



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

Previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico

TEMA:

**“ESTUDIO DE LA ALEACIÓN CON MEMORIA DE FORMA CuZnSn
PARA DETERMINAR SU APLICACIÓN INDUSTRIAL”.**

Autor: Egdo. Santiago Saúl Ilbay Gavilanes

Director: Ing. Mg. Segundo Espín L.

Ambato – Ecuador

2014

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el tema: “ESTUDIO DE LA ALEACIÓN CON MEMORIA DE FORMA CuZnSn PARA DETERMINAR SU APLICACIÓN INDUSTRIAL”, ejecutado por el señor SANTIAGO SAÚL ILBAY GAVILANES, egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, CERTIFICO que el presente trabajo de investigación reúne los requisitos para ser sometido a la evaluación de jurado examinador designado por el H. Consejo Directivo.

Ambato, 2014

EL TUTOR

.....
Ing. Segundo Espín L. Mg.

AUTORÍA DEL TRABAJO DE GRADO

Los criterios del presente trabajo de investigación bajo el tema:

“ESTUDIO DE LA ALEACIÓN CON MEMORIA DE FORMA CuZnSn PARA DETERMINAR SU APLICACIÓN INDUSTRIAL”, como también sus opiniones e ideas, comentarios de resultados y análisis son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor de este trabajo de grado.

Ambato, 2014

EL AUTOR

.....
Santiago Saúl Ilbay Gavilanes

180447192-6

DEDICATORIA

A dios por brindarme la sabiduría y la fuerza necesaria para seguir adelante.

A mis queridos y adorados padres Nelson Ilbay y Miriam Gavilanes que gracias a su ejemplo y perseverancia me ayudaron a forjarme en un camino de valores éticos y morales, en el cual han estado junto a mi apoyándome incondicionalmente para seguir adelante y poder cumplir una meta más.

A mis hermanos por estar apoyándome siempre.

Saúl,

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Ambato en especial a la Carrera de Ingeniería Mecánica por permitir educarme en su prestigiosa institución.

Al ingeniero Mg. Segundo Espín, por su acertada dirección y colaboración brindada en este proyecto de investigación.

A mis maestros quienes con su dedicación supieron transmitir su valioso conocimiento.

Saúl,

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A: PÁGINAS PRELIMINARES

PÁGINA DE TÍTULO	I
APROBACIÓN DEL TUTOR	II
AUTORÍA DEL TRABAJO DE GRADO	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	VI
RESUMEN.....	XX
SUMMARY	XXI

B: TEXTO

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	2
1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN.	2
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.....	5
1.2.6.1. DELIMITACIÓN DE CONTENIDO	5
1.2.6.2. DELIMITACIÓN ESPACIAL	5
1.2.6.3. DELIMITACIÓN TEMPORAL	5
1.3. JUSTIFICACIÓN	5
1.4. OBJETIVOS	7

1.4.1. OBJETIVO GENERAL	7
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	8
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.	8
2.2. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.....	9
2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	10
2.4. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES	10
2.5. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	11
2.5.1. ENSAYO DE MATERIALES.....	11
2.5.1.1. ENSAYO DE TRACCIÓN.....	11
2.5.1.1.1. LÍMITE ELÁSTICO.	12
2.5.1.1.2. PORCENTAJE DE ALARGAMIENTO (% DE ELONGACIÓN).	12
2.5.1.1.3. PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE ÁREA.	13
2.5.1.1.4. RESISTENCIA MÁXIMA A LA TENSIÓN.....	13
2.5.1.2. PRUEBA DE CHISPA.	14
2.5.1.3. ENSAYO DE DUREZA.	14
2.5.1.3.1. DUREZA ROCKWELL.....	16
2.5.2. ALEACIONES CON EFECTO DE MEMORIA Y SUS PROPIEDADES.	17
2.5.2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES CON EFECTO DE MEMORIA.	17
2.5.2.1.1. MATERIALES CON MEMORIA DE FORMA (SMA).....	18
2.5.2.1.2. TRANSFORMACIÓN MARTENSÍTICA.....	18
2.5.2.1.3. TEMPERATURAS DE TRANSFORMACIÓN.	21
2.5.2.1.3.1. MECANISMOS DE TRANSFORMACIÓN	22
2.5.2.1.3.1.1. TRANSFORMACIÓN MARTENSÍTICA INDUCIDA POR TEMPERATURA..	23
2.5.2.1.4. MEMORIA DE FORMA SIMPLE	24
2.5.2.1.5. MEMORIA DE FORMA DOBLE.....	26
2.5.2.2. PSEUDOELASTICIDAD.	27
2.5.2.3. SUPERELASTICIDAD.....	28
2.5.2.4. EFECTO GOMA.	28

