$

Componentes Microestructurales	Porcentajes:						
	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Source Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fase gamma</td> <td>35.6</td> </tr> <tr> <td>fase alfa</td> <td>64.4</td> </tr> </tbody> </table>	Source Bitplane(s)	Field (%)	fase gamma	35.6	fase alfa	64.4
Source Bitplane(s)	Field (%)						
fase gamma	35.6						
fase alfa	64.4						

Observaciones: en la prueba 3 sin tratamiento térmico, se presenta un 35.6 % de fase γ y un 64.4 % de fase α , con tamaño de grano ASTM de 3.6

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

REG: Ev.M. 006

Datos Informativos:

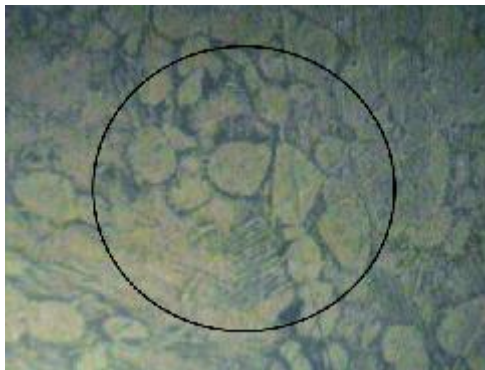
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	16
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 3 templada	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS DEL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	18°C	Magnificación:	100 X
Norma aplicada:	ASTM E112	Método:	Planimétrico

RESULTADO: Aleación 64.23 % Cu y 35.67 % Zn (Templada a 835°C)

Microestructura:



Cálculo:

$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left(50 + \frac{13}{2} \right) = f * 56.5$$

$$f = 2 \text{ por Jeffries (100}_X)$$

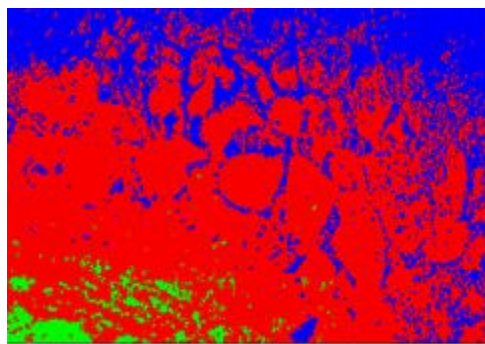
$$NA = 2 * 56.5 = 113$$

$$G = 3.321918 * \log NA - 2.954$$

$$G = 3.321918 * \log(113) - 2.954$$

$$G = 3.9$$

Componentes Microestructurales



Porcentajes:





Observaciones: en la prueba 3 templada a 835°C, se presenta un 29.1 % de fase α , un 65.7 % de fase β y formación de un 5.3 % de martensita, con tamaño de grano ASTM de 3.9



Autora: Ximena Criollo

4.1.3.3 Ensayo de Dureza Prueba 3 sin tratamiento térmico

Para el ensayo de dureza se utiliza un durómetro el mismo que se encuentra en la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE) de Latacunga, con escala de dureza Rockwell B (HRB) con esfera de 1/16", precarga de 100 Kg y utilizando la norma ASTM E-18, los resultados se muestran en la ficha siguiente.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA 														
ENSAYO DE DUREZA		REG: E.D. 005												
Datos Informativos:														
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°: 17												
Identificación del componente de estudio:	Prueba N° 3 sin tratamiento térmico													
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha: 19/07/2017												
Centro de estudio y análisis:	Laboratorio de Materiales – ESPE Latacunga													
Equipo utilizado:	Durómetro ROCKWELL HARDNESS TESTER HR-150A													
Supervisado por:	Ing. Segundo Espín, Mg.													
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA														
Método:	Rockwell	Tipo: B												
Tipo de penetrador:	De esfera de acero 1/16 pulg.													
Cantidad de carga aplicada:	100 Kgf	Tiempo de ensayo: 20 min												
RESULTADO:														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Dureza (HRB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>46</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>51</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>56</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>48</td> </tr> </tbody> </table>			Medición	Dureza (HRB)	1	46	2	51	3	56	4	53	5	48
Medición	Dureza (HRB)													
1	46													
2	51													
3	56													
4	53													
5	48													
Interpretación de Resultados:														
La dureza promedio alcanzada durante el ensayo para la probeta sin tratamiento térmico en la prueba 3 es de 50.8 HRB														
Autora: Ximena Criollo														

4.1.3.4 Ensayo de Dureza Prueba 3 templada

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA 														
ENSAYO DE DUREZA		REG: E.D. 006												
Datos Informativos:														
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°: 18												
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 3 templada												
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha: 19/07/2017												
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de Materiales – ESPE Latacunga												
Equipo utilizado:		Durómetro ROCKWELL HARDNESS TESTER HR-150A												
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.												
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA														
Método:	Rockwell	Tipo: B												
Tipo de penetrador:		De esfera de acero 1/16 pulg.												
Cantidad de carga aplicada:	100 Kgf	Tiempo de ensayo: 20 min												
RESULTADO:														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Dureza (HRB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>69</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>73</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>68</td> </tr> </tbody> </table>			Medición	Dureza (HRB)	1	69	2	73	3	70	4	70	5	68
Medición	Dureza (HRB)													
1	69													
2	73													
3	70													
4	70													
5	68													
Interpretación de Resultados:														
La dureza promedio alcanzada durante el ensayo para las probetas templadas a 835°C en agua a 16°C en la prueba 3 es de 70 HRB														
Autora: Ximena Criollo														

4.1.3.5 Ensayo de Tracción Prueba 3

El ensayo de tracción de la prueba 3, no se lo pudo realizar, porque la cantidad de colada obtenida durante el proceso de fundición no fue suficiente para maquinarse las probetas normalizadas.

4.1.3.6 Ensayo de Impacto Prueba 3

El ensayo de impacto tampoco se pudo realizar por la falta de cantidad de la colada obtenida durante el proceso de fundición de la aleación.

4.1.4 Prueba 4

La prueba 4, se realizó en un horno a inducción YONGKANG YUELON ELECTRONIC EQUIPMENT el mismo que se encuentra en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato y con un crisol de grafito con capacidad para 5 Kg. como se muestra en la figura 21, los detalles se muestran a continuación:



Figura 21. Fundición en un horno a inducción en la UTA, prueba 4 (Fuente: La Autora).

Tabla 11. Parámetros de funcionamiento del horno a inducción.

Parámetros	Descripción
Voltaje	220 V
Operación	Automático
Frecuencia	60 Hz
Flujo de agua	6 L/min
Presión de agua	0.2 MPa
Calentamiento	40 seg
Permanencia	20 seg
Enfriamiento	10 seg
Amperaje	300-1000 A

(Fuente: La Autora)

Fecha de realización de la cuarta prueba: 22/05/2017

Hora de inicio: 09:50 am

Hora de finalización: 11: 30 am

Para la cuarta prueba se realiza el cálculo de carga para 3700 gramos de aleación, con una pérdida por evaporación de Zinc del 15.4 % los mismos se detallan a continuación:

- Cu: $3700 \times 60\% = 2220$ gr.
- Zn: $3700 \times 40\% = 1480$ gr +15.4 % de pérdidas= 1706.44 gr.

4.1.4.1 Análisis químico Prueba 4

Para la determinación de la composición química de la prueba 4, se utilizó un espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C con el método de comparación por fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía dispersiva (ED).

Tabla 12. Resultado del análisis químico prueba 4.

Elementos	Porcentaje de composición
Cu	54.40 %
Zn	45.11 %
Si	0.18 %
Nb	0.128 %
S	0.126 %
Ni	0.55 %

(Fuente: La Autora)

En la tabla 12, se observa que el Cobre tiene un porcentaje de 54.40 % y el Zinc tiene un porcentaje de 45.11 %, además se observa la presencia de otros elementos químicos diferentes como el silicio.

4.1.4.2 Análisis Metalográfico Prueba 4

Para observar la estructura metalográfica obtenida se cuenta con un sistema de circuito cerrado de televisión el cual está formado por computador, cámara digital acoplada al microscopio, televisor y software.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



ANÁLISIS METALOGRAFICO

REG: E.M. 007

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	19
Identificación del componente de estudio:	Prueba N° 04 sin templar		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	22/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – FICM		
Supervisado por:	Ing. Segundo Espín, Mg.		

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

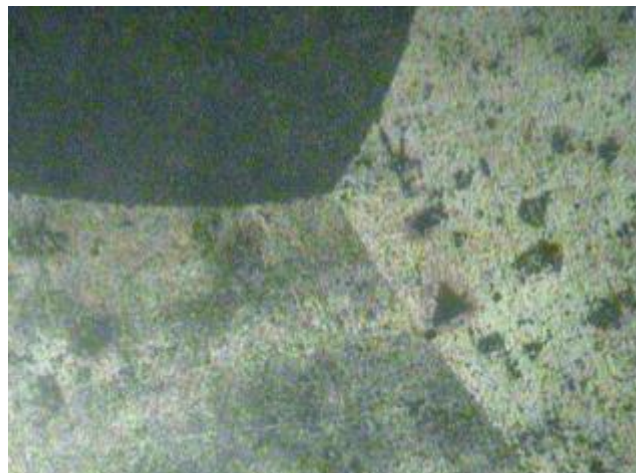
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	23°C	Radiación:	No aplica
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	S/O

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	24°C	Superficie preparada en:	40 min
Ataque Químico de la superficie con:	Cobre y sus aleaciones	Durante:	2 seg

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA ALEACIÓN OBTENIDA CON UNA COMPOSICIÓN DE 54.40 %Cu y 45.11 % Zn (100_X) SIN TEMPLAR



Aleación 54.40 %Cu y 45.11 % Zn , Sin templar, 100X, Cobre y sus aleaciones, 2 seg.

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



ANÁLISIS METALOGRAFICO

REG: E.M. 008

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	20
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 04 templada	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	22/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

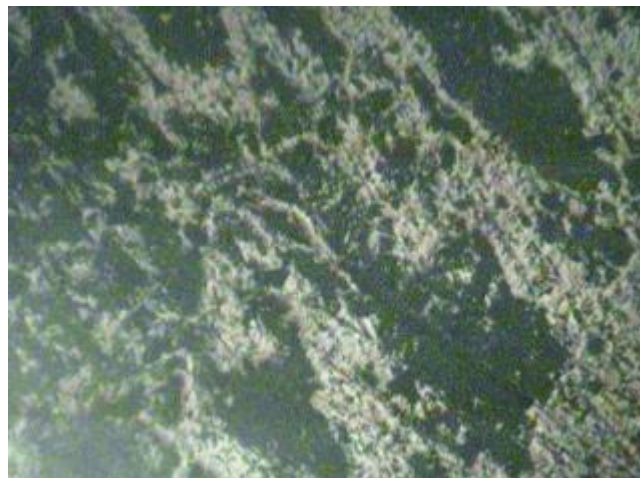
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	23°C	Radiación:	No aplica
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	S/O

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	24°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Cobre y sus aleaciones	Durante:	2 seg

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA ALEACIÓN OBTENIDA CON UNA COMPOSICIÓN DE 54.40 %Cu y 45.11 % Zn (100_X) TEMPLADA



Aleación 54.40 %Cu y 45.11 % Zn , Templada, 100X, Cobre y sus aleaciones, 2 seg.

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

REG: Ev.M. 007


Datos Informativos:

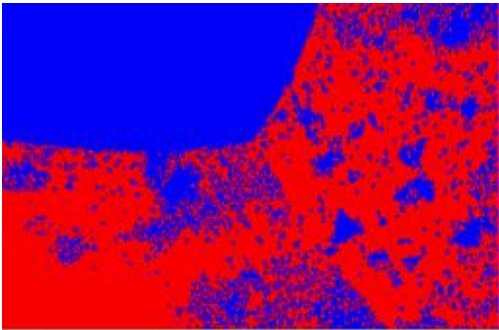
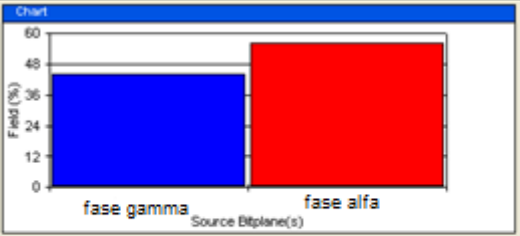
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	21
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 4 sin tratamiento térmico	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS DEL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	18°C	Magnificación:	100 X
Norma aplicada:	ASTM E112	Método:	Planimétrico

RESULTADO: Aleación 54.40 % Cu y 45.11 % Zn (Sin tratamiento térmico)

Microestructura:	Cálculo:
	$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left(0 + \frac{3}{2} \right) = f * 1.5$ $f = 2 \text{ por Jeffries (100 X)}$ $NA = 2 * 1.5 = 3$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(3) - 2.954$ $G = -1.36 \approx 0$

Componentes Microestructurales	Porcentajes:						
	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Phase</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fase gamma</td> <td>43.9</td> </tr> <tr> <td>fase alfa</td> <td>56.1</td> </tr> </tbody> </table>	Phase	Field (%)	fase gamma	43.9	fase alfa	56.1
Phase	Field (%)						
fase gamma	43.9						
fase alfa	56.1						

Observaciones: en la prueba 4 sin tratamiento térmico, se presenta un 43.9 % de fase γ y un 56.1 % de fase α , con tamaño de grano ASTM de 0

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

REG: Ev.M. 008


Datos Informativos:

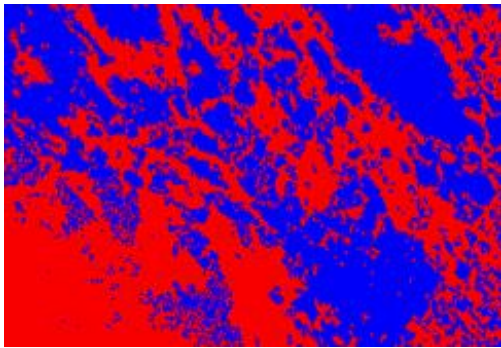
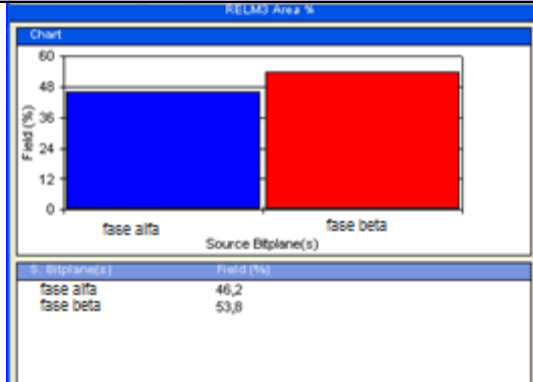
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	22
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 4 templada	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS DEL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	18°C	Magnificación:	100 X
Norma aplicada:	ASTM E112	Método:	Planimétrico

RESULTADO: Aleación 54.40 % Cu y 45.11 % Zn (Templada a 835°C)

Microestructura:	Cálculo:
	$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left(38 + \frac{24}{2} \right) = f * 50$ <p><i>f = 2 por Jeffries (100_X)</i></p> $NA = 2 * 50 = 100$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(100) - 2.954$ $G = 3.6$



Componentes Microestructurales	Porcentajes:						
	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Source Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fase alfa</td> <td>46,2</td> </tr> <tr> <td>fase beta</td> <td>53,8</td> </tr> </tbody> </table>	Source Bitplane(s)	Field (%)	fase alfa	46,2	fase beta	53,8
Source Bitplane(s)	Field (%)						
fase alfa	46,2						
fase beta	53,8						

Observaciones: en la prueba 4 templada a 835°C, se presenta un 46.2 % de fase α y un 53.8 % de fase β , con tamaño de grano ASTM de 3.6



Autora: Ximena Criollo

4.1.4.3 Ensayo de Dureza Prueba 4 sin tratamiento térmico

Para el ensayo de dureza se utiliza un durómetro el mismo que se encuentra en la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE) de Latacunga, con escala de dureza Rockwell B (HRB) con esfera de 1/16", precarga de 100 Kg y utilizando la norma ASTM E-18, los resultados se muestran en la ficha siguiente.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA 														
ENSAYO DE DUREZA		REG: E.D. 007												
Datos Informativos:														
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°: 23												
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 4 sin tratamiento térmico												
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha: 19/07/2017												
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de Materiales – ESPE Latacunga												
Equipo utilizado:		Durómetro ROCKWELL HARDNESS TESTER HR-150A												
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.												
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA														
Método:	Rockwell	Tipo: B												
Tipo de penetrador:		De esfera de acero 1/16 pulg.												
Cantidad de carga aplicada:	100 Kgf	Tiempo de ensayo: 20 min												
RESULTADO:														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Dureza (HRB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>47</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>43</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>45</td> </tr> </tbody> </table>			Medición	Dureza (HRB)	1	47	2	43	3	40	4	45	5	45
Medición	Dureza (HRB)													
1	47													
2	43													
3	40													
4	45													
5	45													
Interpretación de Resultados:														
La dureza promedio alcanzada durante el ensayo para la probeta sin tratamiento térmico en la prueba 4 es de 44 HRB														
Autora: Ximena Criollo														

4.1.4.4 Ensayo de Dureza Prueba 4 templada

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA															
ENSAYO DE DUREZA		REG: E.D. 008													
Datos Informativos:															
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	24												
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 4 templada													
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	19/07/2017												
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de Materiales – ESPE Latacunga													
Equipo utilizado:		Durómetro ROCKWELL HARDNESS TESTER HR-150A													
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.													
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA															
Método:	Rockwell	Tipo:	B												
Tipo de penetrador:		De esfera de acero 1/16 pulg.													
Cantidad de carga aplicada:	100 Kgf	Tiempo de ensayo:	20 min												
RESULTADO:															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Dureza (HRB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>57</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>61</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>60.5</td> </tr> </tbody> </table>				Medición	Dureza (HRB)	1	57	2	60	3	60	4	61	5	60.5
Medición	Dureza (HRB)														
1	57														
2	60														
3	60														
4	61														
5	60.5														
Interpretación de Resultados:															
La dureza promedio alcanzada durante el ensayo para las probetas templadas a 835°C en agua a 16°C en la prueba 4 es de 59.7 HRB															
Autora: Ximena Criollo															

4.1.4.5 Ensayo de Tracción Prueba 4

El ensayo de tracción de la prueba 4, no se lo pudo realizar, porque el material obtenido tiene presencia de porosidad, siendo éste el inconveniente para realizar el maquinado de las probetas normalizadas.

4.1.4.6 Ensayo de Impacto Prueba 4

El ensayo de impacto tampoco se pudo realizar porque el material obtenido tiene presencia de porosidad, siendo un inconveniente para realizar el maquinado de las probetas normalizadas.

4.1.5 Prueba 5

La prueba 5, se realizó en un horno a inducción YONGKANG YUELON ELECTRONIC EQUIPMENT el mismo que se encuentra en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato y con un crisol de grafito con capacidad para 5 Kg. como se muestra en la figura 22, los detalles se muestran a continuación:



Figura 22. Fundición en un horno a inducción en la UTA, prueba 5 (Fuente: La Autora)

Tabla 13. Parámetros de funcionamiento del horno a inducción.

Parámetros	Descripción
Voltaje	220 V
Operación	Automático
Frecuencia	60 Hz
Flujo de agua	6 L/min
Presión de agua	0.2 MPa
Calentamiento	40 seg
Permanencia	20 seg
Enfriamiento	10 seg
Amperaje	300-1000 A

(Fuente: La Autora)

Fecha de realización de la quinta prueba: 19/06/2017

Hora de inicio: 08:15 am

Hora de finalización: 10:00 am

Para la quinta prueba se realiza el cálculo de carga para 3700 gramos de aleación, con una pérdida por evaporación de Zinc del 11.32 % los mismos se detallan a continuación:

- Cu: $3700 \times 60\% = 2220$ gr.
- Zn: $3700 \times 40\% = 1480$ gr + 11.32 % de pérdidas = 1647.54 gr.

4.1.5.1 Análisis químico Prueba 5

Para la determinación de la composición química de la prueba 5 se utilizó un espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C con el método de comparación por fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía dispersiva (ED), en el mismo se pudo obtener los siguientes resultados:

Tabla 14. Resultado del análisis químico prueba 5.

Elementos	Porcentaje de composición
Cu	59.32 %
Zn	40.08 %
P	0.268 %
Si	0.17 %
S	0.117%
Ni	0.054 %

(Fuente: La Autora)

En la tabla 14, se observa que el Cobre tiene un porcentaje de 59.32 % y el Zinc tiene un porcentaje de 40.08 %, además se observa la presencia de otros elementos químicos diferentes al Cobre y al Zinc con una diferencia del 0.6%.

4.1.5.2 Análisis Metalográfico Prueba 5

Para observar la estructura metalográfica obtenida se cuenta con un sistema de circuito cerrado de televisión el cual está formado por computador, cámara digital acoplada al microscopio, televisor y software.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



ANÁLISIS METALOGRÁFICO

REG: E.M. 009

Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	25
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 05 sin templar	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	22/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

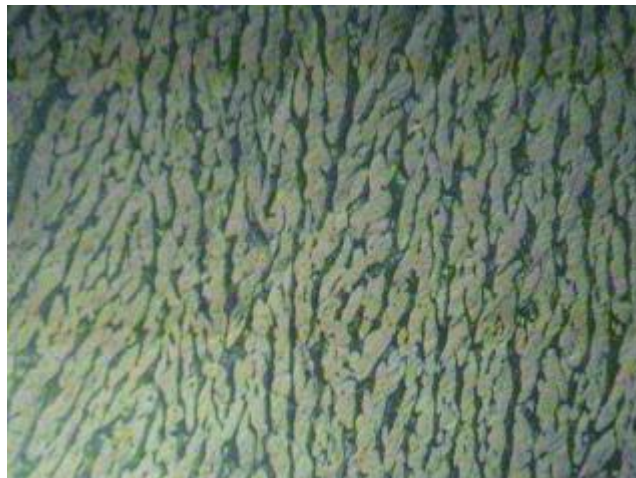
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	23°C	Radiación:	No aplica
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	S/O

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	24°C	Superficie preparada en:	40 min
Ataque Químico de la superficie con:	Cobre y sus aleaciones	Durante:	4 seg

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA ALEACIÓN OBTENIDA CON UNA COMPOSICIÓN DE 59.32 %Cu y 40.08 % Zn (100_X) SIN TEMPLAR



Aleación 59.32 %Cu y 40.08 % Zn , Sin templar, 100X, Cobre y sus aleaciones, 4 seg.

Autora: Ximena Criollo



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



ANÁLISIS METALOGRÁFICO

REG: E.M. 010

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	26
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 05 templada	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	22/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

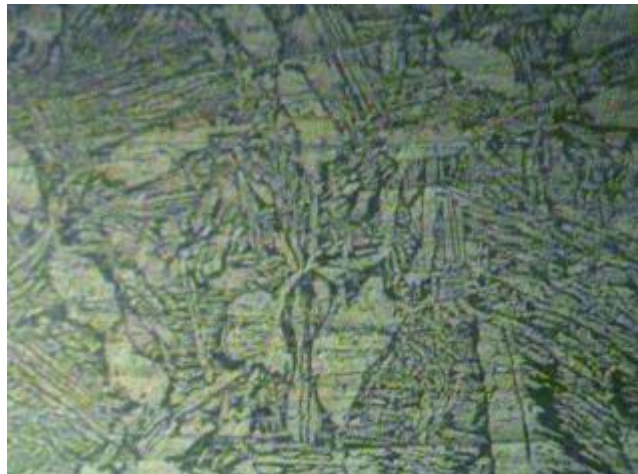
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	23°C	Radiación:	No aplica
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	S/O

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	24°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Cobre y sus aleaciones	Durante:	2 seg

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA ALEACIÓN OBTENIDA CON UNA COMPOSICIÓN DE 59.32 %Cu y 40.08 % Zn (100_X) TEMPLADA



Aleación 59.32 %Cu y 40.08 % Zn , Templada, 100X, Cobre y sus aleaciones, 2 seg.

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

REG: Ev.M. 009

Datos Informativos:

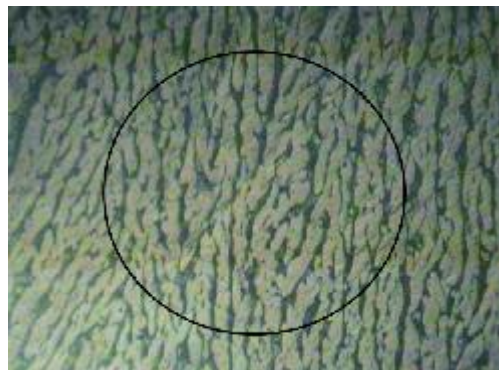
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	27
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 5 sin tratamiento térmico	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS DEL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	18°C	Magnificación:	100 X
Norma aplicada:	ASTM E112	Método:	Planimétrico

RESULTADO: Aleación 59.32 % Cu y 40.08 % Zn (Sin tratamiento térmico)

Microestructura:	Cálculo:
-------------------------	-----------------



$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left(80 + \frac{46}{2} \right) = f * 103$$

$$f = 2 \text{ por Jeffries (100 X)}$$

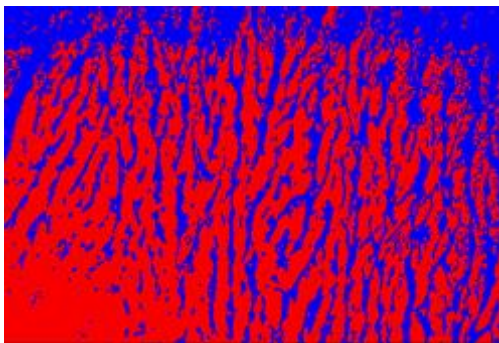
$$NA = 2 * 103 = 206$$

$$G = 3.321918 * \log NA - 2.954$$

$$G = 3.321918 * \log(206) - 2.954$$

$$G = 4.7$$

Componentes Microestructurales	Porcentajes:
---------------------------------------	---------------------



Observaciones: en la prueba 5 sin tratamiento térmico, se presenta un 39.8 % de fase γ y un 60.2 % de fase α , con tamaño de grano ASTM de 4.7

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

REG: Ev.M. 010


Datos Informativos:

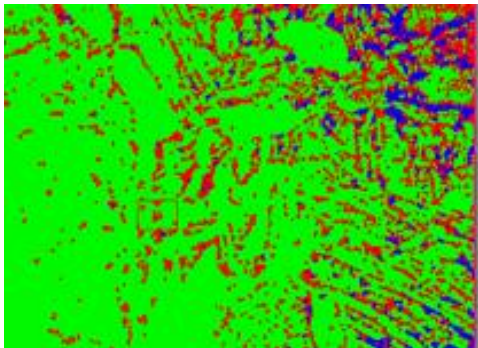
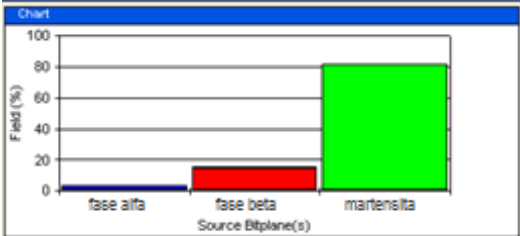
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	28
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 5 templada	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	

PARÁMETROS DEL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	18°C	Magnificación:	100 X
Norma aplicada:	ASTM E112	Método:	Planimétrico

RESULTADO: Aleación 59.32 % Cu y 40.08 % Zn (Templada a 835°C)

Microestructura:	Cálculo:
	$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left(224 + \frac{94}{2} \right) = f * 270$ <p><i>f = 2 por Jeffries (100_X)</i></p> $NA = 2 * 270 = 540$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(540) - 2.954$ $G = 6.12$



Componentes Microestructurales	Porcentajes:								
	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Source Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fase alfa</td> <td>3,8 (3,4)</td> </tr> <tr> <td>fase beta</td> <td>15,2 (14,7)</td> </tr> <tr> <td>martensita</td> <td>81,5</td> </tr> </tbody> </table>	Source Bitplane(s)	Field (%)	fase alfa	3,8 (3,4)	fase beta	15,2 (14,7)	martensita	81,5
Source Bitplane(s)	Field (%)								
fase alfa	3,8 (3,4)								
fase beta	15,2 (14,7)								
martensita	81,5								

Observaciones: en la prueba 5 templada a 835°C, se presenta un 3.4 % de fase α, un 15.1 % de fase β y un 81.5 % de martensita, con tamaño de grano ASTM de 6.12



Autora: Ximena Criollo

4.1.5.3 Ensayo de Dureza Prueba 5 sin tratamiento térmico

Para el ensayo de dureza se utiliza un durómetro el mismo que se encuentra en la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE) de Latacunga, con escala de dureza Rockwell B (HRB) con esfera de 1/16", precarga de 100 Kg y utilizando la norma ASTM E-18, los resultados se muestran en la ficha siguiente.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA 														
ENSAYO DE DUREZA		REG: E.D. 009												
Datos Informativos:														
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°: 29												
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 5 sin tratamiento térmico												
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha: 19/07/2017												
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de Materiales – ESPE Latacunga												
Equipo utilizado:		Durómetro ROCKWELL HARDNESS TESTER HR-150A												
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.												
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA														
Método:	Rockwell	Tipo: B												
Tipo de penetrador:		De esfera de acero 1/16 pulg.												
Cantidad de carga aplicada:	100 Kgf	Tiempo de ensayo: 20 min												
RESULTADO:														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Dureza (HRB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>41.5</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>43</td> </tr> </tbody> </table>			Medición	Dureza (HRB)	1	42	2	40	3	41.5	4	40	5	43
Medición	Dureza (HRB)													
1	42													
2	40													
3	41.5													
4	40													
5	43													
Interpretación de Resultados:														
La dureza promedio alcanzada durante el ensayo para la probeta sin tratamiento térmico en la prueba 5 es de 41.3 HRB														
Autora: Ximena Criollo														

4.1.5.4 Ensayo de Dureza Prueba 5 templada

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA 														
ENSAYO DE DUREZA		REG: E.D. 010												
Datos Informativos:														
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°: 30												
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 5 templada												
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha: 19/07/2017												
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de Materiales – ESPE Latacunga												
Equipo utilizado:		Durómetro ROCKWELL HARDNESS TESTER HR-150A												
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.												
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA														
Método:	Rockwell	Tipo: B												
Tipo de penetrador:		De esfera de acero 1/16 pulg.												
Cantidad de carga aplicada:	100 Kgf	Tiempo de ensayo: 20 min												
RESULTADO:														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Dureza (HRB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>59</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>59</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>58</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>57</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>58</td> </tr> </tbody> </table>			Medición	Dureza (HRB)	1	59	2	59	3	58	4	57	5	58
Medición	Dureza (HRB)													
1	59													
2	59													
3	58													
4	57													
5	58													
Interpretación de Resultados:														
La dureza promedio alcanzada durante el ensayo para las probetas templadas a 835°C en agua a 16°C en la prueba 5 es de 57.6 HRB														
Autora: Ximena Criollo														

4.1.5.5 Prueba 5 microestructura SEM (Scanning Electron Microscopy)

Para poder apreciar de mejor manera la microestructura formada en la aleación 59.32 %Cu y 40.08 % Zn se procede a realizar un análisis en el microscopio electrónico de barrido, el mismo que funciona con el principio del microscopio óptico, en el que se sustituye el haz de luz por un haz de electrones.



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



ANÁLISIS METALOGRÁFICO SEM

REG: E.M.SEM 01

Datos Informativos:

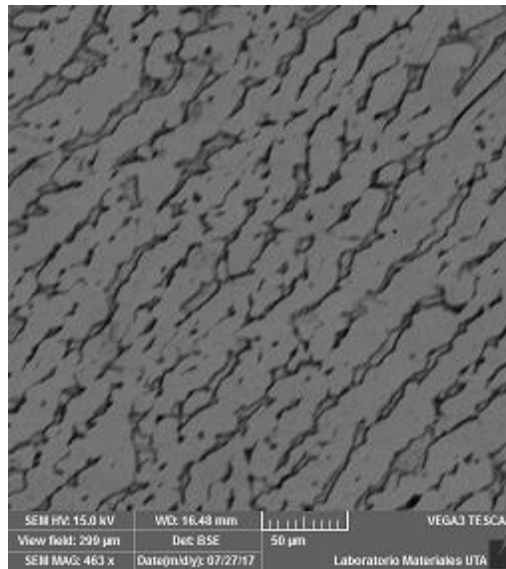
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	31
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 05 sin tratamiento térmico	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	27/07/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	17°C	Radiación:	No aplica

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO SEM

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico y atacado químicamente	
SEM HV:	15 kV	SEM MAG:	463 x
WD:	16.48 mm	DETECTOR:	BSE

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA SEM DE LA ALEACIÓN OBTENIDA CON UNA COMPOSICIÓN DE 59.32 %Cu y 40.08 % Zn (100_X) SIN TRATAMIENTO TÉRMICO



SEM Aleación 59.32 %Cu y 40.08 % Zn , sin tratamiento térmico, 463X, Cobre y sus aleaciones, 2 seg.

Autora: Ximena Criollo



ANÁLISIS METALOGRÁFICO SEM

REG: E.M.SEM 02

Datos Informativos:

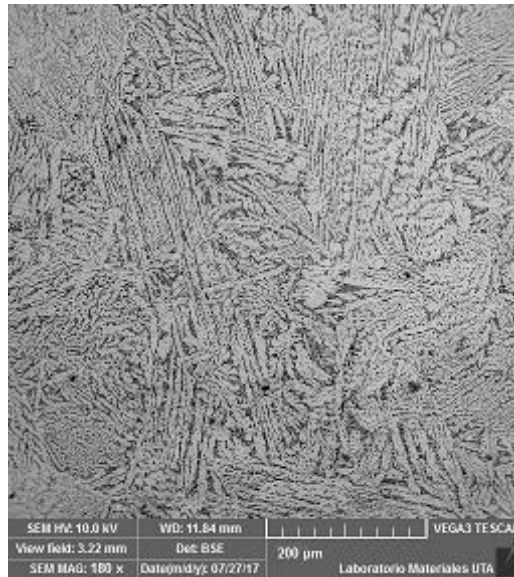
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	32
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 05 templada	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	27/07/2017
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	17°C	Radiación:	No aplica

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO SEM

Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico y atacado químicamente		
SEM HV:	10 kV	SEM MAG:	180 x
WD:	11.54 mm	DETECTOR:	BSE

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA SEM DE LA ALEACIÓN OBTENIDA CON UNA COMPOSICIÓN DE 59.32 %Cu y 40.08 % Zn (100_X) TEMPLADA A 835°C



SEM Aleación 59.32 % Cu y 40.08 % Zn , Templada, 180X, Cobre y sus aleaciones, 2 seg.

Autora: Ximena Criollo

4.1.5.6 Ensayo de Tracción Prueba 5

El ensayo de tracción de la prueba 5, se lo realizó bajo la norma ASTM E-8M, espécimen 1, para la cual se realiza el maquinado de las probetas normalizadas

(anexo 4), las mismas que se ensayan en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA																						
ENSAYO DE TRACCIÓN		REG: E.T. 001																						
Datos Informativos:																								
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	33																					
Identificación del componente de estudio:	Prueba N° 05 sin tratamiento térmico Probeta 5.1																							
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	11/07/2017																					
Supervisado por:	Ing. Segundo Espín, Mg.																							
Centro de estudio y análisis:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero Gobierno Provincial de Tungurahua																							
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos universal. Metro test 1500 kN																							
Temperatura:	18°C	Humedad Relativa:	51%																					
Tipo de probeta:	Cilíndrica	Longitud Calibrada:	62.5 mm																					
Método de ensayo	Destructivo	Norma Aplicada	ASTM E8M																					
Velocidad de ensayo	10 mm/min	Precarga	4000 N																					
RESULTADO:																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parámetro</th> <th>Valor</th> <th>Unidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fuerza de rotura</td> <td>64750.01</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>Fuerza de fluencia</td> <td>28050.01</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>Resistencia de rotura (Sut)</td> <td>527.63</td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>Límite de fluencia (Sy)</td> <td>228.57</td> <td>MPa</td> </tr> <tr> <td>Elongación (ε)</td> <td>5.12</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Reducción de área</td> <td>11.76</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table>				Parámetro	Valor	Unidad	Fuerza de rotura	64750.01	N	Fuerza de fluencia	28050.01	N	Resistencia de rotura (Sut)	527.63	MPa	Límite de fluencia (Sy)	228.57	MPa	Elongación (ε)	5.12	%	Reducción de área	11.76	%
Parámetro	Valor	Unidad																						
Fuerza de rotura	64750.01	N																						
Fuerza de fluencia	28050.01	N																						
Resistencia de rotura (Sut)	527.63	MPa																						
Límite de fluencia (Sy)	228.57	MPa																						
Elongación (ε)	5.12	%																						
Reducción de área	11.76	%																						
Observaciones: La probeta se rompe dentro de la zona calibrada (62.5 mm)																								
Autora: Ximena Criollo																								



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



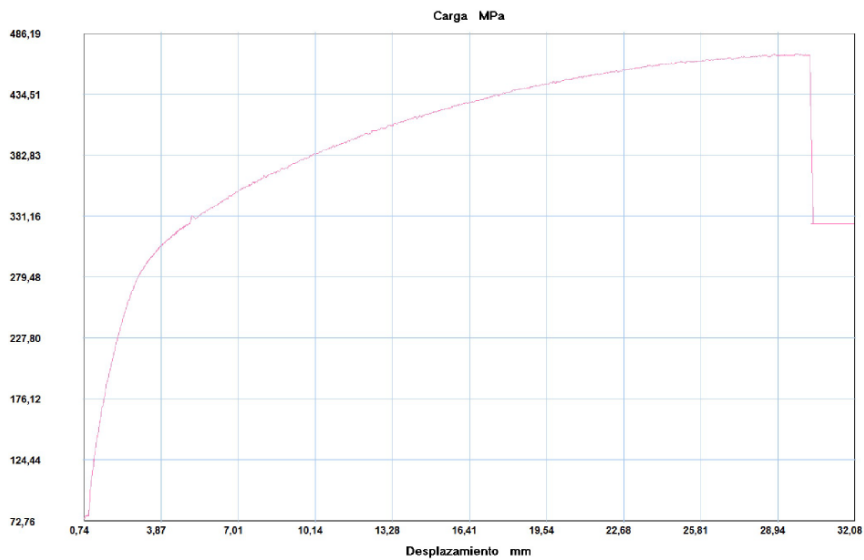
ENSAYO DE TRACCIÓN

REG: E.T. 002

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	34
Identificación del componente de estudio:	Prueba N° 05 sin tratamiento térmico Probeta 5.2		
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	11/07/2017
Supervisado por:	Ing. Segundo Espín, Mg.		
Centro de estudio y análisis:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros Gobierno Provincial de Tungurahua		
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos universal. Metro test 1500 kN		
Temperatura:	18°C	Humedad Relativa:	51%
Tipo de probeta:	Cilíndrica	Longitud Calibrada:	62.5 mm
Método de ensayo	Destructivo	Norma Aplicada	ASTM E8M
Velocidad de ensayo	10 mm/min	Precarga	4000 N

RESULTADO:



Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de rotura	57350.01	N
Fuerza de fluencia	21250	N
Resistencia de rotura (Sut)	467.33	MPa
Límite de fluencia (Sy)	173.16	MPa
Elongación (ε)	4	%
Reducción de área	14.4	%

Observaciones: La probeta se rompe dentro de la zona calibrada (62.5 mm)

Autora: Ximena Criollo



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



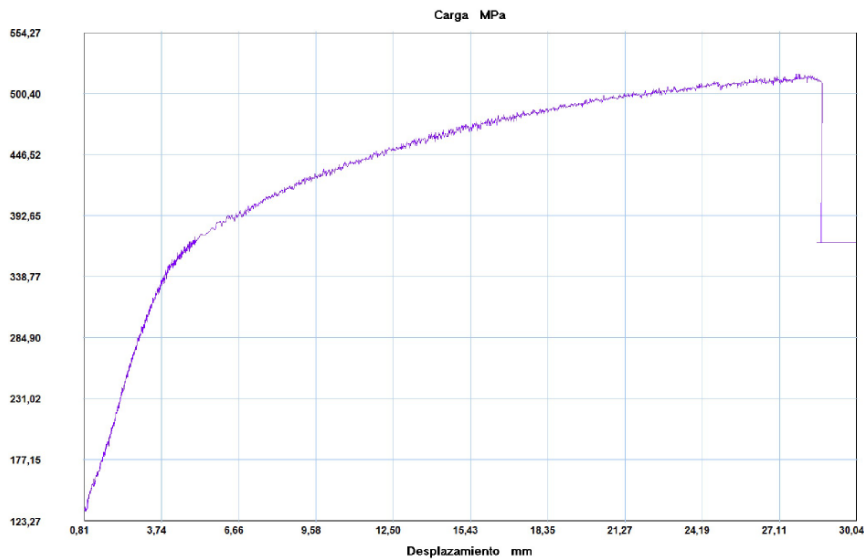
ENSAYO DE TRACCIÓN

REG: E.T. 003

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	35
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 05 sin tratamiento térmico Probeta 5.3	
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	11/07/2017
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	
Centro de estudio y análisis:		Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero Gobierno Provincial de Tungurahua	
Equipo utilizado:		Máquina de ensayos universal. Metro test 1500 kN	
Temperatura:	18°C	Humedad Relativa:	51%
Tipo de probeta:	Cilíndrica	Longitud Calibrada:	62.5 mm
Método de ensayo	Destructivo	Norma Aplicada	ASTM E8M
Velocidad de ensayo	10 mm/min	Precarga	4000 N

RESULTADO:



Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de rotura	62600.01	N
Fuerza de fluencia	21850.01	N
Resistencia de rotura (Sut)	510.11	MPa
Límite de fluencia (Sy)	178.05	MPa
Elongación (ε)	4.64	%
Reducción de área	11.2	%

Observaciones: La probeta se rompe dentro de la zona calibrada (62.5 mm)

Autora: Ximena Criollo



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



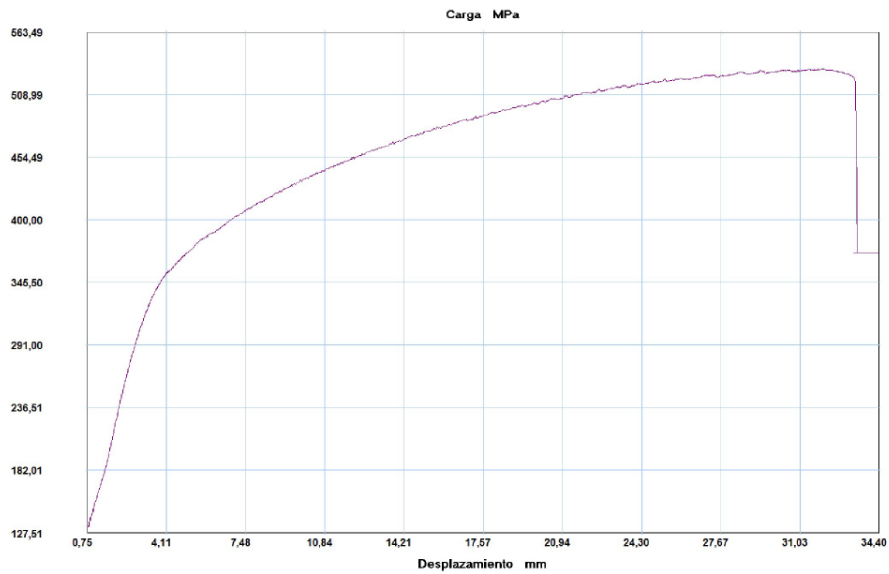
ENSAYO DE TRACCIÓN

REG: E.T. 004

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	36
Identificación del componente de estudio:		Prueba N° 05 sin tratamiento térmico Probeta 5.4	
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	11/07/2017
Supervisado por:		Ing. Segundo Espín, Mg.	
Centro de estudio y análisis:		Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero Gobierno Provincial de Tungurahua	
Equipo utilizado:		Máquina de ensayos universal. Metro test 1500 kN	
Temperatura:	18°C	Humedad Relativa:	51%
Tipo de probeta:	Cilíndrica	Longitud Calibrada:	62.5 mm
Método de ensayo	Destructivo	Norma Aplicada	ASTM E8M
Velocidad de ensayo	10 mm/min	Precarga	4000 N

RESULTADO:



Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de rotura	64150.01	N
Fuerza de fluencia	24200	N
Resistencia de rotura (Sut)	522.74	MPa
Límite de fluencia (Sy)	197.20	MPa
Elongación (ε)	4.32	%
Reducción de área	16.4	%

Observaciones: La probeta se rompe dentro de la zona calibrada (62.5 mm)

Autora: Ximena Criollo



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



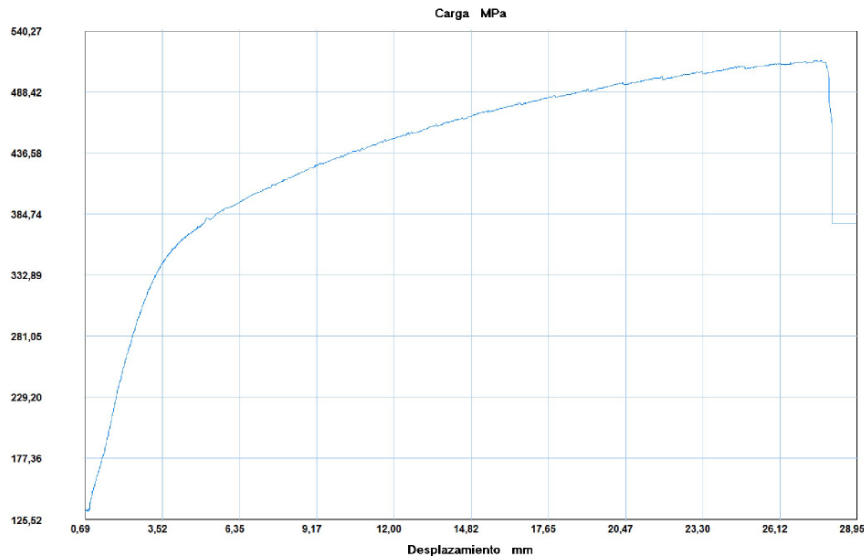
ENSAYO DE TRACCIÓN

REG: E.T. 005

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	37
Identificación del componente de estudio:	Prueba N° 05 sin tratamiento térmico Probeta 5.5		
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	11/07/2017
Supervisado por:	Ing. Segundo Espín, Mg.		
Centro de estudio y análisis:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero Gobierno Provincial de Tungurahua		
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos universal. Metro test 1500 kN		
Temperatura:	18°C	Humedad Relativa:	51%
Tipo de probeta:	Cilíndrica	Longitud Calibrada:	62.5 mm
Método de ensayo	Destructivo	Norma Aplicada	ASTM E8M
Velocidad de ensayo	10 mm/min	Precarga	4000 N

RESULTADO:



Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de rotura	62700.01	N
Fuerza de fluencia	23600	N
Resistencia de rotura (Sut)	510.93	MPa
Límite de fluencia (Sy)	192.31	MPa
Elongación (ε)	3.84	%
Reducción de área	6.4	%

Observaciones: La probeta no se rompe dentro de la zona calibrada (62.5 mm), debido a la presencia de porosidad en la rosca

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



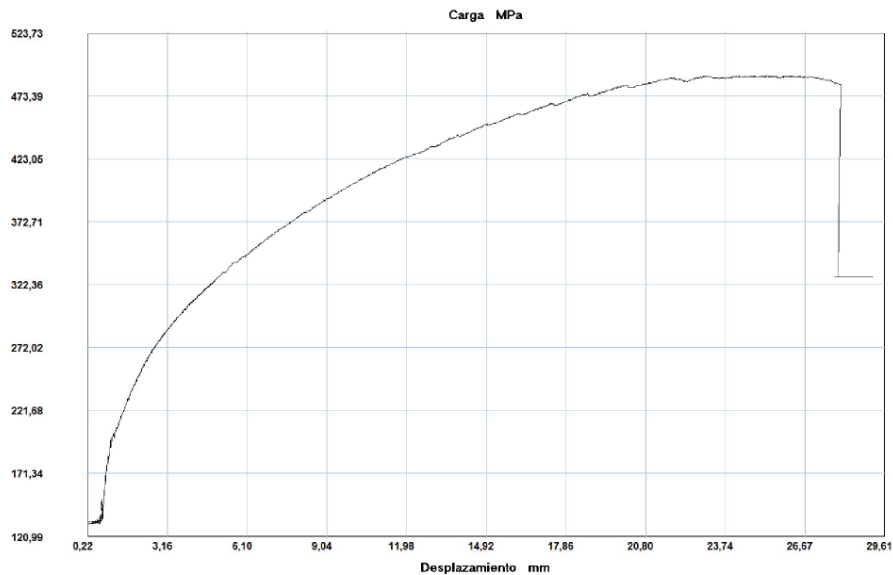
ENSAYO DE TRACCIÓN

REG: E.T. 006

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	38
Identificación del componente de estudio:	Prueba N° 05 templada Probeta 5.6		
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	11/07/2017
Supervisado por:	Ing. Segundo Espín, Mg.		
Temperatura de temple:	835°C	Tiempo de calentamiento:	3h55min
Tiempo de permanencia:	30 min	Medio de enfriamiento:	Agua a 16°C
Centro de estudio y análisis:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero Gobierno Provincial de Tungurahua		
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos universal. Metro test 1500 kN		
Temperatura:	18°C	Humedad Relativa:	51%
Tipo de probeta:	Cilíndrica	Longitud Calibrada:	62.5 mm
Método de ensayo	Destructivo	Norma Aplicada	ASTM E8M
Velocidad de ensayo	10 mm/min	Precarga	4000 N

RESULTADO:



Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de rotura	59250.01	N
Fuerza de fluencia	26750.01	N
Resistencia de rotura (Sut)	482.81	MPa
Límite de fluencia (Sy)	217.98	MPa
Elongación (ε)	6.88	%
Reducción de área	14.8	%

Observaciones: La probeta se rompe dentro de la zona calibrada (62.5 mm)

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



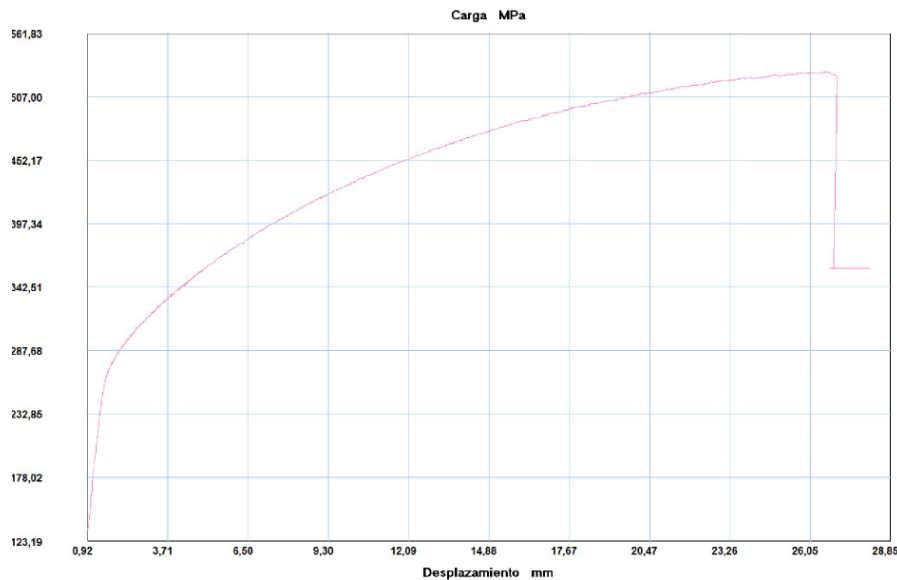
ENSAYO DE TRACCIÓN

REG: E.T. 007

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	39
Identificación del componente de estudio:	Prueba N° 05 templada Probeta 5.7		
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	11/07/2017
Supervisado por:	Ing. Segundo Espín, Mg.		
Temperatura de temple:	835°C	Tiempo de calentamiento:	3h55min
Tiempo de permanencia:	30 min	Medio de enfriamiento:	Agua a 16°C
Centro de estudio y análisis:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carroceros Gobierno Provincial de Tungurahua		
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos universal. Metro test 1500 kN		
Temperatura:	18°C	Humedad Relativa:	51%
Tipo de probeta:	Cilíndrica	Longitud Calibrada:	62.5 mm
Método de ensayo	Destructivo	Norma Aplicada	ASTM E8M
Velocidad de ensayo	10 mm/min	Precarga	4000 N

RESULTADO:



Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de rotura	64500.01	N
Fuerza de fluencia	31000.01	N
Resistencia de rotura (Sut)	525.59	MPa
Límite de fluencia (Sy)	252.61	MPa
Elongación (ε)	6.4	%
Reducción de área	18	%

Observaciones: La probeta se rompe dentro de la zona calibrada (62.5 mm).

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



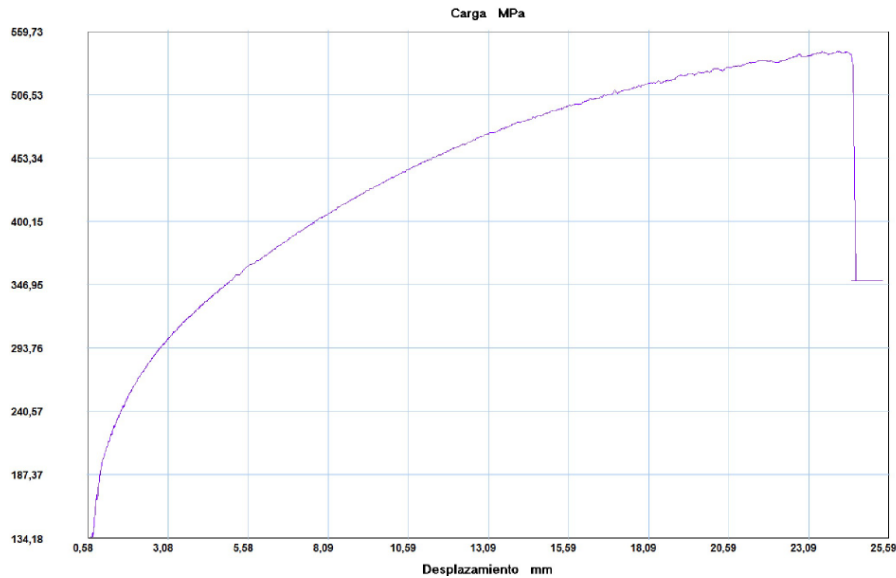
ENSAYO DE TRACCIÓN

REG: E.T. 008

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	40
Identificación del componente de estudio:	Prueba N° 05 templada Probeta 5.8		
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	11/07/2017
Supervisado por:	Ing. Segundo Espín, Mg.		
Temperatura de temple:	835°C	Tiempo de calentamiento:	3h55min
Tiempo de permanencia:	30 min	Medio de enfriamiento:	Agua a 16°C
Centro de estudio y análisis:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero Gobierno Provincial de Tungurahua		
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos universal. Metro test 1500 kN		
Temperatura:	18°C	Humedad Relativa:	51%
Tipo de probeta:	Cilíndrica	Longitud Calibrada:	62.5 mm
Método de ensayo	Destructivo	Norma Aplicada	ASTM E8M
Velocidad de ensayo	10 mm/min	Precarga	4000 N

RESULTADO:



Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de rotura	66300	N
Fuerza de fluencia	27950.01	N
Resistencia de rotura (Sut)	540.26	MPa
Límite de fluencia (Sy)	227.76	MPa
Elongación (ε)	6.56	%
Reducción de área	14.4	%

Observaciones: La probeta se rompe dentro de la zona calibrada (62.5 mm).

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



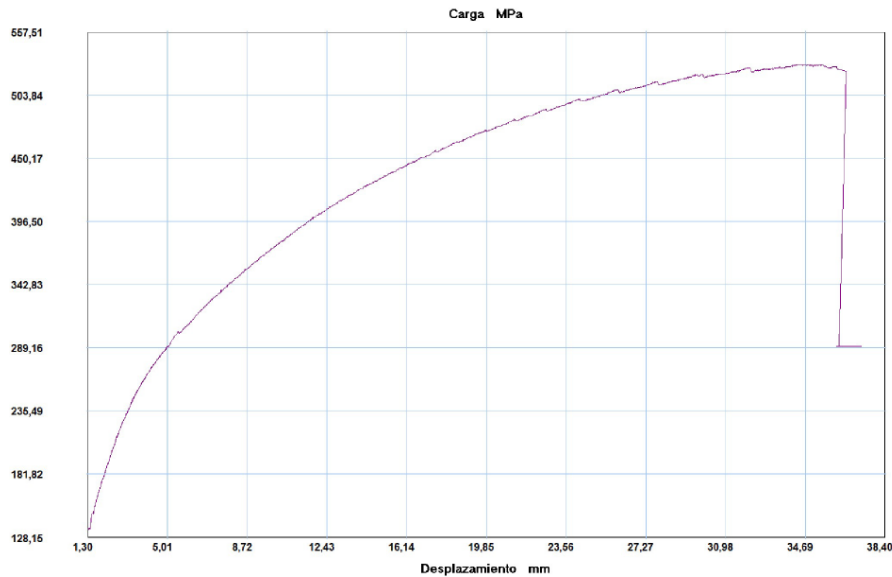
ENSAYO DE TRACCIÓN

REG: E.T. 009

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	41
Identificación del componente de estudio:	Prueba N° 05 templada Probeta 5.9		
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	11/07/2017
Supervisado por:	Ing. Segundo Espín, Mg.		
Temperatura de temple:	835°C	Tiempo de calentamiento:	3h55min
Tiempo de permanencia:	30 min	Medio de enfriamiento:	Agua a 16°C
Centro de estudio y análisis:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carroceros Gobierno Provincial de Tungurahua		
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos universal. Metro test 1500 kN		
Temperatura:	18°C	Humedad Relativa:	51%
Tipo de probeta:	Cilíndrica	Longitud Calibrada:	62.5 mm
Método de ensayo	Destructivo	Norma Aplicada	ASTM E8M
Velocidad de ensayo	10 mm/min	Precarga	4000 N

RESULTADO:



Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de rotura	64350.01	N
Fuerza de fluencia	22800	N
Resistencia de rotura (Sut)	524.26	MPa
Límite de fluencia (Sy)	227.76	MPa
Elongación (ε)	6.56	%
Reducción de área	18.4	%

Observaciones: La probeta se rompe dentro de la zona calibrada (62.5 mm).

Autora: Ximena Criollo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



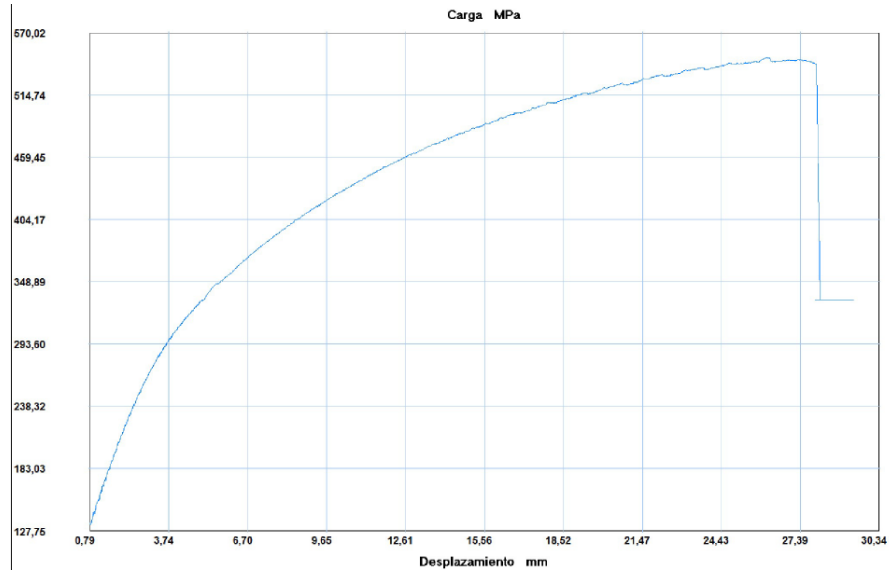
ENSAYO DE TRACCIÓN

REG: E.T. 010

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	42
Identificación del componente de estudio:	Prueba N° 05 templada Probeta 5.10		
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	11/07/2017
Supervisado por:	Ing. Segundo Espín, Mg.		
Temperatura de temple:	835°C	Tiempo de calentamiento:	3h55min
Tiempo de permanencia:	30 min	Medio de enfriamiento:	Agua a 16°C
Centro de estudio y análisis:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carroceros Gobierno Provincial de Tungurahua		
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos universal. Metro test 1500 kN		
Temperatura:	18°C	Humedad Relativa:	51%
Tipo de probeta:	Cilíndrica	Longitud Calibrada:	62.5 mm
Método de ensayo	Destructivo	Norma Aplicada	ASTM E8M
Velocidad de ensayo	10 mm/min	Precarga	4000 N

RESULTADO:





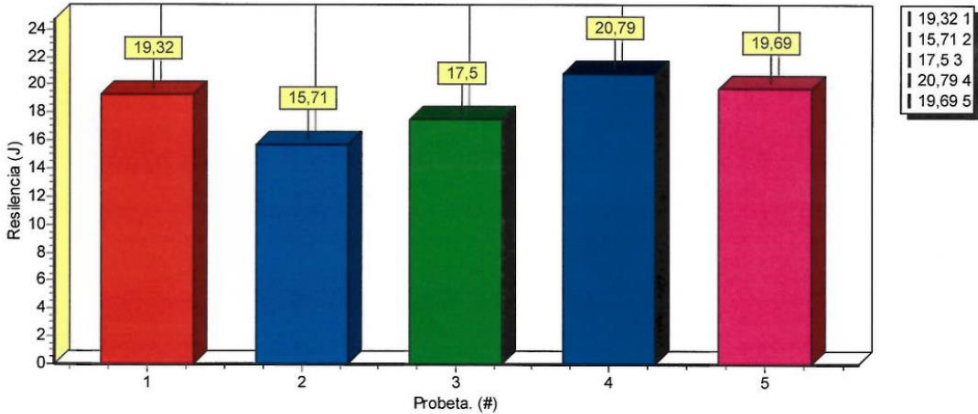
Parámetro	Valor	Unidad
Fuerza de rotura	66400.01	N
Fuerza de fluencia	24100	N
Resistencia de rotura (Sut)	541.08	MPa
Límite de fluencia (Sy)	196.38	MPa
Elongación (ε)	7.12	%
Reducción de área	18.8	%

Observaciones: La probeta se rompe dentro de la zona calibrada (62.5 mm).

Autora: Ximena Criollo

4.1.5.7 Ensayo de Impacto Prueba 5

El ensayo de impacto de la prueba 5 se lo realizó bajo la norma ASTM E-23, para la cual se realiza el maquinado de las probetas normalizadas (anexo 5).

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA 																										
ENSAYO DE IMPACTO		REG: E.I. 001																								
Datos Informativos:																										
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°: 43																								
Identificación del componente de estudio:	Prueba N° 05 sin tratamiento térmico																									
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha: 06/07/2017																								
Supervisado por:	Ing. Segundo Espín, Mg.																									
Centro de estudio y análisis:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero Gobierno Provincial de Tungurahua																									
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos Charpy. PIC 450 J																									
Temperatura:	17°C	Humedad Relativa: 61 %																								
Tipo de probeta:	Probeta con muesca en V	Máxima velocidad de impacto: 5.42 m/s																								
Energía utilizada:	450 J	Norma Aplicada: ASTM E23																								
RESULTADO:																										
																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N° Probeta</th> <th>Energía absorbida (J)</th> <th>Resistencia al impacto (J/cm²)</th> <th>Aspecto de la Fractura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>19.32</td> <td>24.15</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>15.71</td> <td>19.39</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>17.5</td> <td>22.15</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>20.79</td> <td>25.98</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>19.69</td> <td>24.31</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table>			N° Probeta	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (J/cm ²)	Aspecto de la Fractura	1	19.32	24.15	20	2	15.71	19.39	30	3	17.5	22.15	30	4	20.79	25.98	80	5	19.69	24.31	60
N° Probeta	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (J/cm ²)	Aspecto de la Fractura																							
1	19.32	24.15	20																							
2	15.71	19.39	30																							
3	17.5	22.15	30																							
4	20.79	25.98	80																							
5	19.69	24.31	60																							
<p>Observación: Promedio del grupo de 5 probetas sin tratamiento térmico, energía absorbida 18.60 J y Resistencia al impacto 23.20 J/cm².</p>																										
Autora: Ximena Criollo																										



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



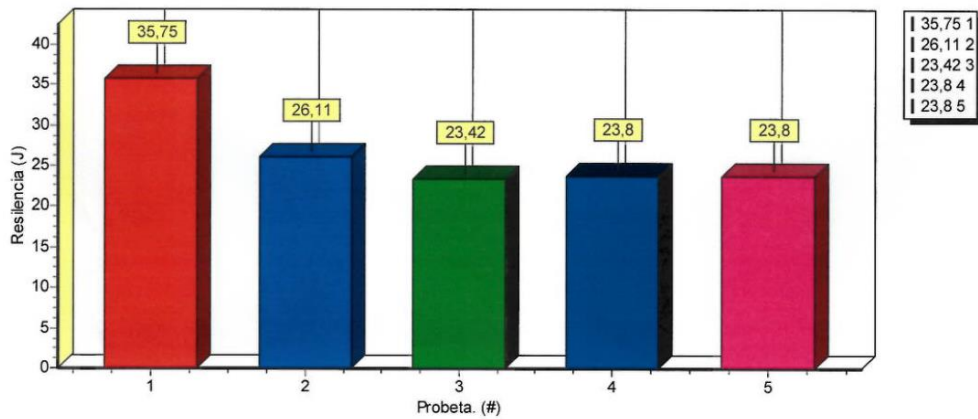
ENSAYO DE IMPACTO

REG: E.I. 002

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	44
Identificación del componente de estudio:	Prueba N° 05 templada		
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	06/07/2017
Supervisado por:	Ing. Segundo Espín, Mg.		
Temperatura de temple:	835°C	Tiempo de calentamiento:	3h55min
Tiempo de permanencia:	30 min	Medio de enfriamiento:	Agua a 16°C
Centro de estudio y análisis:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carroceros Gobierno Provincial de Tungurahua		
Equipo utilizado:	Máquina de ensayos Charpy. PIC 450 J		
Temperatura:	18°C	Humedad Relativa:	60 %
Tipo de probeta:	Probeta con muesca en V	Máxima velocidad de impacto:	5.42 m/s
Energía utilizada:	450 J	Norma Aplicada:	ASTM E23

RESULTADO:



N° Probeta	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (J/cm ²)	Aspecto de la Fractura
1	35.75	43.60	70
2	26.11	33.05	80
3	23.42	28.56	90
4	23.80	30.13	100
5	23.80	30.12	100

Observación: Promedio del grupo de 5 probetas templadas en un medio de enfriamiento convencional (agua a 16°C), energía absorbida 26.58 J y Resistencia al impacto 33.09 J/cm².

Autora: Ximena Criollo

4.1.5.8 Comprobación de la memoria de forma aleación obtenida.

Para comprobar la memoria de forma de la aleación obtenida 59.32% Cu- 40.08% Zn, se procede a retirar virutas con la ayuda de un torno manual, a las cuales se le aplica una fuerza externa y la viruta debe recuperar su forma inicial (efecto superelástico), o a su vez se le aplica calor y debe recuperar su forma inicial (memoria térmica), Figura 23.

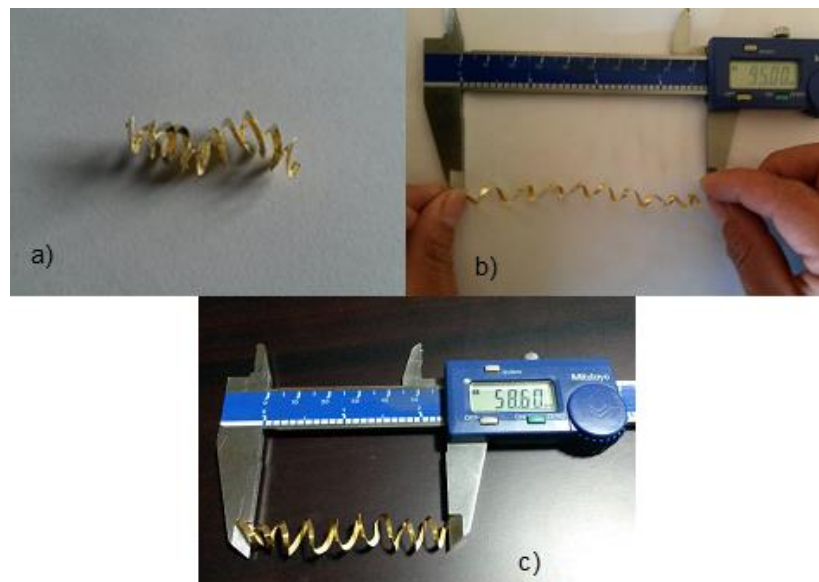


Figura 23. a) Viruta en su forma inicial, b) viruta deformada en frío (estado martensítico), c) viruta después de aplicar calor (Fuente: La Autora).

4.1.5.9 Densidad de la aleación inteligente con memoria de forma prueba 5.

Para calcular la densidad de la aleación inteligente con memoria de forma es necesario saber su masa y su volumen, parámetros que se miden en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, con la ayuda de una balanza electrónica se determina la masa de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu- 40.08 % Zn, siendo 249.3 gr su peso como se muestra en la figura 24.



Figura 24. Masa de la muestra (Fuente: La Autora).

Para determinar el volumen de la aleación se realiza el procedimiento para un cuerpo irregular donde puede calcularse de forma sencilla si se sumerge en un líquido la muestra deseada. En este caso, se utiliza el principio de Arquímedes, cuando el objeto se sumerge, además de su propio peso, sobre el cuerpo actúa el empuje del agua, figura 25.

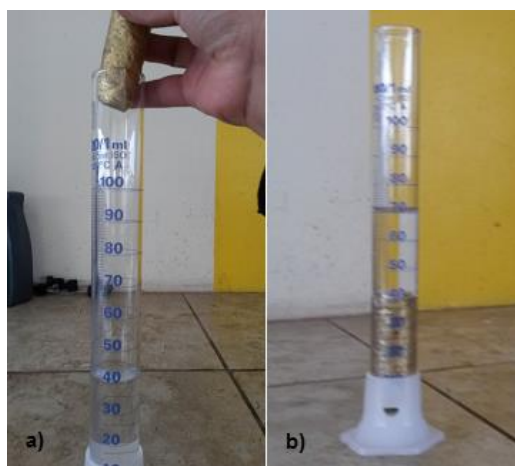


Figura 25. Volumen de la muestra a) ingreso de la muestra dentro de la probeta graduada con el volumen inicial b) desplazamiento del volumen después del ingreso de la aleación (Fuente: La Autora).

Se calcula el volumen de la aleación restando el volumen final con un valor de 71 ml (71 cm^3) del volumen inicial 40 ml (40 cm^3).

$$v = v_f - v_i$$

$$v = 71 - 40 = 31 \text{ ml}$$

Finalmente de con los datos anteriores se calcula la densidad de la aleación inteligente con memoria de forma aplicando la fórmula de la densidad.

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

$$\rho = \frac{249.3 (gr)}{31(cm^3)}$$

$$\rho = 8.042 \frac{gr}{cm^3}$$

4.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para la interpretación de los resultados se empleó cuadros y organizadores gráficos los mismos que ayudan al análisis y comparación de las pruebas realizadas durante el desarrollo del trabajo de investigación.

En la tabla 15, se muestra las cantidades en peso iniciales de los componentes cobre y zinc presentes en la aleación, seguido el análisis químico resultante después de la fundición de la aleación, cabe mencionar que es muy importante considerar el porcentaje de pérdidas por evaporación y oxidación del zinc, pues depende mucho de este parámetro la aleación resultante.

Tabla 15. Resultado análisis químico.

Prueba	Cu-Zn (gr)	Cu 60% (gr)	Zn 40% (gr)	Pérdidas	peso Zn (gr)	total Zn (gr)	%Zn	%Cu
1	3000	1800	1200	20%	240	1440	46.38	53.25
2	2500	1500	1000	11.32%	113.2	1113.2	32.7	66.94
3	3500	2100	1400	11.32%	158.48	1558.48	35.67	64.23
4	3700	2220	1480	15.30%	226.44	1706.44	45.11	54.4
5	3700	2220	1480	11.32%	167.536	1647.536	40.08	59.32

(Fuente: La Autora)

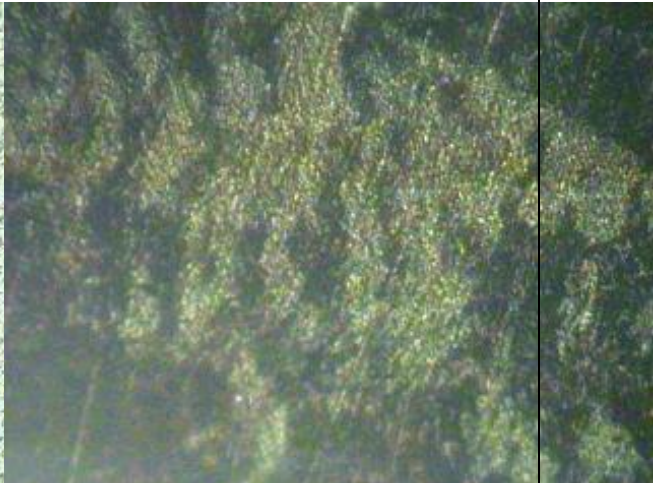
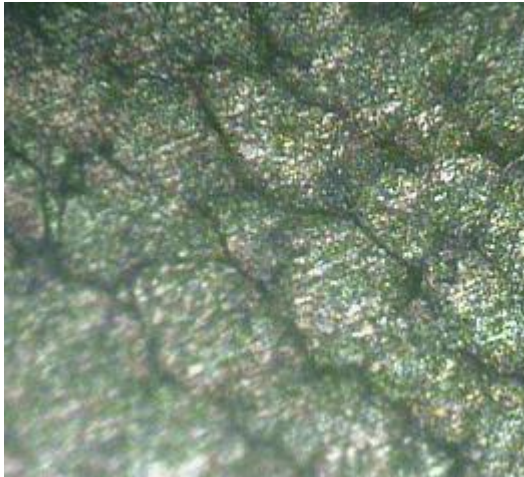
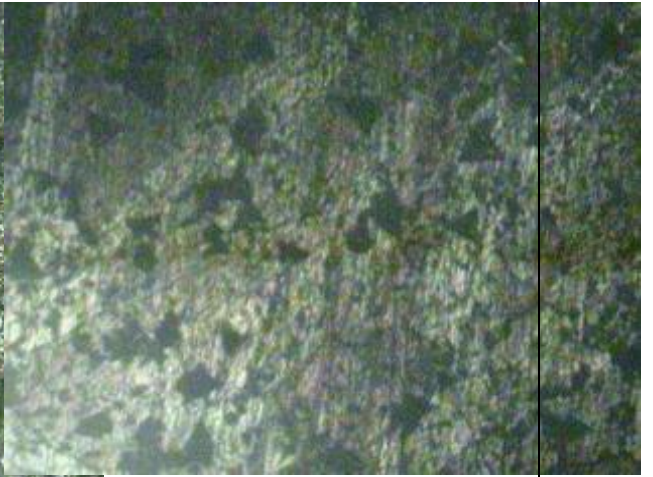
La fundición de las pruebas 1, 2, 3, se realizó en un horno a gas en la Escuela Politécnica de Chimborazo, en las mismas se obtienen valores de 46.38%, 32.7%, y 35.67% de Zinc, los cuales se debe hacer los ajustes necesarios para obtener un valor entre 38.5 % y 41.5% de Zinc, rango en el cual el material se comporta como material inteligente con memoria de forma.

Seguido las pruebas 4 y 5, se realizó en un horno a inducción en la Universidad Técnica de Ambato, dando en la prueba 4, un valor de 45.11% Zinc tomando en consideración un 15.30% de pérdidas por evaporación y oxidación de Zinc, por último se realiza la fundición de la prueba 5, la misma que se obtiene un 40.08% de Zinc siendo éste un valor que cae dentro del rango para que el material sea un material inteligente con memoria de forma.

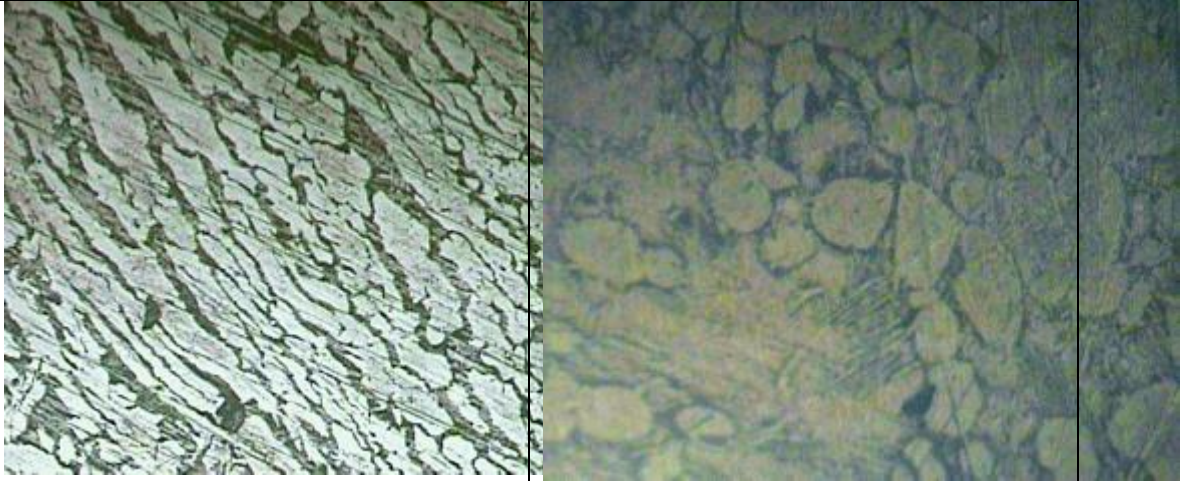
En la tabla 16, se observa el análisis metalográfico de las pruebas realizadas, a la izquierda se encuentra la metalografía de las probetas sin tratamiento térmico y a

la derecha las probetas con un tratamiento térmico temple, el mismo que se lo realiza a una temperatura de 835°C según el diagrama de fase Cu-Zn y con la ayuda de un diagrama de proceso del tratamiento térmico, posterior se realiza un enfriamiento rápido en agua a 16°C.

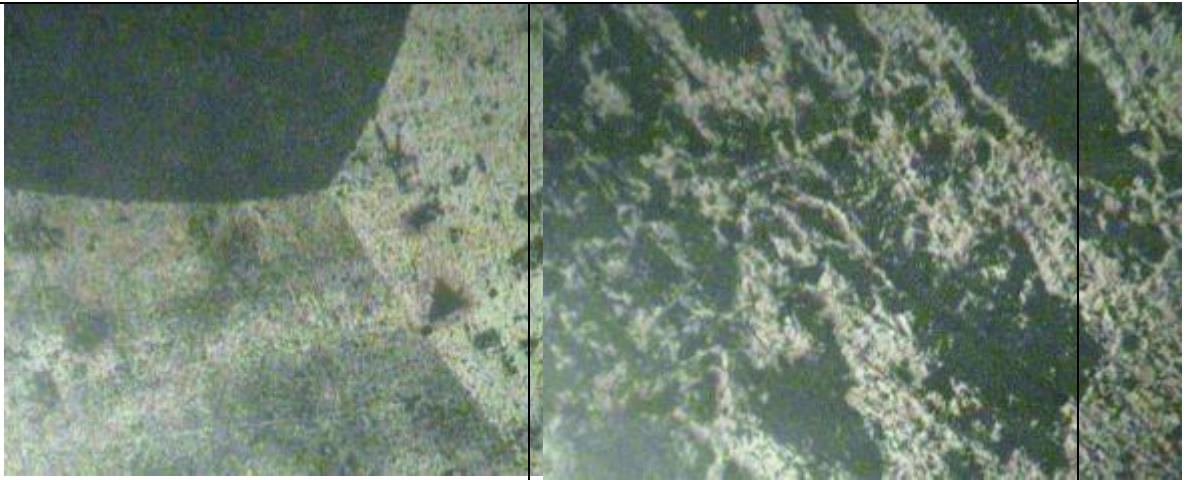
Tabla 16. Resultado del análisis metalográfico 100 X.

PRUEBA 1 (53.25% Cu - 46.38% Zn)	
Sin tratamiento térmico	Templadas en agua a 16°C
	
PRUEBA 2 (66.94% Cu - 32.7% Zn)	
	

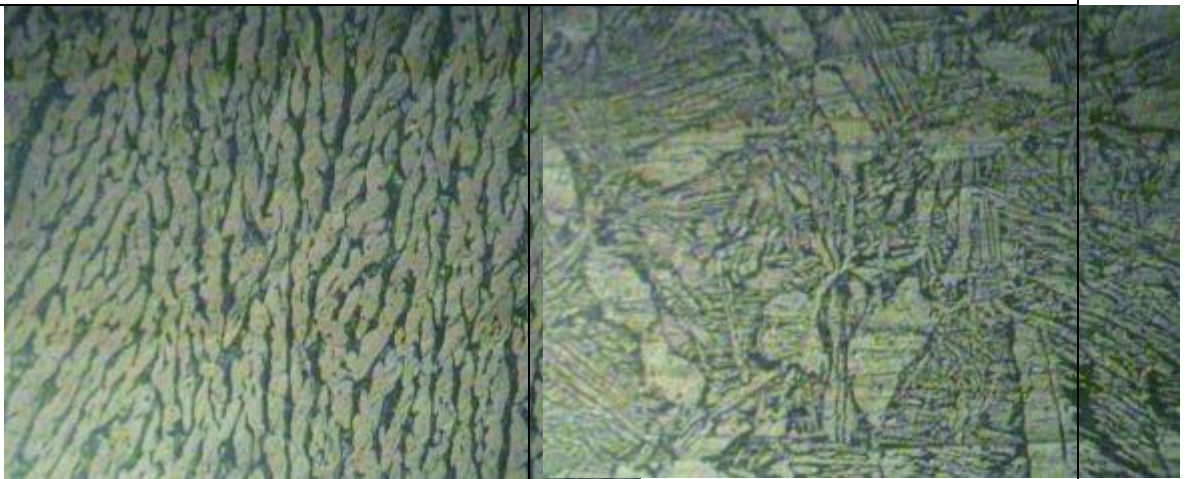
PRUEBA 3 (64.23% Cu - 35.67% Zn)



PRUEBA 4 (54.4% Cu - 45.11% Zn)



PRUEBA 5 (59.32% Cu - 40.08% Zn)



En la prueba 5, se puede observar claramente la presencia de la fase gamma (γ) fase oscura y la fase alfa (α) fase clara, en la microestructura sin tratamiento térmico, característica principal de este tipo de aleaciones. En la microestructura templada se observa la formación de la martensita junto con la presencia de un bajo porcentaje de fase alfa y de fase beta, según el diagrama de fases binario Cu-Zn (anexo 9).

En la tabla 17, se puede observar los promedios de la dureza alcanzada en las pruebas de aleación Cu-Zn, sin tratamiento térmico y las muestras templadas.

Tabla 17. Resultado del ensayo de dureza.

Prueba	Probetas sin tratamiento térmico	Probetas templadas a 835°C	Unidad
1	54.3	68.2	HRB
2	34.6	63.4	HRB
3	50.8	70	HRB
4	44	59.7	HRB
5	41.3	57.6	HRB

(Fuente: La Autora)

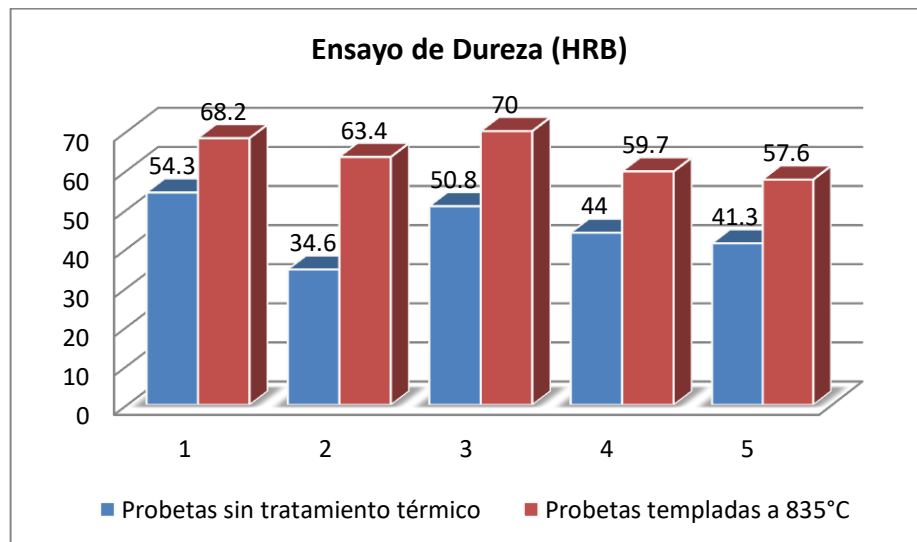


Figura 26. Gráfico comparativo de dureza (Fuente: La Autora).

En la figura 26, del gráfico comparativo de la dureza se observa que en la prueba 5 se tiene un valor de 41.3 HRB de dureza sin tratamiento térmico y 57.6 HRB de dureza en la muestra templada a 835°C en agua a 16°C, aumentando la dureza en

16.3 unidades, lo que demuestra que al realizar el temple se tiene un aumento de dureza.

En la tabla 18, se observa el resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de tracción de la prueba 5 sin tratamiento térmico.

Tabla 18. Resultado del ensayo de tracción prueba 5.

Prueba	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia de rotura (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Deformación (%)
1	64750.01	28050.01	527.63	228.57	5.12
2	57350.01	21250	467.33	173.16	4
3	62600.01	21850	510.11	178.05	4.64
4	64150.01	24200	522.74	197.2	4.32
5	62700.01	23600	510.93	192.31	3.84

(Fuente: La Autora)

Se determina un promedio de 62310.01 N de fuerza máxima que soporta el grupo de 5 probetas ensayadas sin tratamiento térmico, un promedio de fuerza de fluencia de 23790 N, un promedio de resistencia máxima a la tracción de 507.75 MPa y un promedio de límite de fluencia de 193.858 MPa.

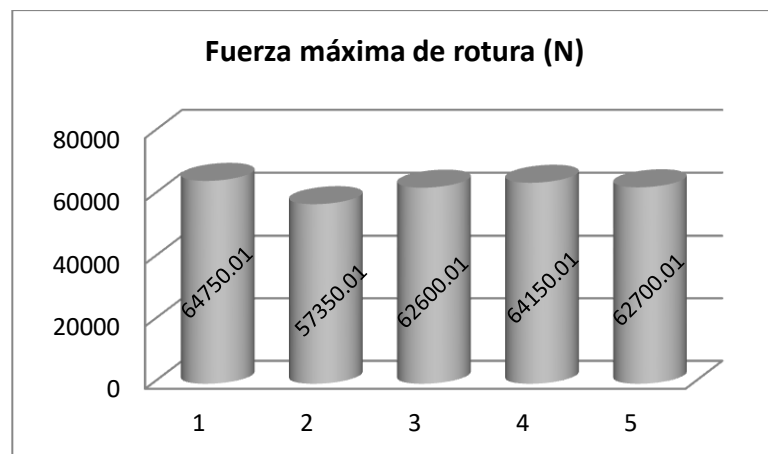


Figura 27. Diagrama fuerza máxima de rotura sin tratamiento térmico (Fuente: La Autora).

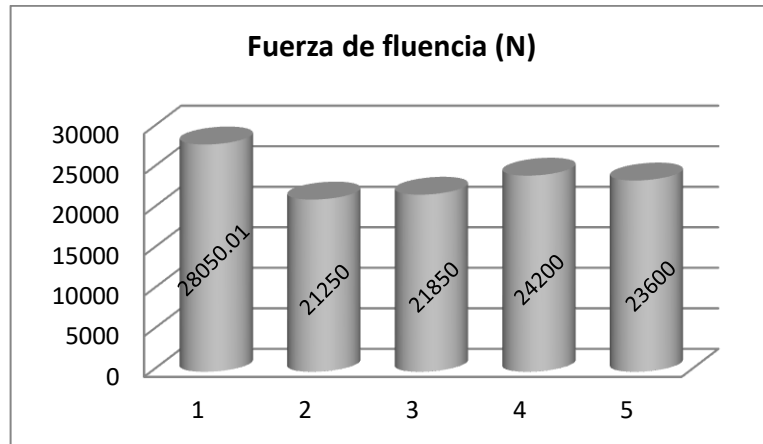


Figura 28. Diagrama de fuerza de fluencia sin tratamiento térmico (Fuente: La Autora).

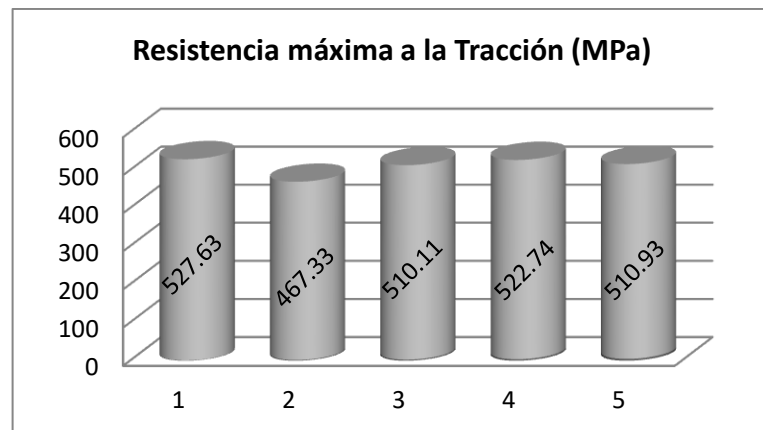


Figura 29. Diagrama de Resistencia máxima a la tracción sin tratamiento térmico (Fuente: La Autora).

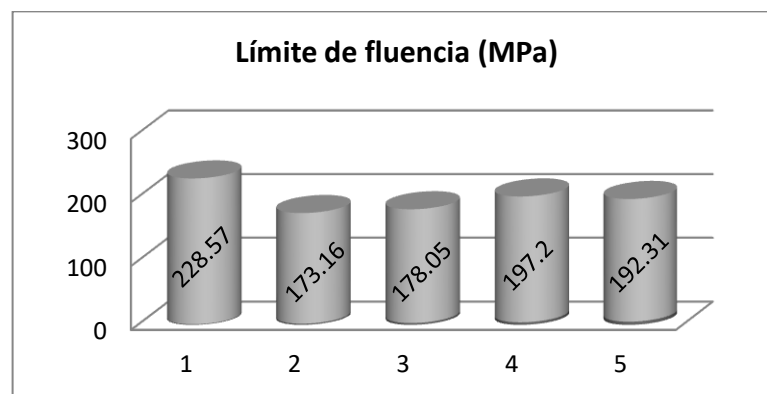


Figura 30. Diagrama de Resistencia máxima a la tracción templada a 835°C (Fuente: La Autora).

En las figuras 27, 28, 29 y 30, se muestran los diagramas de barras correspondientes a la fuerza máxima de rotura, fuerza de fluencia, resistencia máxima a la tracción y límite de fluencia respectivamente, de las probetas ensayadas sin tratamiento térmico.

En la tabla 19, se observa el resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de tracción de la prueba 5 templada a 835°C y enfriada en un medio de enfriamiento convencional (agua a 16°C).

Tabla 19. Resultado del ensayo de tracción prueba 5 templada a 835°C en agua a 16°C.

Prueba	Fuerza de rotura	Fuerza de fluencia	Resistencia de rotura	Límite de fluencia	Deformación
	(N)	(N)	(MPa)	(MPa)	%
1	59250.01	26750.01	482.81	217.98	6.88
2	64500.01	31000.01	525.59	252.61	6.4
3	66300.01	27950.01	540.26	227.76	5.44
4	64350.01	22800	524.37	185.79	6.56
5	66400.01	24100	541.08	196.38	7.12

(Fuente: La Autora)

De la tabla 19, se determina promedios de las 5 probetas templada a 835°C en agua a 16°C dando un promedio de fuerza máxima de 64160.01 N, un promedio de fuerza de fluencia de 26520.01 N, un promedio de resistencia máxima a la tracción de 522.82 MPa y un promedio de límite de fluencia de 216.10 MPa. Hay que tomar en consideración que son valores superiores en comparación con las probetas ensayadas sin tratamiento térmico.

Tabla 20. Comparación del ensayo de tracción prueba 5.

Sin tratamiento	Templadas a 835°C	Diferencia
62310.01 (N)	64160.01 (N)	1850 (N)
23790.002 (N)	26520.006 (N)	2730 (N)
507.748 (MPa)	522.822 (MPa)	15.074 (MPa)
193.858 (MPa)	216.104 (MPa)	22.246 (MPa)

(Fuente: La Autora)

En la tabla 20, se puede apreciar que los valores de las probetas templadas son superiores que las probetas ensayadas sin tratamiento térmico, lo que corrobora que al realizar un tratamiento térmico temple, mejora los valores de las propiedades de la aleación inteligente con memoria de forma, como la ductilidad del material.

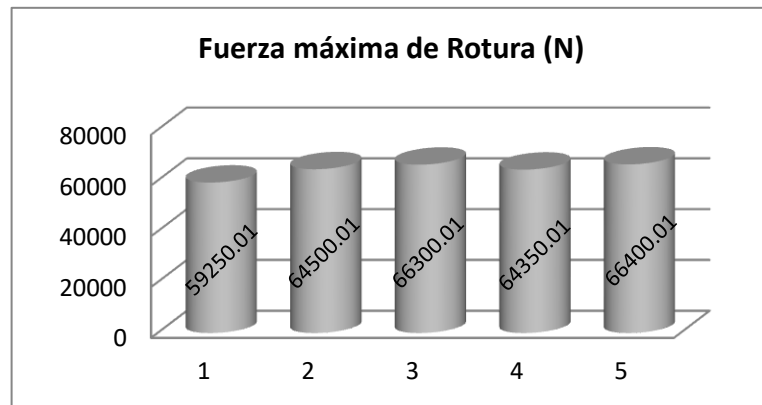


Figura 31. Diagrama fuerza máxima de rotura probetas templadas a 835°C (Fuente: La Autora).

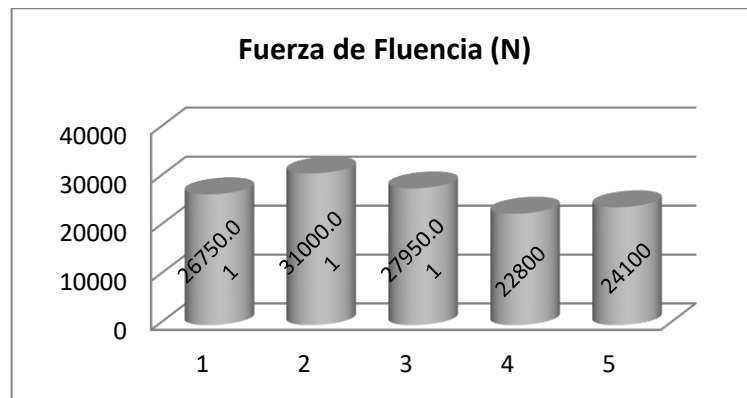


Figura 32. Diagrama fuerza de fluencia probetas templadas a 835°C (Fuente: La Autora).

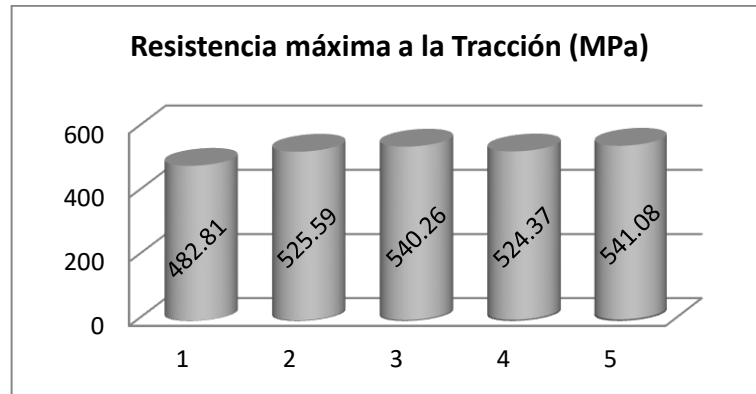


Figura 33. Diagrama resistencia máxima a la tracción probetas templadas a 835°C (Fuente: La Autora).

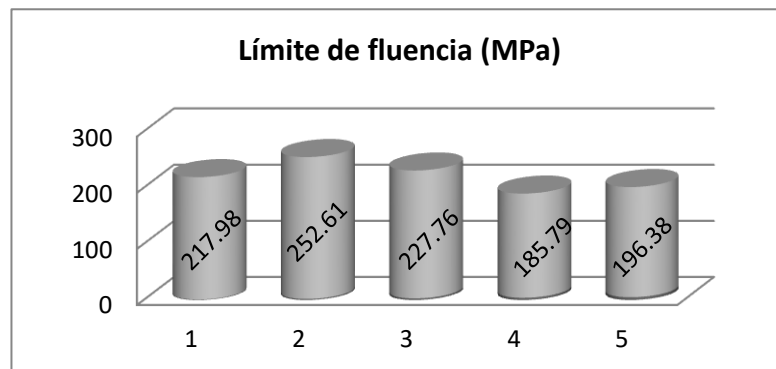


Figura 34. Diagrama límite de fluencia probetas templadas a 835°C (Fuente: La Autora).

En las figuras 31, 32, 33 y 34, se muestran los diagramas de barras correspondientes a la fuerza máxima de rotura, fuerza de fluencia, resistencia máxima a la tracción y límite de fluencia respectivamente, de las probetas templadas a 835°C y enfriadas en agua a 16°C.

A continuación en las figuras 35 y 36, se realizó el análisis del ensayo de impacto Charpy realizado a la prueba 5, sin tratamiento térmico bajo la norma E-23, cabe mencionar que se ensaya 5 probetas de las cuales posteriormente se obtiene un promedio de 18.60 J de energía absorbida y 23.20 J/cm² de resistencia al impacto.

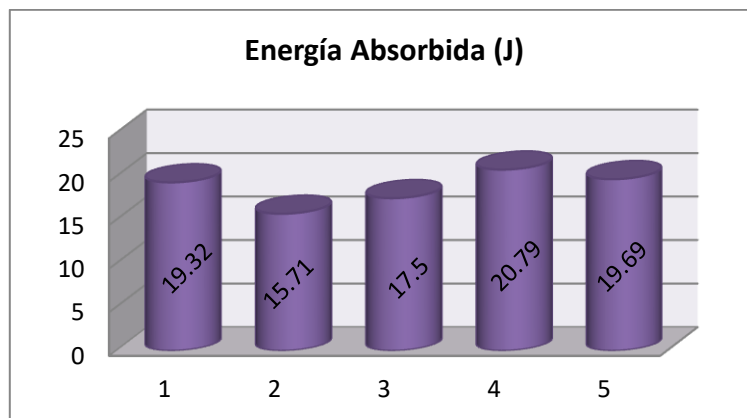


Figura 35. Diagrama energía absorbida probetas sin tratamiento térmico (Fuente: La Autora).

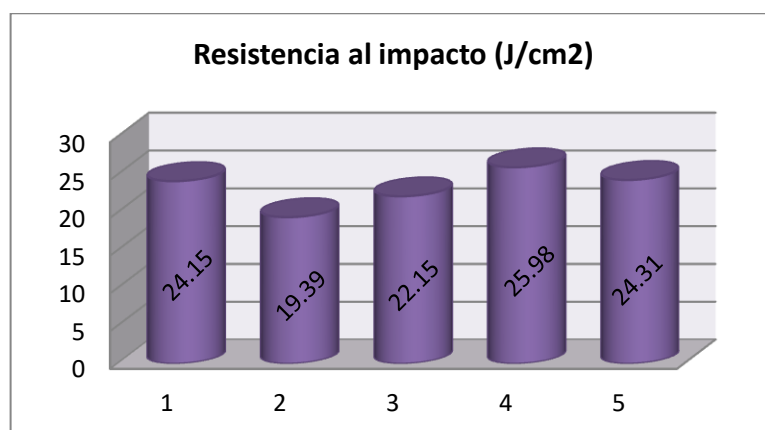


Figura 36. Diagrama resistencia al impacto probetas sin tratamiento térmico (Fuente: La Autora).

En las siguientes figuras 37 y 38, se analizó los resultados del ensayo de impacto Charpy de las probetas templadas a 835°C en agua a 16°C, luego se calcula el promedio de las 5 probetas ensayadas con un valor de 26.58 J de energía absorbida y 33.09 J/cm² de resistencia al impacto.

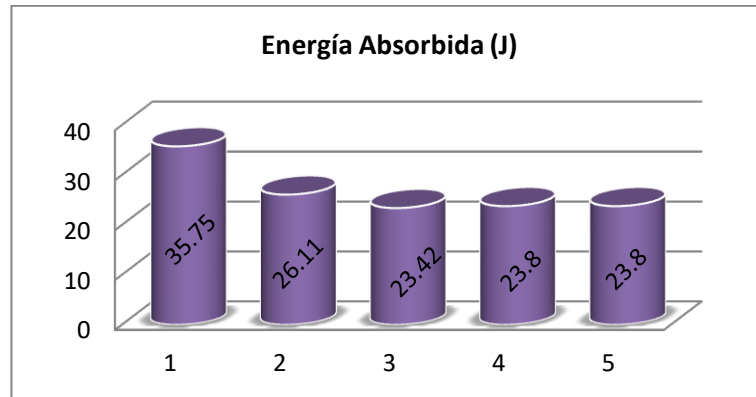


Figura 37. Diagrama energía absorbida probetas templadas a 835°C (Fuente: La Autora).

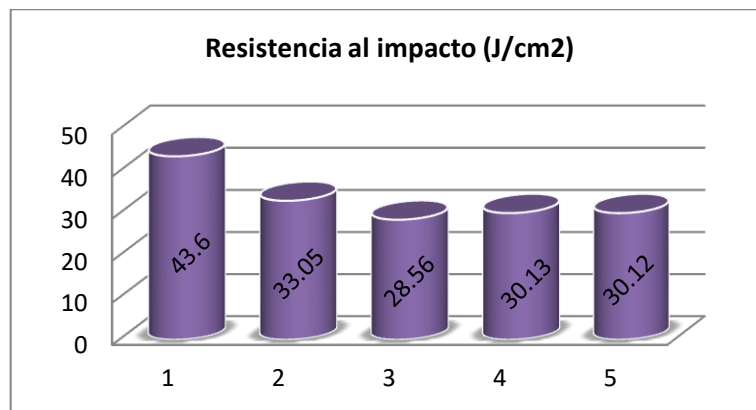


Figura 38. Diagrama resistencia al impacto probetas templadas a 835 °C (Fuente: La Autora).

Se realiza además una comparación entre los promedios de los resultados obtenidos en el ensayo de impacto Charpy de las probetas sin tratamiento térmico y de las probetas templadas a 835°C en un medio de enfriamiento convencional agua a 16°C.

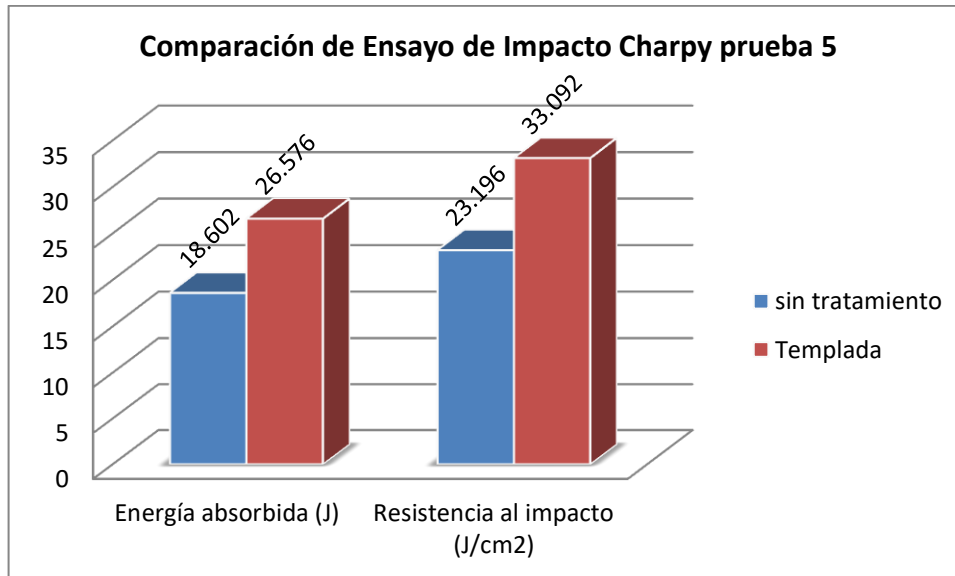

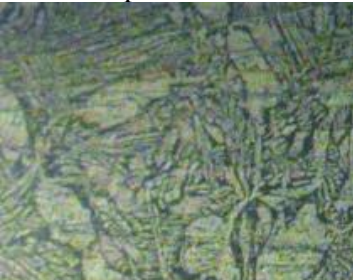


Figura 39. Comparación del ensayo de impacto (Fuente: La Autora).

En la figura 39, se puede observar que existe un incremento de 8 J en la energía absorbida que soportan las probetas templadas en comparación con las probetas sin tratamiento térmico, pues con el temple se mejoran las propiedades de la aleación inteligente con memoria de forma, además se observa que se incrementa en 10 J/cm² la resistencia al impacto en las probetas templadas.

Tabla 21. Resumen de los resultados obtenidos en los ensayos realizados de la prueba 5.

RESULTADOS PRUEBA 5 (59.32% Cu – 40.08% Zn)	
Composición química	
Elementos aleantes iniciales (peso) Cu: 2220 gr Zn: 1947.54 gr	Análisis químico Cu: 59.32% Zn: 40.08%
Ensayo Metalográfico	
Sin tratamiento térmico 	Templada a 835°C 
Aleación 59.32 %Cu y 40.08 % Zn , Sin temprar, 100X, Cobre y sus aleaciones, 4 seg. Tamaño de grano ASTM: 4.7 Fases presentes: 39.8 % de fase γ 60.2 % de fase α	Aleación 59.32 %Cu y 40.08 % Zn , Templada, 100X, Cobre y sus aleaciones, 2 seg Tamaño de grano ASTM: 6.12 Fases presentes: 3.4 % de fase α 15.1 % de fase β 81.5 % de martensita

Ensayo de Dureza	
Sin tratamiento térmico Dureza promedio: 41.3 HRB	Templada a 835°C Dureza promedio: 57.6 HRB
Ensayo de Tracción	
Sin tratamiento térmico Fuerza de rotura: 62310 N Fuerza de fluencia: 23790 N Resistencia de rotura: 507.75 MPa Límite de fluencia: 193.86 MPa Deformación: 4.38% Porcentaje de reducción de área: 12%	Templada a 835°C Fuerza de rotura: 64160 N Fuerza de fluencia: 26520 N Resistencia de rotura: 522.82 MPa Límite de fluencia: 216.10 MPa Deformación: 6.48% Porcentaje de reducción de área: 16.88%
Ensayo de Impacto Charpy	
Sin tratamiento térmico Energía absorbida: 18.6 J Resistencia al impacto: 23.2 J/cm ²	Templada a 835°C Energía absorbida: 26.6 J Resistencia al impacto: 33.1 J/cm ²

(Fuente: La Autora)

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

H₀: El estudio de la aleación Cu-Zn no permitirá evaluar el comportamiento de la aleación para desarrollar una aplicación industrial.

H₁: El estudio de la aleación Cu-Zn permitirá evaluar el comportamiento de la aleación para desarrollar una aplicación industrial.

Al determinar los resultados de los ensayos realizados a la prueba 5, con porcentajes de 59.32% de Cu y 40.08% de Zn y otros elementos para completar el 100%, se establece que es una aleación inteligente con memoria de forma la misma que recupera su forma al aplicar calor.

4.3.1 Análisis estadístico para la comprobación de hipótesis

(Funakubo, 1987) realizó una comparación entre el comportamiento de las aleaciones NiTi y CuZnAl, e indica la deformación de la aleación NiTi es de 8% y de la aleación CuZnAl es de 4%.

Según (Espín, 2012), el porcentaje de deformación de la aleación CuZnAl realizado en su estudio de investigación es de 4,23% y 3,65%, en base a estos valores se toma $\mu = 6\%$.

Los resultados determinados en esta investigación son para la deformación en las muestras templadas son: 6.88%, 6.4%, 5.44%, 6.56%, 7.12%

Nivel de significancia.

$\alpha=0,05$ para proyectos de investigación

Grados de libertad: 4

Por lo tanto:

Si $-2,1318 \leq t \leq 2,1318$ No se rechaza H_1

Si $t < -2,1318$ o $t > 2,1318$ Se rechaza H_1

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S_x}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

t = Distribución t de Student

\bar{X} = Media

μ = Valor a analizar

S_x = Desviación estándar

n = Tamaño de la muestra

Cálculos:

$$\bar{X} = 6.48$$

$$X_1 = 6.88; X_2 = 6.4; X_3 = 5.44; X_4 = 6.56; X_5 = 7.12$$

$$n = 5$$

$$S_x = ?$$

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$S_x = 0.665$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S_x}{\sqrt{n}}} = 1,614$$

$-2,1318 \leq 1,614 \leq 2,1318$ Se acepta H_1 con un nivel de significancia de 0,05 y cuatro grados de libertad, según tabla de distribución T- Student.

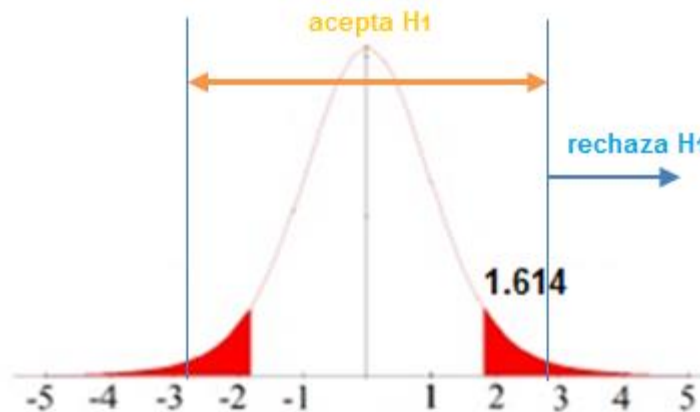


Figura 40. Verificación de la hipótesis mediante T-Student (Fuente: La Autora).

Para verificar la hipótesis también se realiza un análisis en un software, en primer lugar se realiza el planteamiento de la hipótesis nula y la hipótesis alternativa. Luego se considera un porcentaje de error que estamos dispuestos a correr durante la realización del análisis estadístico, para proyectos de investigación se considera un $\alpha=0.05$, se elige la prueba de T-Student, por tratarse de variables independientes, numéricas y por tratarse de una muestra menor de 30.

Luego se realiza la prueba de normalidad con los datos de la tabla 19 y 20, donde se tiene valores de las muestras ensayadas sin tratamiento térmico y templadas, en las que se debe corroborar que las variables se distribuyen normalmente. Para ello

se utiliza la prueba de Kolmogorov- Smirnov, cuando las muestras son grandes (>30), o la prueba de Shapiro Wilk cuando el tamaño de muestras es pequeño (<30). El criterio para determinar si la variable aleatoria se distribuye normalmente es:

- a) P-valor $\geq \alpha$ aceptar H_0 = los datos provienen de una distribución normal.
- b) P-valor $< \alpha$ aceptar H_1 = los datos no provienen de una distribución normal.

Tabla 22. Estadísticos descriptivos, porcentaje de deformación.

DEFORMACION	CON TRATAMIENTO			
		Media		4,3840
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,7464	
		Límite superior	5,0216	
	Media recortada al 5%		4,3733	
	Mediana		4,3200	
	Varianza		,264	
	Desviación estándar		,51350	
	Mínimo		3,84	
	Máximo		5,12	
	Rango		1,28	
	Rango intercuartil		,96	
	Asimetría		,608	,913
	Curtosis		-,681	2,000
	SIN TRATAMIENTO			
	Media		6,4800	,28844
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	5,6792	
		Límite superior	7,2808	
	Media recortada al 5%		6,5022	
	Mediana		6,5600	
	Varianza		,416	
	Desviación estándar		,64498	
	Mínimo		5,44	
	Máximo		7,12	
	Rango		1,68	
	Rango intercuartil		1,08	
	Asimetría		-1,240	,913
	Curtosis		1,847	2,000

(Fuente: La Autora)

Tabla 23. Normalidad de todos los valores.

TIPO_DE_TRATAMIENTO	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		Shapiro-Wilk	
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
FUERZA_DE_ROTURA	CON TRATAMIENTO	,340	5	,061	,820	5	,116
	SIN TRATAMIENTO	,326	5	,088	,806	5	,090
FUERZA_DE_FLUENCIA	CON TRATAMIENTO	,239	5	,200 [*]	,906	5	,443
	SIN TRATAMIENTO	,173	5	,200 [*]	,972	5	,889
RESISTENCIA_DE_ROTURA	CON TRATAMIENTO	,339	5	,061	,820	5	,116
	SIN TRATAMIENTO	,326	5	,088	,806	5	,090
LIMITE_DE_FLUENCIA	CON TRATAMIENTO	,239	5	,200 [*]	,906	5	,443
	SIN TRATAMIENTO	,173	5	,200 [*]	,972	5	,888
DEFORMACION	CON TRATAMIENTO	,173	5	,200 [*]	,958	5	,794
	SIN TRATAMIENTO	,251	5	,200 [*]	,913	5	,485

(Fuente: La Autora)

Tabla 24. Análisis de normalidad.

NORMALIDAD			
Fuerza de rotura	P-valor (templadas)=0.116	>	$\alpha = 0.05$
	P-valor (Sin tratamiento térmico)=0.09	>	$\alpha = 0.05$
Fuerza de fluencia	P-valor (templadas)=0.443	>	$\alpha = 0.05$
	P-valor (Sin tratamiento térmico)=0.889	>	$\alpha = 0.05$
Resistencia de rotura	P-valor (templadas)=0.116	>	$\alpha = 0.05$
	P-valor (Sin tratamiento térmico)=0.09	>	$\alpha = 0.05$
Límite de fluencia	P-valor (templadas)=0.443	>	$\alpha = 0.05$
	P-valor (Sin tratamiento térmico)=0.889	>	$\alpha = 0.05$
Deformación	P-valor (templadas)=0.794	>	$\alpha = 0.05$
	P-valor (Sin tratamiento térmico)=0.485	>	$\alpha = 0.05$
CONCLUSIÓN: Dado que todos los valores son $> \alpha$, se dice que los datos analizados provienen de una distribución normal.			

(Fuente: La Autora)

Seguido se realiza la igualdad de varianza (Prueba de Levene), en la cual se debe corroborar la igualdad de varianza entre los grupos de datos.

- a) $P\text{-valor} \geq \alpha$ aceptar H_0 = las varianzas son iguales.
- b) $P\text{-valor} < \alpha$ aceptar H_1 = existe diferencia significativa entre las varianzas.

Tabla 25. Prueba de muestras independientes.

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la ..	prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias
FUERZA_DE_ROTURA	Se asumen varianzas iguales	,000	,987	-1,003	8	,345	-1850,000
	No se asumen varianzas iguales			-1,003	8,000	,345	-1850,000
FUERZA_DE_FLUENCIA	Se asumen varianzas iguales	,303	,597	-1,455	8	,184	-2730,00400
	No se asumen varianzas iguales			-1,455	7,725	,185	-2730,00400
RESISTENCIA_DE_ROTURA	Se asumen varianzas iguales	,000	,987	-1,003	8	,345	-15,07400
	No se asumen varianzas iguales			-1,003	8,000	,345	-15,07400
LIMITE_DE_FLUENCIA	Se asumen varianzas iguales	,303	,597	-1,455	8	,184	-22,24600
	No se asumen varianzas iguales			-1,455	7,724	,185	-22,24600
DEFORMACION	Se asumen varianzas iguales	,056	,818	-5,685	8	,000	-2,09600
	No se asumen varianzas iguales			-5,685	7,617	,001	-2,09600

(Fuente: La Autora)

En la tabla 25, se observa que se asumen varianzas iguales, para todos los parámetros analizados en la prueba de Levene. Se toma el P-valor (valor de la prueba o significancia)

P-valor = 0.818 para el porcentaje de deformación, por ser la propiedad más relevante en éste tipo de aleaciones.

Una vez realizada la prueba de normalidad y la prueba de la igualdad de las varianzas, entonces se procede a realizar la decisión estadística, para el valor de deformación.

El criterio para decidir es:

Si la probabilidad obtenida P-valor $\leq \alpha$, rechace H_0 (Se acepta H_1)

Si la probabilidad obtenida P-valor $> \alpha$, no rechace H_0 (Se acepta H_0)

A continuación en la tabla 26, se realiza la toma de decisión estadística, en la que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Tabla 26. Decisión estadística.

DECISIÓN ESTADÍSTICA	
P-valor = 0.000	$\alpha = 0.05$
CONCLUSIÓN: como se tiene un valor de significancia para la prueba T-Student de $0 < (\alpha = 0.05)$, se rechaza H_0 , se acepta H_1 : El estudio de la aleación Cu-Zn permitirá evaluar el comportamiento de la aleación para desarrollar una aplicación industrial.	

(Fuente: La Autora)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn, se consigue en un horno de inducción, se realizan pruebas con variación de zinc, hasta lograr valores entre 38.5% - 41.5%, el que se consigue en la última prueba, se realiza un temple y posterior se realizan los ensayos para caracterizar la aleación.
- En la prueba 5, se realiza el cálculo de carga para 3700 gr de aleación entre cobre y zinc, considerando un porcentaje de pérdidas por evaporación y oxidación del zinc de 11.32 %, dando un valor entre el 38.5% y 41.5% de zinc, rango de porcentaje en el que la aleación se comporta como material inteligente (59.32% Cu - 40.08% Zn), luego se realiza la prueba de recuperación de forma, deformando una viruta con la aplicación de una fuerza externa, no mayor a la fuerza de ruptura del material y recobra su forma inicial al aplicar calor.
- En las probetas sin tratamiento térmico, se observa en su microestructura la presencia de fase γ (fase de color oscuro) de fase α (fase de color claro), y se tiene una dureza promedio de 41.3 HRB, en las probetas templadas a 835°C y enfriadas en agua a 16°C se tiene presencia notable de martensita con un porcentaje de 81.5% y poca presencia de fase α y fase β , con una dureza promedio de 57.6 HRB con incremento de dureza de 16.3 HRB. Los valores obtenidos en los ensayos de tracción y de impacto del grupo de probetas templadas son superiores a los valores de las probetas ensayadas sin tratamiento térmico, un valor característico de los materiales con memoria de forma es el porcentaje de elongación con

valores de 4.38 % sin temprar y un porcentaje de elongación de 6.48 % después de temprarla, asegurando con estos valores que es una aleación superelástica.

- Al determinar las propiedades mecánicas, la aleación se puede aplicar en varios campos dentro de la industria como son los resortes o muelles, los cuales tienen la función de actuadores dentro de partes eléctricas y electrónicas, acoples para unión de tuberías en las cuales resulta difícil utilizar soldaduras o bridas, conexiones de tubos conductores de fluidos y diversos actuadores mecánicos, sometidos a temperaturas altas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Utilizar el cobre y zinc elementos presentes en la aleación con el mayor grado de pureza posible, para obtener un material inteligente de alta calidad sin presencia significativa de otros elementos.
- Revisar el funcionamiento del equipo a utilizar en este caso el horno a inducción, se debe verificar las conexiones eléctricas así como las conexiones del sistema de refrigeración.
- Aislar completamente el crisol de grafito a utilizar en la fundición, con fibra de vidrio para evitar fugas de calor y contaminación con el medio exterior.
- Hacer un cálculo de carga tomando en consideración los porcentajes de los elementos que se desea obtener en la aleación, además tomar en cuenta el porcentaje de evaporación y oxidación del zinc, pues éste es un elemento con bajo punto de fusión.
- Una vez fundido el cobre, se debe precalentar el zinc para evitar el choque térmico durante la formación de la aleación, al añadir el zinc, es de gran importancia agitar la colada con la ayuda de una varilla de grafito, para que los dos elementos presentes en la aleación se mezclen y así obtener una aleación homogénea.
- Agregar mejoradores de fundición los cuales sirvan como desoxidante de la aleación para obtener mejores resultados en el proceso de fundición.

- Utilizar el equipo de protección (mandil, delantal y guantes de cuero, casco, gafas, mascarilla para gases tóxicos, zapatos de cuero), para preservar la integridad personal, pues se manejan temperaturas elevadas al realizar la aleación.
- Durante el moldeo en arena se debe dejar secar el molde durante 3 días mínimo (cajas abiertas al ambiente), para evitar segregación por presencia de humedad en las probetas fundidas.
- Después de apagar el horno a inducción, se recomienda mantener encendido el sistema de refrigeración durante 10 min, tiempo en el cual se enfría la mayoría de los componentes del equipo.
- Para realizar el tratamiento térmico Temple se debe utilizar un recipiente de acero para colocar las probetas dentro del horno, evitando así que las probetas sufran algún daño por el contacto directo con el refractario.
- Utilizar un recipiente grande para poner el agua como medio de enfriamiento, para impedir el calentamiento del agua y asegurar el enfriamiento rápido característica importante del temple.
- Realizar el maquinado de las probetas para los ensayos bajo normas ASTM.
- Realizar el análisis en el microscopio electrónico de barrido, variando los diferentes parámetros hasta obtener los resultados esperados y fotografías lo más claras posible, para hacer las comparaciones con el microscopio óptico.
- Para realizar la determinación de fases presentes en la aleación se debe utilizar el diagrama de fases binario Cu-Zn.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

Desarrollar un procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn, con porcentajes 59.32% Cu y 40.08% Zn, material que recupera su forma original al aplicar calor y asignar una aplicación industrial.

6.1 DATOS ADMINISTRATIVOS

En el país existe poca información acerca de los materiales inteligentes, motivo por el cual se ha determinado que es importante realizar investigaciones dentro de este campo, durante el desarrollo de la presente investigación se ha realizado varios ensayos los cuales ha permitido obtener las propiedades más relevantes para calificar a la aleación 59.32% Cu - 40.08% Zn y presencia de 0.6 % de otros elementos como el silicio, elemento que pudo ser absorbido de la fibra cerámica, utilizada para cubrir el crisol durante la fundición y evitar pérdidas de calor o por contaminación con el medio, como una aleación con memoria de forma la misma que sirve para dar varias aplicaciones dentro de la industria, como actuadores mecánicos que reaccionan al contacto con el calor.

El análisis del material obtenido se lo realizó en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, otra parte de los ensayos en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, y en la Escuela Politécnica del Ejército de Latacunga.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Desde hace algunos años, un pequeño grupo de científicos han estado investigando un curioso metal llamado Nitinol, que tiene ciertas propiedades

anómalas aún no completamente entendidas o explicadas. Esto ha causado gran interés y cierta controversia para realizar varias investigaciones de las aleaciones con memoria de forma, el Nitinol resulta una opción muy cara y compleja de conseguir.

(Greninger & Mooradian) Observaron la aparición y desaparición de la fase martensítica al cambio de temperatura en la aleación de Cu-Zn (López, 2006), pero resulta difícil conseguir valores de propiedades mecánicas de este tipo de aleaciones.

6.3 JUSTIFICACIÓN

Es de gran importancia realizar este tipo de estudio, para determinar las propiedades más representativas de la aleación con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn, las mismas que se pueda valorar para determinar aplicaciones industriales y así fomentar el desarrollo de la industria metalmecánica del país.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un procedimiento para obtener la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn, con porcentajes 59.32% Cu - 40.08% Zn, material que recupera su forma original al aplicar calor.

6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Detallar el procedimiento para obtener la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn, con porcentajes 59.32% Cu - 40.08% Zn.
- Determinar una aplicación industrial para la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn, en base a las propiedades obtenidas.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Esta investigación, está basada en el estudio de Materiales que es una rama muy importante de la Ingeniería Mecánica, es factible realizarla pues se cuenta con el recurso humano y materiales necesarios. Los ensayos representativos para caracterizar la aleación con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn se realiza en la Universidad técnica de Ambato, además se cuenta con el apoyo del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero, del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua y de la Escuela Politécnica del Ejército de Latacunga donde se encuentran equipos necesarios para determinar propiedades de interés.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

Para el desarrollo de la propuesta de la investigación se tiene información bibliográfica sustentada en el capítulo II, y la parte experimental del capítulo IV en el cual se muestra el análisis e interpretación de los resultados.

El principio fundamental de las aleaciones con memoria de forma es la transformación martensítica que ocurre en la microestructura del material una vez que se ha aplicado un esfuerzo externo. Esta transformación, según sea el caso, puede ser reversible, vale decir, bajo determinadas condiciones se puede volver al estado austenítico o martensítico inicial, es decir, recuperar su forma. El efecto superelástico está ligado a lo anterior, en el cual la transformación de austenita a martensita se realiza mediante una deformación elástica o maclado, proceso que es reversible una vez retirado el esfuerzo que lo provocó. La memoria de forma ocurre en presencia inicial de estructura martensítica. Dependiendo del tipo de aleación y tratamiento térmico se aplica cierta temperatura a la pieza, la cual hace estable la fase austenítica nuevamente, retornando así a la forma original (López, 2006).

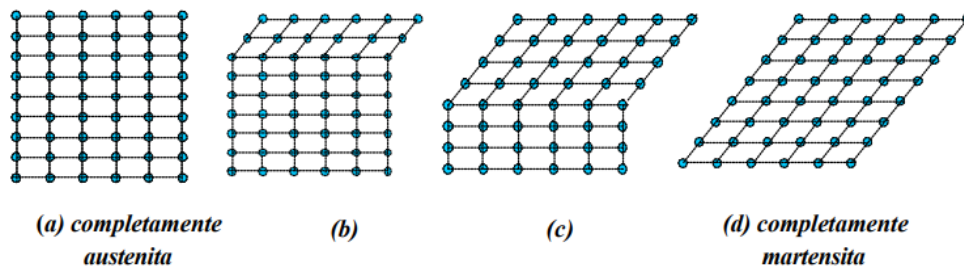


Figura 41. Esquema en dos dimensiones de la transformación austenita a martensita, a) completamente austenita, b) y c) a medida que la interface avanza cada capa de átomos se desplaza solo una pequeña distancia, d) completamente martensita. Fuente: (López, 2006, pág. 17)

En la figura 42, se muestra el ciclo de temperaturas típico de un material SMA. Ms y Mf corresponden a las temperaturas de inicio y término de la transformación martensítica respectivamente, As y Af, temperaturas de inicio y de fin de la transformación austenítica, la fase madre (austenita) se representa por un retículo cuadrado y la martensita por un retículo rómbico.

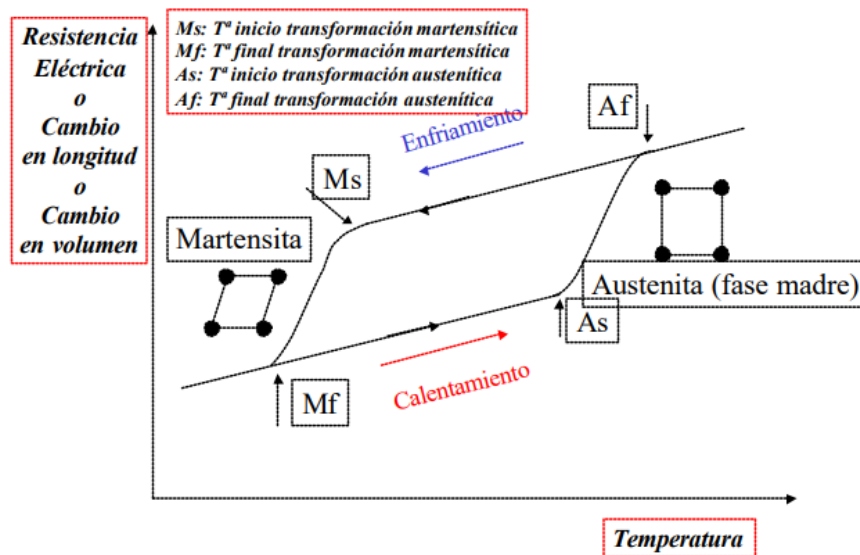



Figura 42. Representación de los cambios en las propiedades vs cambios de temperatura. Fuente: (López, 2006, pág. 23).

6.7 METODOLOGÍA

A continuación se detalla el grupo de procedimientos ordenados para obtener la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn, los mismos que se presentan a continuación.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)		CÓDIGO: PSMA 00
			REVISIÓN: 00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.		
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	1 de 19
<p>1. OBJETIVO:</p> <p>Describir el procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.</p> <p>2. ALCANCE:</p> <p>Este procedimiento se desarrolla para conocer la forma para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn, y definir sus propiedades representativas, para darle una aplicación industrial.</p> <p>3. NORMAS:</p> <p>ASTM E-3, ASTM E-112, ASTM E-8, ASTM E-18, ASTM E-23, ASTM E-407</p> <p>4. RESPONSABILIDAD:</p> <p>La persona responsable del desarrollo del procedimiento es la autora del trabajo de investigación, con los colaboradores en cuanto al uso de los laboratorios y guías de investigación.</p> <p>5. DEFINICIONES:</p> <p>-SMA: Shape Memory Alloys (Aleación con memoria de forma). Material que recupera su forma ante la presencia de algún estímulo.</p> <p>-Indentación: Muesca o Escotadura en un borde o superficie.</p> <p>-Histéresis: Es la tendencia de un material a conservar una de sus propiedades, en ausencia del estímulo que la ha generado.</p>			
Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)		CÓDIGO:	PSMA 00
			REVISIÓN:	00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.			
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	2 de 19	

6. DESARROLLO:

Para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn se debe seguir los pasos que se detallan a continuación:

6.1. Moldeo en arena.



Figura 43. Molde en arena macho y hembra (Fuente: La Autora).

Se elabora probetas de madera cilíndricas de 25 mm de diámetro y 300 mm de longitud, las mismas que servirán como molde. En una caja de madera se realiza el moldeo de las probetas con arena, ésta arena debe estar desmenuzada y debe tener un 7.5% de humedad comprobando con la prueba del puño, como se muestra en la figura 43.

Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:
--	--	----------------------	-----------------------------

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)		CÓDIGO:	PSMA 00
			REVISIÓN:	00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.			
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	3 de 19	

Se debe colocar los moldes y cernir una capa con arena fina en la caja para facilitar el desmoldeo, después se debe colocar la arena húmeda y presionar hasta que la arena quede completamente compactada en los moldes macho y hembra. Se coloca los bebederos y canales de distribución.

6.2. Preparación de la materia prima.

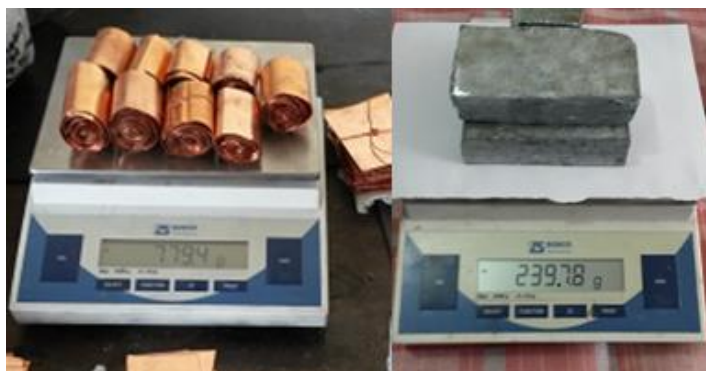


Figura 44. Peso del cobre y zinc (Fuente: La Autora).

La materia prima que se utiliza para la elaboración de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn, es el cobre electrolítico y ánodos de zinc, los cuales tienen alto grado de pureza adquiridos en GALVANO ciudad de Quito, el material se debe cortar en pedazos pequeños para poder pesar en una balanza electrónica y posteriormente colocar la carga dentro del crisol de grafito.

Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:
--	--	----------------------	-----------------------------

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)		CÓDIGO:	PSMA 00
			REVISIÓN:	00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.			
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	4 de 19	

Tabla 27. Cantidad de cada elemento presente en la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.

Elementos	Peso (gr)
Cobre (Cu)	2220
Zinc (Zn)	1647.54
TOTAL	3867.54

(Fuente: La Autora)

6.3. Preparación del equipo para fundición.

La fundición se realiza en un horno a inducción YONGKANG YUELON ELECTRONIC EQUIPMENT y con un crisol de grafito con capacidad para 5 Kg, el mismo que se encuentra en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. Se debe comprobar el estado de las conexiones tanto eléctricas como del sistema de refrigeración y se debe ajustar todos los parámetros de funcionamiento del horno según los detalles mencionados en la tabla 28, luego se enciende el horno y se verifica que no se active ninguna alarma de seguridad del equipo.

Es de vital importancia utilizar equipo de seguridad para precautelar la integridad personal, durante el proceso de fundición.

Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:
--	--	----------------------	-----------------------------

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)		CÓDIGO:	PSMA 00
			REVISIÓN:	00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.			
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	5 de 19	

Tabla 28. *Parámetros de funcionamiento del horno a inducción.*

Parámetros	Descripción
Voltaje	220 V
Operación	Automático
Frecuencia	60 Hz
Flujo de agua	6 L/min
Presión de agua	0.2 MPa
Calentamiento	40 seg
Permanencia	20 seg
Enfriamiento	10 seg
Amperaje	300-1000 A

(Fuente: La Autora)

Preparar el crisol aislando sus paredes con fibra de vidrio para evitar pérdidas de calor, cargar el crisol con cobre, elemento presenta un alto punto de fusión (1086 °C), colocar dentro de la bobina y tapar con fibra de vidrio hasta fundir el cobre.



Figura 45. *Carga del crisol con cobre en el horno a inducción*
(Fuente: La Autora)

Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:
--	--	----------------------	-----------------------------

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)		CÓDIGO:	PSMA 00
			REVISIÓN:	00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.			
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	6 de 19	

6.4. Desmoldeo de las probetas

Una vez retirado el crisol del horno a inducción junto con la aleación obtenida, se apaga el horno a inducción pero se mantiene encendido el sistema de refrigeración durante 10 min, hasta que se enfríen todos los componentes, luego se vierte la colada en el molde con mucha precaución, figura 46.



Figura 46. Probetas obtenidas después de colar la aleación en el molde (Fuente: La Autora).

Una vez obtenidas las probetas fundidas de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn, se procede a mecanizarlas según los requerimientos de los ensayos a realizarse.

Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:
--	--	----------------------	-----------------------------



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
AMBATO**
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
Maestría en Diseño Mecánico
(II Cohorte)

CÓDIGO:

**PSMA
00**

REVISIÓN:

00

DOCUMENTO: Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.

FECHA: 22/07/2017

PÁGINA:

7 de 19

6.5. Mecanizado de las probetas.

Para realizar el ensayo de tracción se elabora las probetas con la norma ASTM E8, espécimen 1 (Anexo 7), la misma que se detalla a continuación en la tabla 29 y figura 47.

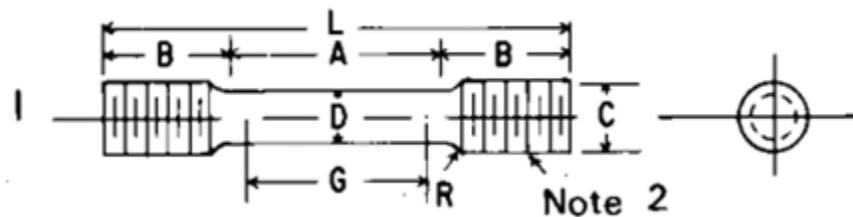


Figura 47. Dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción, espécimen 1 (Fuente: Norma ASTM E-8M, 2010, pág. 7).

Tabla 29. Especificaciones de las dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción, espécimen 1.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN (mm)
L	Longitud total	145
A	Longitud de la reducción de sección	75 mínimo
B	Distancia del fin de la sección	35 aprox.
D	Diámetro en la reducción de sección	12.5 ±0.2
G	Distancia de calibración	62.5 ±0.1
R	Radio del chaflán	10 mínimo
C	Diámetro en el final de la sección	20

(Fuente: Norma ASTM E-8M, 2010, pág. 7)

Elaborado por:
Ing. Ximena Criollo

Revisado por:
Ing. Segundo Espín, Mg

Aprobado por:

**Fecha de
aprobación:**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)		CÓDIGO: PSMA 00
			REVISIÓN: 00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.		
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	8 de 19

Para realizar el ensayo de impacto Charpy, elaboran las probetas bajo la norma ASTM E-23 (Anexo 8), como se muestra en la figura 48 y 49.

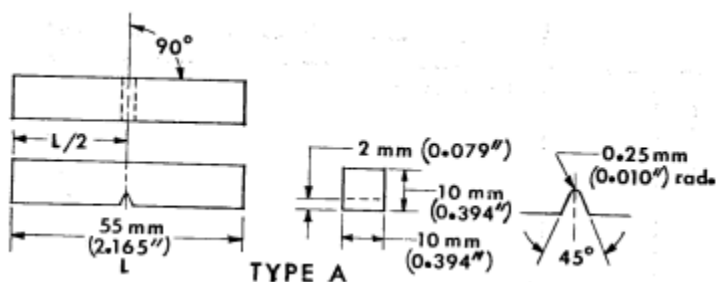


Figura 48. Dimensiones de la probeta para el ensayo Charpy tipo A, (Fuente: Norma ASTM E-23, pág. 2).



Figura 49. Probetas maquinadas para el ensayo Charpy tipo A, (Fuente: La Autora).

Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:
--	--	----------------------	-----------------------------

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)		CÓDIGO: PSMA 00
			REVISIÓN: 00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.		
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	9 de 19

6.6. Tratamiento térmico

Para que la aleación se comporte como material inteligente es necesario realizar un tratamiento térmico temple, para obtener martensita en la microestructura y mejorar las propiedades. El enfriamiento se realiza en un medio convencional, agua a 16°C. Siguiendo el procedimiento del diagrama de la figura 50.

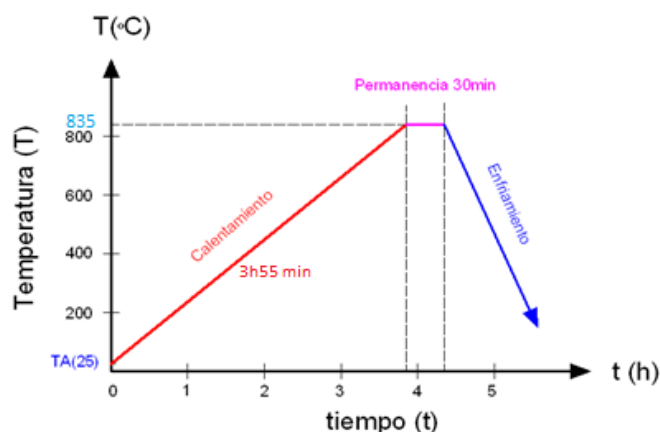


Figura 50. Diagrama de tratamiento térmico Temple (Fuente: La Autora).

Para obtener la temperatura de temple se utiliza el diagrama de fases binario Cu-Zn, en el mismo se ubica el porcentaje de Zn en el eje X y se traza una línea vertical hasta la intersección con la fase β , luego se traza dos líneas horizontales a la izquierda donde existe cambio de fase, se promedia el valor de las dos temperaturas (835°C) para una transformación óptima de martensita según anexo 9.

Para realizar el temple se utiliza un horno de mufla, las probetas se deben colocar en un recipiente de acero para evitar el contacto con el refractario.

Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:
--	--	----------------------	-----------------------------

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)		CÓDIGO: PSMA 00
			REVISIÓN: 00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.		
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	10 de 19



Figura 51. Horno y probetas para tratamiento térmico (Fuente: La Autora).

Se recomienda colocar en el interior del horno las probetas y encender el horno, esperar 3h55min para que llegue la temperatura hasta 835°C, después se deja en permanencia 30 min y se enfría en agua a 16°C, en un recipiente grande para evitar que el agua se caliente.



Figura 52. Enfriamiento de las probetas en agua a 16°C (Fuente: La Autora).

Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:
--	--	----------------------	-----------------------------

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)		CÓDIGO:	PSMA 00
			REVISIÓN:	00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.			
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	11 de 19	

6.7. Ensayo químico

Se debe realizar el análisis químico para determinar la cantidad de cada uno de los elementos presentes en la aleación inteligente con memoria de forma con un espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C con el método de comparación por fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía dispersiva (ED), el mismo que se encuentra en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, como se muestra en la figura 53.




Figura 53. Resultado de análisis químico (Fuente: La Autora).

Tabla 30. Resultado de análisis químico.

Elemento	Porcentaje
Cu	59.32
Zn	40.08
P	0.268
Si	0.17
S	0.117
Ni	0.054

(Fuente: La Autora)

Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:
--	--	----------------------	-----------------------------

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)		CÓDIGO: PSMA 00
			REVISIÓN: 00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 40.08% Zn – 59.32% Cu.		
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	12 de 19

6.8. Ensayo metalográfico

El análisis metalográfico se lo realiza en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para esto debe estar la probeta con y sin tratamiento térmico preparada, completamente plana, se procede a lijar en un banco de lijas de 240, 320, 600 y 1500 granos por pulgada (figura 54), luego se utiliza una pulidora de paño a bajas revoluciones hasta lograr una superficie con apariencia de espejo (figura 55).





Figura 54. Preparación de las probetas (Fuente: La Autora).



Figura 55. Probetas preparadas para el ensayo metalográfico (Fuente: La Autora).

Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:
--	--	----------------------	-----------------------------

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)		CÓDIGO: PSMA 00
			REVISIÓN: 00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.		
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	13 de 19
<p>Seguido se realiza el ataque químico para observar la microestructura en el microscopio óptico con el reactivo para cobre y sus aleaciones ASTM E 407 fórmula 35 (20g de FeCl₃, 5 ml de HCl, 1 g de CrO₂ y 100ml de H₂O destilada), el mismo que se coloca una gota en la superficie de la probeta hasta observar el cambio de color a un tono rojizo muy leve (figura 56).</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Figura 56. Ataque químico (Fuente: La Autora).</p> <p>Luego se observa la estructura metalográfica obtenida, para esto se cuenta con un sistema de circuito cerrado de televisión el cual está formado por computador, cámara digital acoplada al microscopio, televisor y software.</p>			
Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)		CÓDIGO:	PSMA 00
			REVISIÓN:	00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.			
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	14 de 19	

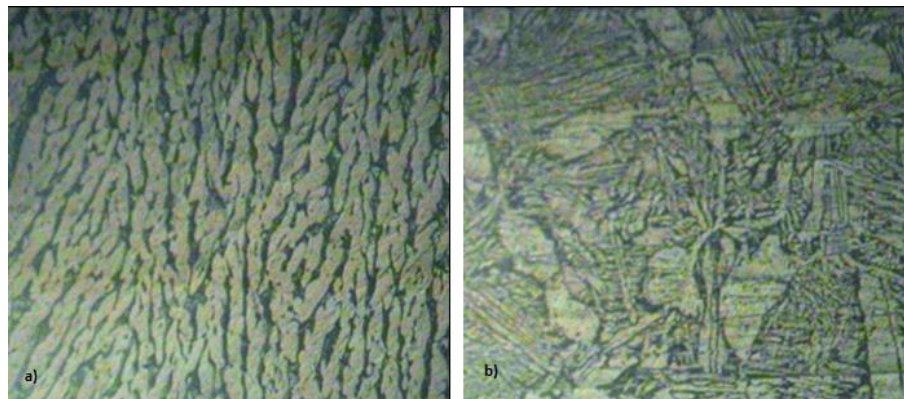




Figura 57. Resultado de la microestructura, a) aleación sin tratamiento térmico, b) aleación templada (Fuente: La Autora).

En la figura 57a, se muestra la microestructura de la aleación sin tratamiento térmico, en la cual se observa presencia de fase γ y fase α , y en la figura 57b se muestra la microestructura de la aleación templada a 835°C y enfriada en agua a 16°C, se observa la presencia de martensita. En el anexo 10, se observa la ficha para la toma de los datos del ensayo metalográfico.

6.9. Ensayo de dureza

Para los ensayos de dureza se utiliza un durómetro ROCKWELL HARDNESS TESTER HR-150A, el mismo que se encuentra en la Escuela Politécnica del Ejército de Latacunga, la escala de dureza utilizada es ROCKWELL B, previamente calibrado con su respectivo patrón.

Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:
--	--	----------------------	-----------------------------

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)		CÓDIGO: PSMA 00
			REVISIÓN: 00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.		
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	15 de 19
			
<p>Figura 58. Ensayo de dureza (Fuente: La Autora).</p> <p>En el ensayo de dureza se utiliza un penetrador de esfera de acero de 1/16 pul, con una precarga de 100 Kgf, se realiza 5 mediciones por cada probeta con y sin tratamiento térmico. En el anexo 11, se observa la ficha para la toma de los datos del ensayo de dureza.</p> <p>6.10. Ensayo de tracción</p> <p>Una vez mecanizadas las probetas para el ensayo de tracción según la norma ASTM E-8M, se realiza el ensayo en la máquina universal Metro test 1500 kN, 5 probetas con y sin tratamiento térmico, como se muestra en la figura 59.</p>			
Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)	CÓDIGO:	PSMA 00
		REVISIÓN:	00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.		
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	16 de 19



Figura 59. Ensayo de tracción, máquina universal y probetas ensayadas (Fuente: La Autora).

En la figura 60, se muestra la curva de esfuerzo vs deformación obtenida de la aleación con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn. En el anexo 12, se observa la ficha para la toma de los datos del ensayo de tracción.

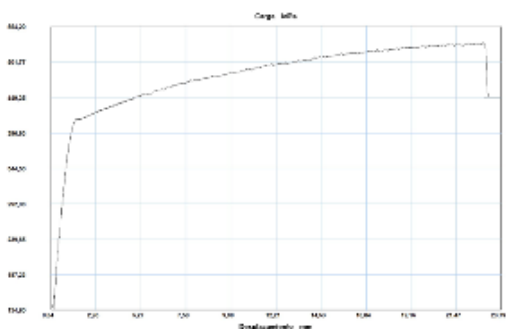


Figura 60. Curva esfuerzo- deformación (Fuente: La Autora).

Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:
--	--	----------------------	-----------------------------

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)	CÓDIGO:	PSMA 00
		REVISIÓN:	00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.		
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	17 de 19

6.11. Ensayo Charpy (Impacto)

Una vez maquinadas las probetas bajo la norma ASTM E-23 se realiza el ensayo de impacto en la Máquina de ensayos Charpy. PIC 450 J, la misma que se encuentra en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero Gobierno Provincial de Tungurahua.



Figura 61. Ensayo Charpy (Fuente: La Autora).

Se realiza en ensayo a las probetas con y sin tratamiento térmico de la aleación inteligente con memoria de forma. En el anexo 13, se observa la ficha para la toma de los datos del ensayo de impacto Charpy.

6.12. Determinación de la densidad.

Para poder calcular la densidad se debe obtener datos de masa y volumen de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn, los cuales se toman con una balanza electrónica y con la ayuda de una probeta graduada para determinar el desplazamiento de volumen al tratarse de una forma irregular, respectivamente.

Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:
--	--	----------------------	-----------------------------

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)		CÓDIGO: PSMA 00
			REVISIÓN: 00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.		
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	18 de 19



Figura 62. Determinación de la masa de la aleación inteligente con memoria de forma (Fuente: La Autora).

Para determinar el volumen de la aleación se realiza el procedimiento para un cuerpo irregular, se sumerge en un líquido la muestra deseada y se observa el desplazamiento del volumen.

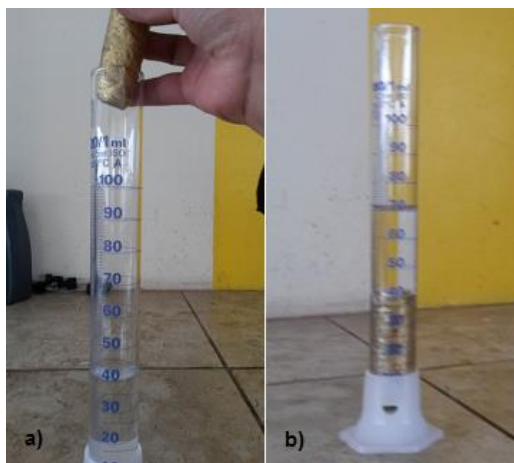



Figura 63. Determinación del volumen de la aleación inteligente con memoria de forma, a) volumen inicial, b) volumen final (Fuente: La Autora).

Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:
--	--	----------------------	-----------------------------

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Maestría en Diseño Mecánico (II Cohorte)		CÓDIGO: PSMA 00
			REVISIÓN: 00
DOCUMENTO:	Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn.		
FECHA:	22/07/2017	PÁGINA:	19 de 19
<p>Una vez obtenido los valores de masa $m = 249.3 \text{ gr}$ y el valor del volumen $v = 31 \text{ ml}$ (31 cm^3), se realiza el cálculo de la densidad, aplicando su fórmula.</p> $\rho = \frac{m}{V}$ $\rho = \frac{249.3 \text{ (gr)}}{31(\text{cm}^3)}$ $\rho = 8.042 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ <p>Entonces se determina que la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn, tiene una densidad de $8.042 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$</p>			
Elaborado por: Ing. Ximena Criollo	Revisado por: Ing. Segundo Espín, Mg	Aprobado por:	Fecha de aprobación:

6.7.1 Determinación de la aplicación industrial

La aplicación que se da a la aleación inteligente con memoria de forma de 59.32% Cu - 40.08% Zn, es de apertura y cierre de un circuito eléctrico, se procede a obtener láminas finas con la ayuda de una cortadora de hilo, la misma que tiene un espesor de 0.18 mm como se muestra en la figura 64.

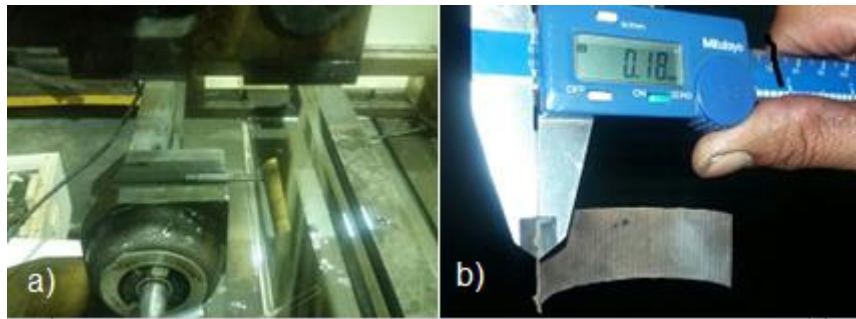


Figura 64. Obtención de la lámina de aleación 59.32% Cu - 40.08% Zn. a) cortadora de hilo, b) medición de espesor (Fuente: La Autora).

La lámina obtenida funciona como un actuador al momento del contacto con la temperatura de $125^{\circ}\text{C} \pm 10$, la distancia máxima para que la lámina que tiene la función de contacto y para que reaccione al estímulo es 0.65 mm, valor que está tomado con una galga de calibración.

Con la ayuda de software de diseño para circuitos electrónicos, se diseñó el circuito básico para verificar el correcto funcionamiento de los componentes.

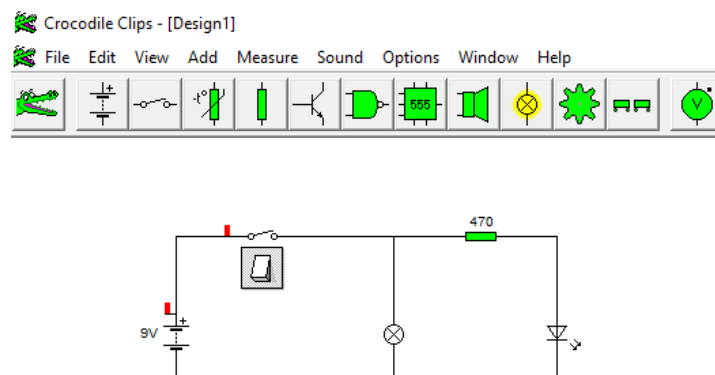


Figura 65. Componentes del diseño del circuito básico para la aplicación de la aleación inteligente (Fuente: La Autora).

En la figura 65, se muestran los componentes del circuito, cabe mencionar que se va a reemplazar el interruptor por una lámina de la aleación inteligente con

memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn en forma de espiral, la misma que está en la posibilidad de reaccionar ante el estímulo del calor cerrando el circuito y en este caso encendiendo el led.

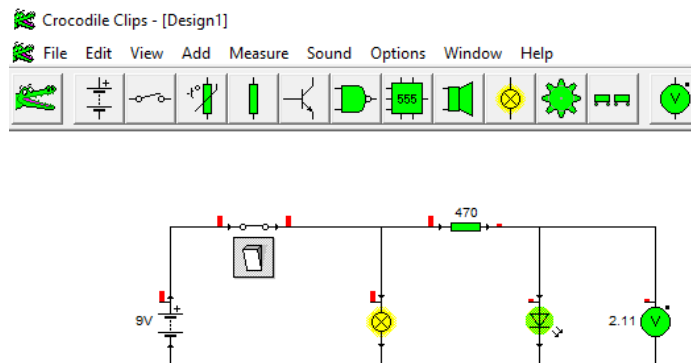


Figura 66. Funcionamiento del circuito básico (Fuente: La Autora).

Una vez plasmada la idea en el circuito electrónico, se procede a construir la maqueta demostrativa a 110V, utilizando un controlador de temperatura, un contactor, una termocupla, una resistencia de pila (generador de calor), una luz piloto indicadora tipo led, un gabinete metálico como se muestra en la figura 67.



Figura 67. Componentes del circuito para comprobación de la memoria de forma de la aleación 59.32% Cu - 40.08% Zn (Fuente: La Autora).

Con la ayuda de una lámina o galga de calibración se mide la distancia máxima a la cual la lámina obtenida de material inteligente reacciona ante el estímulo (calor generado por una resistencia).

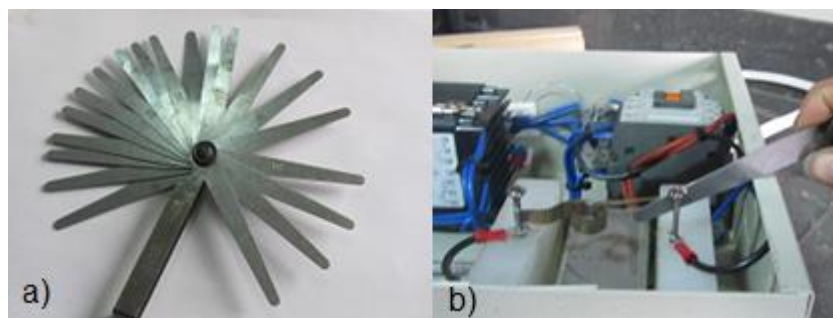


Figura 68. a) Galga de calibración utilizada, b) medición de la distancia máxima para que la lámina reaccione al estímulo (Fuente: La Autora).

Acoplados todos los componentes de la maqueta demostrativa se realiza pruebas en las que se determina la distancia máxima 0.65 mm, la temperatura de funcionamiento óptima para que la lámina reaccione $125^{\circ}\text{C}\pm 10$, los tiempos para el funcionamiento del sistema.

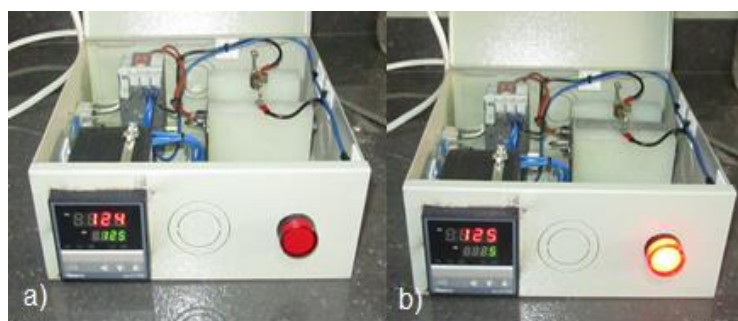


Figura 69. Sistema demostrativo, a) Circuito abierto, b) Circuito cerrado (Aleación inteligente reacciona al estímulo) (Fuente: La Autora).

En la figura 69, se observa el sistema demostrativo, se recomienda esperar a que la temperatura se estabilice para poner la resistencia en contacto con la lámina de material inteligente, poner en contacto con la resistencia, después de 15 segundos se enciende la luz indicadora, mantener 30 segundos de permanencia de contacto con la resistencia y lámina, luego se retira la resistencia y después de 15 segundos se apaga el sistema.

Con ésta prueba se verifica el funcionamiento del material inteligente con memoria de forma, el que se puede utilizar en mecanismos para contactores de relés térmicos o en actuadores que estén sujetos a altas temperaturas, y en sistemas donde no se tenga riesgos de afectar a vidas humanas.

6.8 ADMINISTRACIÓN

A continuación se presentan las tablas de los costos que estuvieron presentes para el desarrollo de la investigación, tomando en cuenta todos los recursos materiales necesarios para las diferentes pruebas realizadas, los materiales para la elaboración de la propuesta, los recursos humanos y recursos varios para determinar el recurso económico total.

Tabla 31. Recursos materiales.

Cantidad	Descripción	Unidad	Precio unit.	Total
50	Cobre electrolítico	Kg	2.5	125
20	Zinc	Kg	5.5	110
1	Crisol de grafito	u	60	60
1	Arco de sierra 12" PRETUL	u	10	10
2	Hojas de Sierra	u	2	4
1	Lima fina TRUPER	u	8.75	8.75
1	Pulidora manual p/auto PRETUL 110W	u	47.95	47.95
1	Paño metalográfico	m	25	25
2	Pliegos de lija N° 240	u	0.6	1.2
2	Pliegos de lija N° 320	u	0.6	1.2
2	Pliegos de lija N° 600	u	0.6	1.2
2	Pliegos de lija N° 1500	u	0.6	1.2
1	Maquinado de probetas	u	20	20
1	Maquinado de probetas ensayo tracción	u	150	150
1	Maquinado de probetas ensayo Charpy	u	50	50
1	Ensayo de tracción	u	112	112
1	Ensayo de Charpy	u	100	100
1	Ensayo de dureza	u	150	150
5	Análisis químico	u	80	400
1	Mascarilla de protección para gases	u	35	35
1	Mandil de cuero	u	10	10
1	Par de guantes de cuero	u	12	12
1	Gafas de seguridad	u	10	10
2	Lana de vidrio	lb	4	8
			SUBTOTAL 1	1452.5

(Fuente: La Autora)

Tabla 32. Recursos materiales elaboración de la propuesta.

Cantidad	Descripción	Unidad	Precio unit.	Total
1	Control de temperatura TPC digit 72*72	u	60	60
1	Termocupla tipo K CNC tornillo WRNKX-31	u	18	18
1	Gabinete metálico liviano 25*25*10	u	20	20
2	Resistencia de pila	u	12	24
3	Cable flexible TFF N° 14	m	0.35	1.05
1	Contactador GMC 12, 3HP, 3.5 kW, 110 V	u	20	20
1	Batería 9 V	u	4.5	4.5
			SUBTOTAL 2	147.55

(Fuente: La Autora)

Tabla 33. Recursos humanos.

Cantidad	Descripción	Unidad	Precio unit.	Total
1	Recolector de información	u	60	60
1	Ayudante preparación probetas	u	50	50
			SUBTOTAL 3	110

(Fuente: La Autora)

Tabla 34. Recursos varios.

Cantidad	Descripción	Unidad	Precio unit.	Total
1	Útiles de oficina	u		400
			SUBTOTAL 4	400

(Fuente: La Autora)

Tabla 35. Gastos totales de investigación.

Descripción	VALOR
Recursos materiales	1452.5
Recursos materiales elaboración propuesta	147.55
Recursos humanos	110
Recursos varios	400
SUBTOTAL	2110.05
10 % imprevistos	211.005
TOTAL	2321.055

(Fuente: La Autora)

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Con la culminación del presente trabajo de investigación se determina que la aleación 59.32% Cu - 40.08% Zn, tiene un comportamiento de material inteligente con memoria de forma, la misma que al aplicar un esfuerzo externo sufre una deformación y recupera su forma con la acción del calor (memoria térmica). Los ensayos necesarios para determinar las propiedades representativas se los ha realizado en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, en la Escuela Politécnica de Chimborazo, en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero Gobierno Provincial de Tungurahua, en la Escuela Politécnica del Ejército de Latacunga, entidades que aportaron al desarrollo de la investigación.

Se sugiere tomar en cuenta el procedimiento, conclusiones y recomendaciones para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 59.32% Cu - 40.08% Zn, que resultan útiles para el desarrollo de investigaciones futuras en las cuales se puede obtener propiedades para dar otras aplicaciones industriales.

Además se sugiere a futuros investigadores interesados en el tema realizar curvas de histéresis para la aleación inteligente con memoria de forma obtenida, parámetro que no se ha realizado en esta investigación.

Es importante mencionar que realizar estudios en el Área de Materiales aporta en gran magnitud al desarrollo de las industrias pues comúnmente se utilizan éstos materiales en metalmecánica, además de esta manera se contribuye con el desarrollo del país.

6.10 BIBLIOGRAFÍA

- Arias, L., & Vanegas, L. (2004). Materiales compuestos inteligentes. *Scientia et Technica*, 145-142.
- Askeland, D. (2011). *Ciencia e Ingeniería de Materiales*. Iztapalapa, México: Edamsa Impresiones.
- Bramfitt, B., & Bencoter, A. (2002). *Metallographers Guide: practices and procedures for iron and steels*. ASM International.
- Callister, W. (2007). *Materials Science and Engineering*. New York, United States of America: Clearance Center.
- Cano, A. (2010). *Estudio e implementación de actuadores basados en aleaciones SMA*. Madrid, España: Universidad Carlos II.
- Carrillo, M., Archila, J., & Vargas, G. (2010). *Materiales inteligentes y sostenibles, estudio aplicaciones industriales*. Campiña Grande.
- Espín, S. (2012). *Estudio de la aleación con memoria de forma CuZnAl para determinar su aplicación industrial*. Ambato, Ecuador.
- Fanakubo, H. (1987). *Shape Memory Alloys*. Gordon and Breach Science Publishers.
- Gibson, P. (2008). *Fabricación y caracterización de una aleación con memoria de forma CuZnAl considerada para disipadores sísmicos*. Santiago de Chile, Chile.
- Greninger, A. B., & Mooradian, V. G. (s.f.). *Strain transformation in metaestable beta copper-zinc and beta copper-tin alloys*. Trans: AIME.
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. México: The McGraw-Hill Companies.
- Herranz, S. (2011). Control de posición de un material con memoria de forma (SMA). *Universidad Carlos III (Tesis de grado)*. Madrid, España.
- Klemas, J. (2002). Materiales Inteligentes Aleaciones metálicas y Polimeros con memoria de forma. *CES Medicina*, 10.
- López, D. I. (2006). *Ensayos para la caracterización de las aleaciones con memoria de forma NiTi*. Catalunya, España.
- Matamoros, A., & Gonzales, B. (2013). *Desarrollo de acople con memoria de forma. Tecnología en Marcha*.

- Morrall, F., Jimeno, E., & Molera, P. (2004). *Metalurgia General*. Barcelona. España: Reverté, S.A.
- Ortega, J. (1990). *Corrosión industrial*. Barcelona. España: Marcombo S.A.
- Pazos, N. (2006). *Tecnología de los Metales y Procesos de Manufactura*. Caracas, Venezuela: Miniprés, C. A.
- Salcido, N. (2007). *Análisis experimental de diferentes aleaciones con memoria de forma para su posible uso como disipadores de energía sísmica*. México.
- Shigley, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. Naucalpan de Juárez. México: McGraw-Hill de México.
- Smith, W. (2006). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. México: McGraw-Hill Interamericana Editores, S. A.
- Arnedo, A. (2012). *Materiales con memoria de forma, el Nitinol | Blog SEAS*. Blog SEAS. Recuperado el 2017, from https://www.seas.es/blog/disenio_mecanico/materiales-con-memoria-de-forma-el-nitinol/
- Bermúdez, A., Bermúdez, A., & perfil, V. (2010). *UNIDAD VII "METALOGRAFIA" PRACTICA N° 9*. Aurismarbermudez-labdemateriales.blogspot.com. Recuperado el 2017, from <http://aurismarbermudez-labdemateriales.blogspot.com/2011/07/unidad-vii-metalografia-practica-n-9.html>
- Barreno, M., & perfil, V. (2015). *ENSAYOS DE MATERIALES*. Ensayosmiguelbarreno.blogspot.com. Recuperado el 2017, from <http://ensayosmiguelbarreno.blogspot.com/p/blog-page.html>
- Upv.es. (2017). *Materiales para ingeniería*. Recuperado el 2017, from http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm13/fcm13_3.html

ANEXOS

Anexo 1. Certificado de pureza del cobre.



CERTIFICATE OF CONFORMITY

Date : 18.12.14

Certificate NR : 0319698

Delivery Note NR :1304323-001

Customer : 173481 INDUSTRIA METALQUIMICA GALVANO
Your order : ORDEN#14-12-AM1187
Product : 129176210 ELEC. COPPER BAR 600X200X10/NP

Quantity ordered : 200,000 KG
Quantity delivered : 204,000 KG
Lot : E223 204,000 KG

in accordance with the standard hereunder :N01012

norme NF A 51-050
Cu a1 99,90 % min

Expiry date : None



This certificate of conformity has been printed on computer
therefore there is no signature.

(Fuente: Industria Metalquímica Galvano)

Anexo 2. Certificado de pureza del zinc.

CERTIFICADO DE ANÁLISIS

FECHA : 08-mar-16
 REF : SAP-11348
 DESCRIPCIÓN : ANODOS DE ZINC PLANOS
 ISO NETO : T.M.
 PALETAS :
 ATADOS : 164
 IRCAS : ZINC PLATES
 INTENEDOR : CLHU-325938-4
 ECINTOS : 4871CFA HLD1640104

LOTE	Al	Cu	Pb	Cd	Fe	Sn	Zn
1-16	0.0001	0.0006	0.0027	0.0004	0.001	0.0001	99.9951
5-16	0.0001	0.0006	0.0027	0.0005	0.001	0.0001	99.995
401-15	0.0001	0.0008	0.0024	0.0004	0.001	0.0001	99.9952

ZINC INDUSTRIAS NACIONALES S.A.
ZINSA

(Fuente: Industria Metalquímica Galvano)

Anexo 3. Resultado Análisis químico.



**LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA. ESPECTROMETRÍA POR
FLUORESCENCIA DE RAYOS X**

INFORME DE RESULTADOS N°:180415869720170726-ERX

DATOS GENERALES					
N° de proforma: EN_2017_007					
Designación del material: Materiales metálicos.					
Empresa / Cliente: Marcia Ximena Criollo Camacho.					
RUC/C.I.: 1804158697					
Dirección: Haway, Huachi Grande.			Ciudad: Ambato		
Teléfono: 095903747.					
Correo: xiomy_86@yahoo.es					
Fecha de Inicio de Ensayo: 25 de junio de 2017.					
Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en las probetas de: Aleaciones de cobre-zinc. El material fue recibido en el Laboratorio de Ensayos No destructivos (NDT) del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.					
OBJETOS DE ENSAYO					
Número de Probetas cuantificadas.					
N°	Identificación de probetas	Descripción	Material	Dimensiones (mm)	Cantidad
1	180415869720170726 - ERX 01	Probeta	Aleación cobre zinc	N/A	1
2	180415869720170726 - ERX 01	Probeta	Aleación cobre zinc	N/A	1
3	180415869720170726 - ERX 01	Probeta	Aleación cobre zinc	N/A	1
				Total	3
Observaciones: Ninguna					

	
Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Esteban López E. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Fecha de entrega de Informe: Ambato, 26 de julio de 2017.
N°. Factura: 001-002-000003032

VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Ensayos No Destructivos (NDT)
Dirección: Ambato/Catigлата. Rio de Janeiro y Toronto.
Fecha de verificación: 25 de junio de 2017.
Tipo de ensayo: Cuantitativo
Realizado por: Ing. Fernando Galarza.

RESULTADOS

ID: 06/25/17 #1 Anexo de referencia. Cuadro1
Equipo utilizado: Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C # Serie: 541828
Código del Informe vinculado: 180372348320170713-ERX
Patrón de calibración
Denominación: OLYMPUS 316
Código de identificación del patrón de verificación: 781-419-3900
Método de utilizado: Comparación por Fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía dispersiva (ED) de Materiales.
Resultado de la Verificación: Aceptada
Hora: 11 horas 30 minutos
Temperatura del ensayo: 18 °C
Conteos por segundo: 33610
Resolución (EV): 146



RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Probeta No. 1

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Análisis metalográfico.

Dirección: Ambato/Catiglata. Río de Janeiro y Toronto.

ID: 06/25/17 #19 **Anexo de referencia. Cuadro 2**

Código del Informe: 180415869720170726-ERX

Código de identificación de probetas: 180415869720170726-ERX 01

Fecha de Finalización de Ensayo: 25 de junio de 2017.

Tipo de ensayo: Cuantitativo, cualitativo.

Método de ensayo: ASTM E255 - 07 (2014): Método estándar aleaciones de cobre y cobre para la determinación de la composición química.

Equipo utilizado: Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C # Serie: 541828

Temperatura del ensayo: 18° C

Energía: 40 keV

Precisión: 0.01 **Corriente de funcionamiento:** 0.2 mA

COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA XRF

Ítem	Elemento	% Contenido	+/- Error
1	Cu	64.23	0.08
2	Zn	35.67	0.08
3	Ni	0.051	0.005
4	Fe	0.044	0.009
	Total	100%	0.174

Observaciones del ensayo: Ninguna.

Nota: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser usado con fines publicitarios y no debe ser reproducido total ni parcialmente.





VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Ensayos No Destructivos (NDT)
Dirección: Ambato/Catiglata. Rio de Janeiro y Toronto.
Fecha de verificación: 26 de junio de 2017.
Tipo de ensayo: Cuantitativo
Realizado por: Ing. Fernando Galarza.

RESULTADOS

ID: 06/26/17 #1 Anexo de referencia. Cuadro 3
Equipo utilizado: Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C # Serie: 541828
Código del Informe vinculado: 180372348320170713-ERX
Patrón de calibración
Denominación: OLYMPUS 316
Código de identificación del patrón de verificación: 781-419-3900
Método de utilizado: Comparación por Fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía dispersiva (ED) de Materiales

Resultado de la Verificación: Aceptada
Hora: 12 horas 50 minutos
Temperatura del ensayo: 18 °C
Conteos por segundo: 33610
Resolución (EV): 146



RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Probeta No. 2

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Análisis metalográfico.

Dirección: Ambato/Catiglata. Río de Janeiro y Toronto.

ID: 06/26/17 #4 Anexo de referencia. Cuadro 4

Código del Informe: 180415869720170726-ERX

Código de identificación de probetas: 180415869720170726-ERX 02

Fecha de Finalización de Ensayo: 26 de junio de 2017.

Tipo de ensayo: Cuantitativo, cualitativo.

Método de ensayo: ASTM E255 - 07 (2014): Método estándar aleaciones de cobre y cobre para la determinación de la composición química.

Equipo utilizado: Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C # Serie: 541828

Temperatura del ensayo: 18° C

Energía: 40 keV

Precisión: 0.01 **Corriente de funcionamiento:** 0.2 mA

COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA XRF

Ítem	Elemento	% Contenido	+/- Error
1	Cu	54.40	0.09
2	Zn	45.11	0.09
3	Si	0.18	0.01
4	Nb	0.128	0.008
5	S	0.126	0.007
6	Ni	0.055	0.004
	Total	100%	0.209

Observaciones del ensayo: Ninguna.

Nota: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser usado con fines publicitarios y no debe ser reproducido total ni parcialmente.





RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Probeta No. 3

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Análisis metalográfico.

Dirección: Ambato/Catiglata. Rio de Janeiro y Toronto.

ID: 06/26/17 #10 Anexo de referencia. Cuadro 5

Código del Informe: 180415869720170726-ERX

Código de identificación de probetas: 180415869720170726-ERX 03

Fecha de Finalización de Ensayo: 26 de junio de 2017.

Tipo de ensayo: Cuantitativo, cualitativo.

Método de ensayo: ASTM E255 - 07 (2014): Método estándar aleaciones de cobre y cobre para la determinación de la composición química.

Equipo utilizado: Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C # Serie: 541828

Temperatura del ensayo: 18° C

Energía: 40 keV

Precisión: 0.01 **Corriente de funcionamiento:** 0.2 mA

COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA XRF

Ítem	Elemento	% Contenido	+/- Error
1	Cu	59.32	0.09
2	Zn	40.08	0.09
3	P	0.268	0.006
4	Si	0.17	0.01
5	S	0.117	0.007
6	Ni	0.054	0.005
	Total	100%	0.208

Observaciones del ensayo: Ninguna.

Nota: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser usado con fines publicitarios y no debe ser reproducido total ni parcialmente.



Cuadro 1. Registro para reporte de composición química por Fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía dispersiva (ED). Orden No. 1, 25 de junio de 2017, Conformidad de calibración-Aceptada. Laboratorio de NDT-CFPMC.

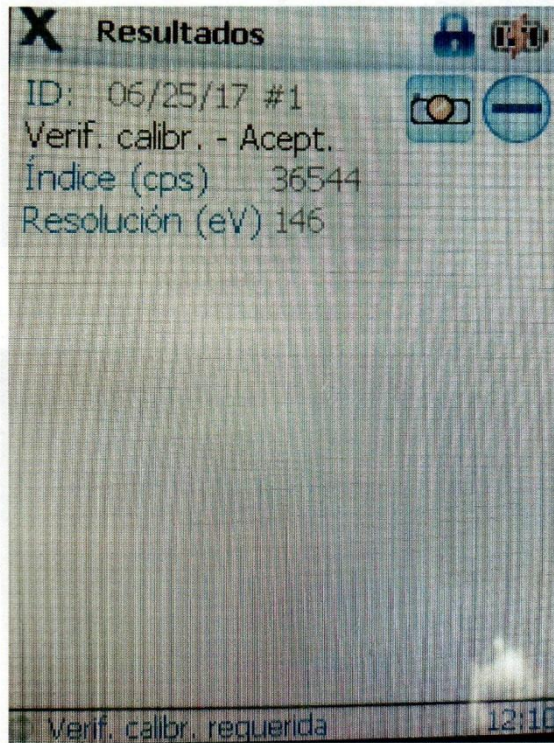


Figura 1.1 Comprobación de calibración del Instrumento/Equipo con Patrón de Referencia

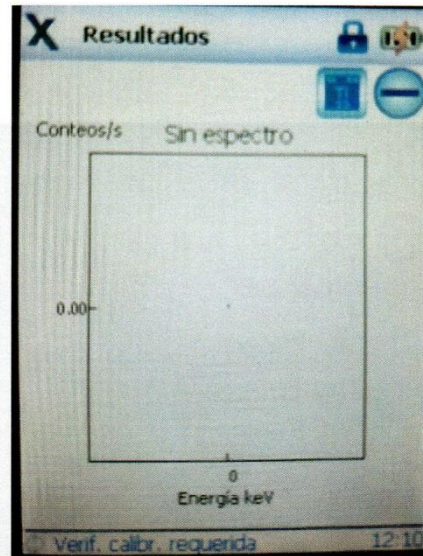


Figura 1.2 Conteos/s vs. Energía KeV

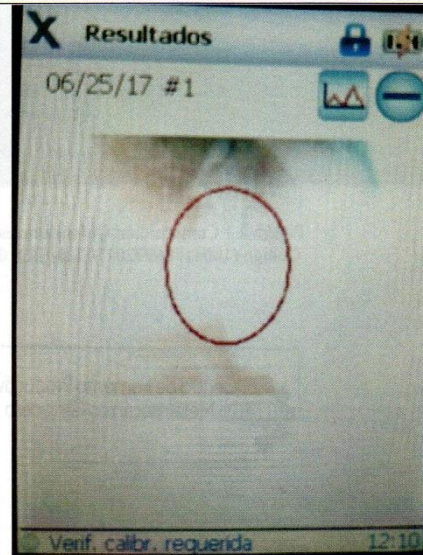


Figura 1.3 Ubicación de la muestra

(Fuente: La Autora)

Anexo 4. Resultado ensayo de tracción.



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS

Informe N°: 180415869720170704-ETM	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Marcia Ximena Criollo Camacho.	
DIRECCIÓN: Calle Hawaii, Huachi Grande, Ambato.	
NÚM. DE CEDULA / RUC: 1804158697	TELÉFONO: 0995903747
E-MAIL: xiom_y_86@yahoo.es	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales.
Designación del material: Aleación de cobre zinc.
Método de ensayo: ASTM E8 / E8M -16a.

Número de Probetas cuantificadas.

N°	Identificación de probetas	Tratamiento térmico	Cantidad
1	180415869720170704-ETM 01	Ninguno	5
2	180415869720170704-ETM 02	Templadas	5
Total			10

Nota: El tratamiento térmico de las probetas se realiza mediante un temple en un medio de enfriamiento convencional (agua).

Código: RG-RM-001
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 09-05-2017
Revisión: 3

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN
DE PROBETAS

Página 1 de 2



ENSAYO SOLICITADO				
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS	
			RECEPCIÓN	ENSAYO
1	180415869720170704-ETM 01-1	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
2	180415869720170704-ETM 01-2	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
3	180415869720170704-ETM 01-3	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
4	180415869720170704-ETM 01-4	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
5	180415869720170704-ETM 01-5	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
6	180415869720170704-ETM 02-1	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
7	180415869720170704-ETM 02-2	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
8	180415869720170704-ETM 02-3	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
9	180415869720170704-ETM 02-4	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
10	180415869720170704-ETM 02-5	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con las dimensiones determinadas por la norma.

Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Chacón	Ing. Esteban López Espinel
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN, NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES METALICOS**

INFORME DE RESULTADOS N°: 180415869720170704-ETM

DATOS GENERALES

N° de proforma: RM_2017_035
Designación del material: Aleación de cobre zinc.
Empresa / Cliente: Marcia Ximena Criollo Camacho.
RUC/C.I.: 1804158697
Dirección: Calle Hawaii, Huachi Grande, Ambato. **Ciudad:** Ambato.
Teléfono: 0994099759
Correo: xiomy_86@yahoo.es
Fecha de Inicio de Ensayo: 11 de julio de 2017.
 Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de materiales metálicos. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas.

N°	Identificación de probetas	Tratamiento térmico	Cantidad
1	180415869720170704-ETM 01	Ninguno	5
2	180415869720170704-ETM 02	Templadas	5
Total			10

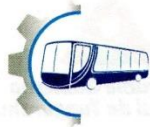
Observaciones: El tratamiento térmico de las probetas se realiza mediante un temple en un medio de enfriamiento convencional (agua).

		
Elaborado por:	Aprobado por:	
Ing. Fernando Galarza Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Angel Balseca Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Fecha de entrega de Informe: Ambato, 14 de julio de 2017.

N°. Factura: 001-002-000002928





RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.
Dirección: Ambato/Catiglatá. Toronto y Río de Janeiro.
Código del Informe: 180415869720170704-ETM
Fecha de Finalización de Ensayo: 11 de julio de 2017.
Tipo de ensayo: Cuantitativo.
Método de ensayo: ASTM E8 / E8M -16a. Ensayo de tracción para materiales metálicos a temperatura ambiente.
Tipo de probeta: Cilíndrica. **Longitud calibrada:** 62,5 mm
Condiciones ambientales: Temperatura (°C): 18 Humedad relativa (%):51
Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal. Metro test 1500 kN
Velocidad de ensayo: 10 mm/min **Precarga:** 4000 N

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Ítem	Identificación de la probeta	Dimensiones (mm)	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia de rotura (MPa)	Límite de fluencia (MPa)
		Diámetro				
1	180415869720170704-ETM 01-1	12,5	64750,01	28050,01	527,63	228,57
2	180415869720170704-ETM 01-2	12,5	57350,01	21250,00	467,33	173,16
3	180415869720170704-ETM 01-3	12,5	62600,01	21850,00	510,11	178,05
4	180415869720170704-ETM 01-4	12,5	64150,01	24200,00	522,74	197,20
5	180415869720170704-ETM 01-5	12,5	62700,01	23600,00	510,93	192,31
Promedio \bar{x}			62310,01	23790,00	507,75	193,858
Desviación estándar S_{n-1}			2923,05	2672,41	23,819	21,77
Coeficiente de variación CV			5,0	11,2	4,7	11,2

Ítem	Identificación de la probeta	Dimensiones (mm)	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia de rotura (MPa)	Límite de fluencia (MPa)
		Diámetro				
6	180415869720170704-ETM 02-1	12,5	59250,01	26750,01	482,81	217,98
7	180415869720170704-ETM 02-2	12,5	64500,01	31000,01	525,59	252,61
8	180415869720170704-ETM 02-3	12,5	66300,01	27950,01	540,26	227,76
9	180415869720170704-ETM 02-4	12,5	64350,01	22800,00	524,37	185,79
10	180415869720170704-ETM 02-5	12,5	66400,01	24100,00	541,08	196,38
Promedio \bar{x}			64160,01	26520,01	522,82	216,10
Desviación estándar S_{n-1}			2909,34	3235,09	23,707	26,36
Coeficiente de variación CV			4,5	12,2	4,5	12,2

Observaciones del ensayo: La probeta con código 180415869720170704-EIM 01-5 del primer grupo se rechaza debido a que rompe fuera de la zona calibrada.

Nota: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser usado con fines publicitarios y no debe ser reproducido total ni parcialmente.



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carracero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 180415869720170704-ETM
DATOS DEL CLIENTE
Empresa / Cliente: Marcia Ximena Criollo Camacho
DIRECCIÓN: Calle Hawaii, Huachi Grande, Ambato.
NÚM. DE CEDULA / RUC: 1804158697
E-MAIL: xiomy_86@yahoo.es
TELÉFONO: 0995903747

DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Resistencia de Materiales.

Designación del material: Aleación de cobre zinc.

Método de ensayo: ASTM E8 / E8M - 16a.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
1	180415869720170704-ETM 01-1	10/07/2017	13/07/2017	Ing. F. Galarza	Se almacena	
2	180415869720170704-ETM 01-2	10/07/2017	13/07/2017	Cliente	Se almacena	
3	180415869720170704-ETM 01-3	10/07/2017	13/07/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
4	180415869720170704-ETM 01-4	10/07/2017	13/07/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
5	180415869720170704-ETM 01-5	10/07/2017	13/07/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
6	180415869720170704-ETM 02-1	10/07/2017	13/07/2017	Ing. F. Galarza	Se almacena	
7	180415869720170704-ETM 02-2	10/07/2017	13/07/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
8	180415869720170704-ETM 02-3	10/07/2017	13/07/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
9	180415869720170704-ETM 02-4	10/07/2017	13/07/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
10	180415869720170704-ETM 02-5	10/07/2017	13/07/2017	Cliente	Se entrega al cliente	

Código: RG-RM-003

Fecha de Elaboración: 06-07-2016

Fecha de última aprobación: 17-01-2017

Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO
DE MUESTRAS



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

La primera muestra de cada grupo por acuerdo con el cliente se almacena en el CFPMC. El centro no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las otras, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

	
Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Chacón Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones-CFPMC	Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
 Cliente	

Código: RG-RM-003
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 17-01-2017
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO
DE MUESTRAS

(Fuente: La Autora)

Anexo 5. Resultado ensayo de impacto.



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS

Informe N°: 180415869720170704-EIM	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Marcia Ximena Criollo Camacho.	
DIRECCIÓN: Calle Hawaii, Huachi Grande, Ambato.	
NÚM. DE CEDULA / RUC: 1804158697	TELÉFONO: 0995903747
E-MAIL: xiom_y_86@yahoo.es	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales.
Designación del material: Aleación de cobre zinc.
Método de ensayo: ASTM E23-16b.

Número de Probetas cuantificadas.

N°	Identificación de probetas	Tratamiento térmico	Cantidad
1	180415869720170704-EIM 01	Ninguno	5
2	180415869720170704-EIM 02	Templadas	5
Total			10

Nota: El tratamiento térmico de las probetas se realiza mediante un temple en un medio de enfriamiento convencional (agua).

Código: RG-RM-001
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 09-05-2017
Revisión: 3

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN
DE PROBETAS

Página 1 de 2



ENSAYO SOLICITADO				
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS	
			RECEPCIÓN	ENSAYO
1	180415869720170704-EIM 01-1	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
2	180415869720170704-EIM 01-2	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
3	180415869720170704-EIM 01-3	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
4	180415869720170704-EIM 01-4	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
5	180415869720170704-EIM 01-5	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
6	180415869720170704-EIM 02-1	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
7	180415869720170704-EIM 02-2	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
8	180415869720170704-EIM 02-3	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
9	180415869720170704-EIM 02-4	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017
10	180415869720170704-EIM 02-5	Cumple criterios dimensionales.	11/07/2017	12/06/2017

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con las dimensiones determinadas por la norma.

Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Chacón Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN, NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE IMPACTO DE MATERIALES METALICOS**

INFORME DE RESULTADOS N°: 180415869720170704-EIM

DATOS GENERALES

N° de proforma: RM_2017_035

Designación del material: Aleación de cobre zinc.

Empresa / Cliente: Marcia Ximena Criollo Camacho.

RUC/C.I.: 1804158697

Dirección: Calle Hawaii, Huachi Grande, Ambato. **Ciudad:**

Teléfono: 0994099759

Correo: xiomy_86@yahoo.es

Fecha de Inicio de Ensayo: 11 de julio de 2017.



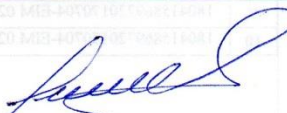
Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de materiales metálicos. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas.

N°	Identificación de probetas	Tratamiento térmico	Cantidad
1	180415869720170704-ETM 01	Ninguno	5
2	180415869720170704-ETM 02	Templadas	5
Total			10

Observaciones: El tratamiento térmico de las probetas se realiza mediante un temple en un medio de enfriamiento convencional (agua).

		
Elaborado por:	Aprobado por:	
Ing. Fernando Galarza Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Ángel Balseca Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Fecha de entrega de Informe: Ambato, 14 de julio de 2017.

N°. Factura: 001-002-000002928



RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.
Dirección: Ambato/Catigлата. Toronto y Rio de Janeiro.
Código del Informe: 180415869720170704-EIM
Fecha de Finalización de Ensayo:
Tipo de ensayo: Cuantitativo.
Método de ensayo: ASTM E23. Ensayo de impacto para materiales metálicos a temperatura ambiente.
Tipo de probeta: Probeta con muesca en V.
Acondicionamiento de la probeta: Temperatura ambiente.
Equipo utilizado: Máquina de ensayos Charpy. PIC 450 J.
Energía utilizada: 450 (J)
Máxima velocidad de impacto: 5,42 m/s

RESISTENCIA AL IMPACTO

Ítem	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Sección transversal de la probeta			Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (J/cm ²)	Aspecto de la fractura (% de cizallamiento)	Fractura de la probeta	
				Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)				SI	NO
1	180415869720170704-EIM 01-1	17	61	0,8	1,00	0,8	19,32	24,15	20	x	
2	180415869720170704-EIM 01-2	17	61	0,8	1,01	0,81	15,71	19,39	30	x	
3	180415869720170704-EIM 01-3	17	61	0,8	0,99	0,79	17,5	22,15	30	x	
4	180415869720170704-EIM 01-4	17	61	0,8	1,00	0,8	20,79	25,98	80	x	
5	180415869720170704-EIM 01-5	17	61	0,8	1,01	0,81	19,69	24,31	60	x	
Promedio \bar{x}							18,60	23,20			
Desviación estándar S_{n-1}							2,00	2,52			
Coeficiente de variación CV							10,77	10,88			

Ítem	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Sección transversal de la probeta			Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (J/cm ²)	Aspecto de la fractura (% de cizallamiento)	Fractura de la probeta	
				Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)				SI	NO
6	180415869720170704-EIM 02-1	18	60	0,8	1,02	0,82	35,75	43,60	70	x	
7	180415869720170704-EIM 02-2	18	60	0,8	0,99	0,79	26,11	33,05	80	x	
8	180415869720170704-EIM 02-3	18	60	0,8	1,02	0,82	23,42	28,56	90	x	
9	180415869720170704-EIM 02-4	18	60	0,8	1,00	0,80	23,80	30,13	100	x	
10	180415869720170704-EIM 02-5	18	60	0,8	0,99	0,79	23,80	30,12	100	x	
Promedio \bar{x}							26,58	33,09			
Desviación estándar S_{n-1}							4,69	6,09			
Coeficiente de variación CV							21,95	18,42			

Observaciones del ensayo: Ninguna.

Nota: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser usado con fines publicitarios y no debe ser reproducido total ni parcialmente.



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocer



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 180415869720170704-EIM
DATOS DEL CLIENTE
Empresa / Cliente: Marcia Ximena Criollo Camacho
DIRECCIÓN: Calle Hawaii, Huachi Grande, Ambato.
NÚM. DE CEDULA / RUC: 1804158697
E-MAIL: xiomy_86@yahoo.es
TELÉFONO: 0995903747

DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Resistencia de Materiales.

Designación del material: Aleación de cobre zinc.

Método de ensayo: ASTM E23-16b.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
1	180415869720170704-EIM 01-1	10/07/2017	13/07/2017	Ing. F. Galarza	Se almacena	
2	180415869720170704-EIM 01-2	10/07/2017	13/07/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
3	180415869720170704-EIM 01-3	10/07/2017	13/07/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
4	180415869720170704-EIM 01-4	10/07/2017	13/07/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
5	180415869720170704-EIM 01-5	10/07/2017	13/07/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
6	180415869720170704-EIM 02-1	10/07/2017	13/07/2017	Ing. F. Galarza	Se almacena	
7	180415869720170704-EIM 02-2	10/07/2017	13/07/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
8	180415869720170704-EIM 02-3	10/07/2017	13/07/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
9	180415869720170704-EIM 02-4	10/07/2017	13/07/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
10	180415869720170704-EIM 02-5	10/07/2017	13/07/2017	Cliente	Se entrega al cliente	

Código: RG-RM-003

Fecha de Elaboración: 06-07-2016

Fecha de última aprobación: 17-01-2017

Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO
DE MUESTRAS



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carroceero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

La primera muestra de cada grupo por acuerdo con el cliente se almacena en el CFPMC. El centro no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las otras, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

 Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Chacón Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	 Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	



Código: RG-RM-003
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 17-01-2017
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO
DE MUESTRAS

(Fuente: La Autora)

Anexo 6. Resultado ensayo de dureza.

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA	GUIA PARA LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO, TALLER O CAMPO.		CÓDIGO: SGC.DI.505 VERSIÓN: 2.0 FECHA ULTIMA REVISIÓN: 19/07/2017	

DEPARTAMENTO:	ENERGIA Y MECANICA	CARRERA:	MECATRONICA		
ASIGNATURA:	CIENCIA DE LOS MATERIALES	FECHA:	19 Julio 2017	NIVEL:	Maestría
DOCENTE:	Ing. Mario Lara	ENSAYO:	Dureza	ESCALA:	HRB
IDENTADOR:	Esfera 1/16 pulg.	PRECARGA:	100 Kg		
SOLICITADO POR:	Ing. Ximena Criollo	Institución:	Universidad Técnica de Ambato		
LABORATORIO DONDE SE DESARROLLARÁ LA PRÁCTICA		Materiales			
TEMA:	Medición de dureza				
INTRODUCCIÓN:					
<p>Los tratamientos térmicos de los materiales son los cambios de las propiedades mecánicas por efecto de los cambios controlados de temperatura, para este efecto vamos a realizar un temple a la aleación Cobre-Zinc para luego medir el cambio de la dureza producida bajo este procedimiento.</p>					
OBJETIVOS:					
Determinar los cambios de dureza Rockwell B obtenidos por efecto del tratamiento térmico del templado.					
MATERIALES:					
REACTIVOS:			INSUMOS:		
EQUIPOS:					
- Durómetro ROCKWELL HARDNESS TESTER HR-150A					
MUESTRA:					
Probetas: Aleación Cobre-Zinc					
INSTRUCCIONES:					
<ul style="list-style-type: none"> - Medir la dureza Rockwell B de las probetas antes del tratamiento térmico. - Colocar las probetas en la mufla hasta alcanzar una temperatura de 835°C - Retirar las probetas de la mufla y enfriarlas rápidamente en agua fría. - Medir la dureza Rockwell B después del tratamiento y observar sus cambios - Sacar sus conclusiones. 					
ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:					
<ul style="list-style-type: none"> - Obtener probetas de la aleación Cobre-Zinc - Realizar 5 mediciones de la dureza Rockwell B - Colocar las probetas en la mufla hasta obtener una temperatura de 835°C. - Retirar las probetas de la mufla y enfriarlos en agua fría. - Realizar 5 mediciones de dureza Rockwell B. 					
RESULTADOS OBTENIDOS:					
<ul style="list-style-type: none"> - Durezas de las probetas - Cambios de dureza antes y después del tratamiento térmico 					
CONCLUSIONES:					
<ul style="list-style-type: none"> - Se determinó los cambios de dureza por efectos del tratamiento térmico 					
RECOMENDACIONES:					

-Limpiar el puesto de trabajo y dejar los equipos y accesorios en su lugar.

RESULTADOS

Prueba 1 sin tratamiento térmico

Medición	Dureza (HRB)
1	58
2	53
3	52.5
4	56
5	52

Prueba 1 templada

Medición	Dureza (HRB)
1	68
2	68
3	69
4	69
5	67

Prueba 2 sin tratamiento térmico

Medición	Dureza (HRB)
1	35
2	35
3	32
4	36
5	35

Prueba 2 templada

Medición	Dureza (HRB)
1	65
2	63
3	64
4	60
5	65

Prueba 3 sin tratamiento térmico

Medición	Dureza (HRB)
1	46
2	51
3	56
4	53
5	48

Prueba 3 templada

Medición	Dureza (HRB)
1	69
2	73
3	70
4	70
5	68

Prueba 4 sin tratamiento térmico

Medición	Dureza (HRB)
1	47
2	43
3	40
4	45
5	45

Prueba 4 templada

Medición	Dureza (HRB)
1	57
2	60
3	60
4	61
5	60.5

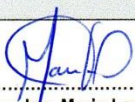
Prueba 5 sin tratamiento térmico

Medición	Dureza (HRB)
1	42
2	40
3	41.5
4	40
5	43

Prueba 5 templada

Medición	Dureza (HRB)
1	59
2	59
3	58
4	57
5	58

FIRMAS

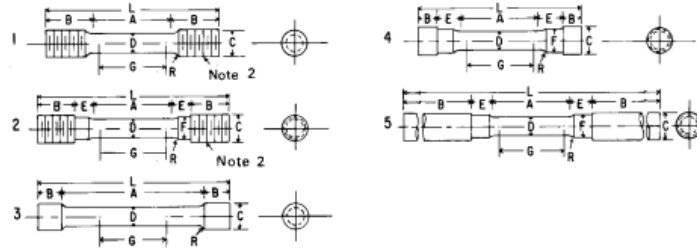
F: 
Nombre: Ing. Mario Lara N.
LABORATORISTA

F: 
Nombre: Ing. Jorge Jácome
COORDINADOR/JEFE DE LABORATORIO

(Fuente: La Autora)

Anexo 7. Extracto de la Norma ASTM E-8.

E8/E8M - 09



Dimensions, mm [in.] For Test Specimens with Gage Length Four times the Diameter [E8]					
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gage length	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	10 [0.375]	2 [0.0625]	10 [0.375]	10 [0.375]
A—Length of reduced section	56 [2.25] min	56 [2.25] min	100 [4] approximate	56 [2.25] min	56 [2.25] min
L—Overall length, approximate	145 [5]	155 [5.5]	155 [5.5]	140 [4.75]	255 [9.5]
B—Length of end section (Note 3)	35 [1.375] approximate	25 [1] approximate	20 [0.75] approximate	15 [0.5] approximate	75 [3] min
C—Diameter of end section	20 [0.75]	20 [0.75]	20 [0.75]	22 [0.875]	20 [0.75]
E—Length of shoulder and fillet section, approximate		15 [0.625]		20 [0.75]	15 [0.625]
F—Diameter of shoulder		15 [0.625]		15 [0.625]	15 [0.625]

Dimensions, mm [in.] For Test Specimens with Gage Length Five times the Diameter [E8M]					
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gage length	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	10 [0.375]	2 [0.0625]	10 [0.375]	10 [0.375]
A—Length of reduced section	75 [3] min	75 [3] min	75 [3] approximate	75 [3] min	75 [3] min
L—Overall length, approximate	145 [5]	155 [5.5]	155 [5.5]	140 [4.75]	255 [9.5]
B—Length of end section (Note 3)	35 [1.375] approximate	25 [1] approximate	20 [0.75] approximate	15 [0.5] approximate	75 [3] min
C—Diameter of end section	20 [0.75]	20 [0.75]	20 [0.75]	22 [0.875]	20 [0.75]
E—Length of shoulder and fillet section, approximate		15 [0.625]		20 [0.75]	15 [0.625]
F—Diameter of shoulder		15 [0.625]		15 [0.625]	15 [0.625]

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center with the ends not more than 1 % larger in diameter than the center.

NOTE 2—On Specimens 1 and 2, any standard thread is permissible that provides for proper alignment and aids in assuring that the specimen will break within the reduced section.

NOTE 3—On Specimen 5 it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

NOTE 4—The values stated in SI units in the table for Fig. 9 are to be regarded as separate from the inch/pound units. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore each system must be used independently of the other.

FIG. 9 Various Types of Ends for Standard Round Tension Test Specimens

6.5.1 For material with a nominal thickness of 0.13 to 5 mm [0.005 to 0.1875 in.], use the sheet-type specimen described in 6.3.

6.5.2 For material with a nominal thickness of 5 to 12.5 mm [0.1875 to 0.500 in.], use either the sheet-type specimen of 6.3 or the plate-type specimen of 6.2.

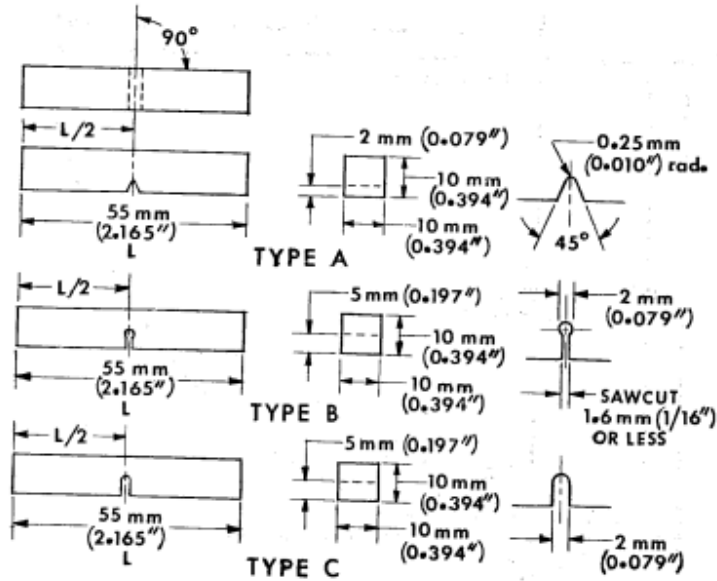
6.5.3 For material with a nominal thickness of 12.5 to 19 mm [0.500 to 0.750 in.], use either the sheet-type specimen of 6.3, the plate-type specimen of 6.2, or the largest practical size of round specimen described in 6.4.

6.5.4 For material with a nominal thickness of 19 mm [0.750 in.], or greater, use the plate-type specimen of 6.2 or the largest practical size of round specimen described in 6.4.

6.5.4.1 If the product specifications permit, material of a thickness of 19 mm [0.750 in.], or greater may be tested using a modified sheet-type specimen conforming to the configuration shown by Fig. 1. The thickness of this modified specimen must be machined to 10 ± 0.5 mm [0.400 ± 0.020 in.], and must be uniform within 0.1 mm [0.004 in.] throughout the

Anexo 8. Extracto de la Norma ASTM E-23.

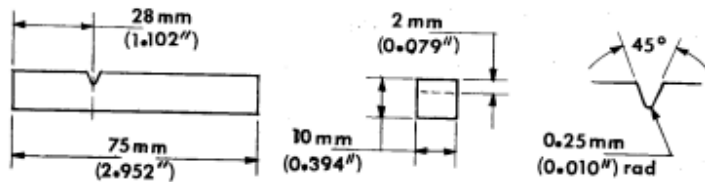
E 23



NOTE—Permissible variations shall be as follows:

Notch length to edge	$\pm 2^\circ$
Adjacent sides shall be at	$90^\circ \pm 10 \text{ min}$
Cross-section dimensions	$\pm 0.075 \text{ mm } (\pm 0.003 \text{ in.})$
Length of specimen (L)	$+0, -2.5 \text{ mm } (+0, -0.100 \text{ in.})$
Centering of notch ($L/2$)	$\pm 1 \text{ mm } (\pm 0.039 \text{ in.})$
Angle of notch	$\pm 1^\circ$
Radius of notch	$\pm 0.025 \text{ mm } (\pm 0.001 \text{ in.})$
Notch depth:	
Type A specimen	$\pm 0.025 \text{ mm } (\pm 0.001 \text{ in.})$
Types B and C specimen	$\pm 0.075 \text{ mm } (\pm 0.003 \text{ in.})$
Finish requirements	$2 \mu\text{m } (63 \mu\text{in.})$ on notched surface and opposite face; $4 \mu\text{m } (125 \mu\text{in.})$ on other two surfaces

FIG. 6 Charpy (Simple-Beam) Impact Test Specimens, Types A, B, and C



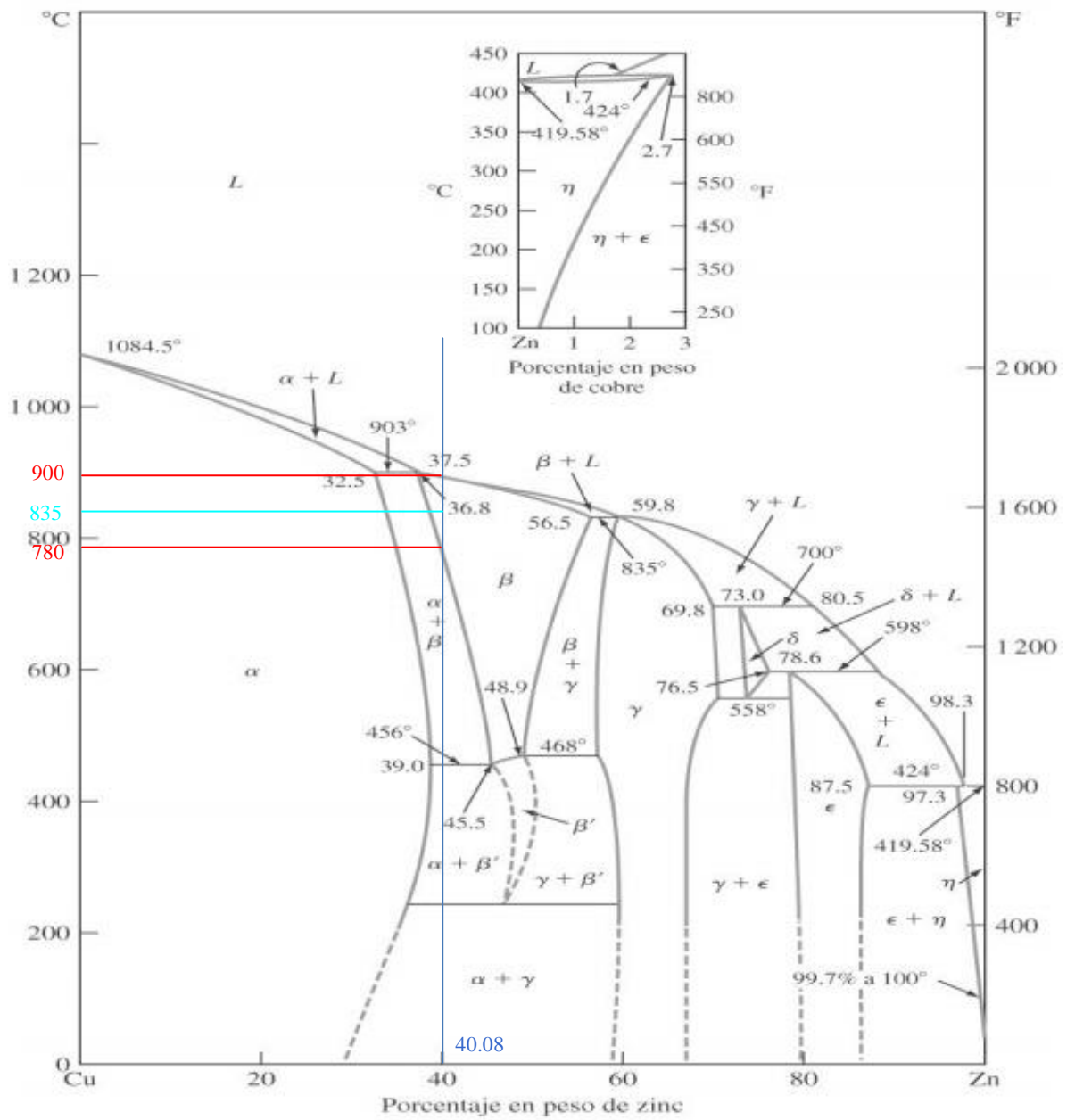
NOTE—Permissible variations shall be as follows:

Notch length to edge	$90 \pm 2^\circ$
Cross-section dimensions	$\pm 0.025 \text{ mm } (\pm 0.001 \text{ in.})$
Length of specimen	$+0, -2.5 \text{ mm } (\pm 0, -0.100 \text{ in.})$
Angle of notch	$\pm 1^\circ$
Radius of notch	$\pm 0.025 \text{ mm } (\pm 0.001 \text{ in.})$
Notch depth	$\pm 0.025 \text{ mm } (\pm 0.001 \text{ in.})$
Adjacent sides shall be at	$90^\circ \pm 10 \text{ min}$
Finish requirements	$2 \mu\text{m } (63 \mu\text{in.})$ on notched surface and opposite face; $4 \mu\text{m } (125 \mu\text{in.})$ on other two surfaces

FIG. 7 Izod (Cantilever-Beam) Impact Test Specimen, Type D




(Fuente: Norma ASTM E-23)

Anexo 9. Diagrama de fases binario Cu-Zn.





(Fuente: Gibson, 2008)


Anexo 10. Ficha para la toma de datos Ensayo Metalográfico.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
ANÁLISIS METALOGRÁFICO				REG: E.M. 001	
Datos Informativos:					
Tipo de estudio:				Ensayo N°:	
Identificación del componente de estudio:					
Solicitado por:				Fecha:	
Centro de Estudio y Análisis:					
Realizado por:				Supervisado por:	
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO					
Lugar:					
Temperatura Ambiente:				Radiación:	
Velocidad del aire circundante:				Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO					
Acondicionamiento de la superficie:					
Temperatura durante el pulido:				Superficie preparada en:	
Ataque Químico de la superficie con:				Durante:	
RESULTADO:					
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA					
<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  </div>					
Autor: Ing. Ximena Criollo					



Anexo 11. Ficha para la toma de datos Ensayo de Dureza.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA															
ENSAYO DE DUREZA				REG: E.D. 001													
Datos Informativos:																	
Tipo de estudio:				Ensayo N°:													
Identificación del componente de estudio:																	
Solicitado por:				Fecha:													
Centro de estudio y análisis:																	
Equipo utilizado:																	
Realizado por:				Supervisado por:													
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																	
Método:				Tipo:													
Tipo de penetrador:																	
Cantidad de carga aplicada:				Tiempo de ensayo:													
RESULTADO:																	
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Dureza (HRB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td></tr> </tbody> </table>						Medición	Dureza (HRB)	1		2		3		4		5	
Medición	Dureza (HRB)																
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
Interpretación de Resultados:																	
Autor: Ing. Ximena Criollo																	

Anexo 12. Ficha para la toma de datos Ensayo de Tracción.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA																								
ENSAYO DE TRACCIÓN				REG: E.T. 001																						
Datos Informativos:																										
Tipo de estudio:		Ensayo N°:																								
Identificación del componente de estudio:																										
Solicitado por:		Fecha:																								
Realizado por:		Supervisado por:																								
Centro de estudio y análisis:																										
Equipo utilizado:																										
Temperatura:		Humedad Relativa:																								
Tipo de probeta:		Longitud Calibrada:																								
Método de ensayo		Norma Aplicada																								
Velocidad de ensayo		Precarga																								
RESULTADO:																										
<p>Gráfico Esfuerzo-Deformación</p> <div style="border: 1px solid black; width: 300px; height: 150px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> gráfico </div>																										
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Parámetro</th> <th>Valor</th> <th>Unidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fuerza de rotura</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fuerza de fluencia</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistencia de rotura (Sut)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Límite de fluencia (Sy)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Elongación (ϵ)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Reducción de área</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Parámetro	Valor	Unidad	Fuerza de rotura			Fuerza de fluencia			Resistencia de rotura (Sut)			Límite de fluencia (Sy)			Elongación (ϵ)			Reducción de área		
Parámetro	Valor	Unidad																								
Fuerza de rotura																										
Fuerza de fluencia																										
Resistencia de rotura (Sut)																										
Límite de fluencia (Sy)																										
Elongación (ϵ)																										
Reducción de área																										
Observaciones:																										
Autor: Ing. Ximena Criollo																										

Anexo 13. Ficha para la toma de datos Ensayo Charpy.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA																											
ENSAYO DE IMPACTO				REG: E.I. 001																									
Datos Informativos:																													
Tipo de estudio:		Ensayo N°:																											
Identificación del componente de estudio:																													
Solicitado por:		Fecha:																											
Realizado por:		Supervisado por:																											
Centro de estudio y análisis:																													
Equipo utilizado:																													
Temperatura:		Humedad Relativa:																											
Tipo de probeta:		Máxima velocidad de impacto:																											
Energía utilizada:		Norma Aplicada:																											
RESULTADO:																													
<p>Gráfico del resultado de las probetas ensayadas</p> <div style="border: 1px solid black; width: 300px; height: 150px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> gráfico </div>																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N° Probeta</th> <th>Energía absorbida (J)</th> <th>Resistencia al impacto (J/cm²)</th> <th>Aspecto de la Fractura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>						N° Probeta	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (J/cm ²)	Aspecto de la Fractura	1				2				3				4				5			
N° Probeta	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (J/cm ²)	Aspecto de la Fractura																										
1																													
2																													
3																													
4																													
5																													
Observación:																													
Autor: Ing. Ximena Criollo																													