2.5.2.5. CÁLCULO DEL % DE ZINC EQUIVALENTE.	28
2.5.3. EL COBRE, ZINC Y ESTAÑO.	29
2.5.3.1. EL COBRE	29
2.5.3.2. EL ZINC	30
2.5.3.3. EL ESTAÑO	31
2.5.4. PROCESO DE MANUFACTURA.....	33
2.5.4.1. EL PROCESO DE METALES Y ALEACIONES.	33
2.5.4.1.1. LAMINACIÓN EN FRIO Y CALIENTE DE METALES.	33
2.5.4.1.1.1. LAMINACIÓN EN CALIENTE.	33
2.5.4.1.1.2. LAMINACIÓN EN FRÍO.	34
2.5.5. APLICACIONES DE LAS ALEACIONES CON EFECTO DE MEMORIA DE FORMA.	34
2.6. HIPÓTESIS	35
2.7. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.....	35

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA.	36
3.1. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.2. NIVEL O TIPO DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	37
3.3.1. POBLACIÓN.....	37
3.3.2. MUESTRA.....	37
3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.	38
3.4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE:	38
3.4.2. VARIABLE DEPENDIENTE:	39
3.5. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.	40
3.5.1. PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.	40
3.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.	41
3.6.1. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	41

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	42
4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	42
4.1.1. PRUEBA 1.....	42
4.1.2. PRUEBA 2.....	45
4.1.2.1. ANÁLISIS QUÍMICO PRUEBA 2.....	49
4.1.2.2. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ZINC EQUIVALENTE PARA LA PRUEBA 2. .	50
4.1.2.3. MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA PRUEBA 2.....	50
4.1.2.3.1. MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA PRUEBA 2 (SIN TEMPLAR).	52
4.1.2.3.2. MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA PRUEBA 2 (TEMPLADA).....	53
4.1.2.4. ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA MEDIANTE UN SOFTWARE, PARA LA PRUEBA 2.	54
4.1.2.5. DUREZA PRUEBA 2.	55
4.1.2.5.1. DUREZA PRUEBA 2 (SIN TEMPLAR).	56
4.1.2.5.2. DUREZA PRUEBA 2 (TEMPLADA).....	57
4.1.2.6. ENSAYO DE TRACCIÓN PRUEBA 2.....	58
4.1.2.7. ENSAYO DE IMPACTO PRUEBA 2.	58
4.1.2.8. ENSAYO DE LA MEMORIA DE FORMA PARA LA PRUEBA 2.....	58
4.1.3. PRUEBA 3.....	59
4.1.3.1. ANÁLISIS QUÍMICO PRUEBA 3.....	61
4.1.3.2. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ZINC EQUIVALENTE PARA LA PRUEBA 3. .	62
4.1.3.3. MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA PRUEBA 3.....	63
4.1.3.3.1. MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA PRUEBA 3 (SIN TEMPLAR)	64
4.1.3.3.2. MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA PRUEBA 3 (TEMPLADA).....	65
4.1.3.4. ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA MEDIANTE UN SOFTWARE, PARA LA PRUEBA 3.	66
4.1.3.5. DUREZA PRUEBA 3.	67
4.1.3.5.1. DUREZA PRUEBA 3 (SIN TEMPLAR).	67
4.1.3.5.2. DUREZA PRUEBA 3 (TEMPLADA).....	68
4.1.3.6. ENSAYO DE TRACCIÓN PRUEBA 3.....	69
4.1.3.7. ENSAYO DE IMPACTO PRUEBA 3.....	69

4.1.3.8. ENSAYO DE LA MEMORIA DE FORMA PARA LA PRUEBA 3.....	69
4.1.4. PRUEBA 4	71
4.1.4.1. ANÁLISIS QUÍMICO PRUEBA 4	73
4.1.4.2. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ZINC EQUIVALENTE PARA LA PRUEBA 4. .	74
4.1.4.3. MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA PRUEBA 4	74
4.1.4.3.1. MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA PRUEBA 4 (SIN TEMPLAR)	75
4.1.4.3.2. MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA PRUEBA 4 (TEMPLADA).....	76
4.1.4.4. ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA MEDIANTE UN SOFTWARE, PARA LA PRUEBA 4.	77
4.1.4.5. DUREZA PRUEBA 4.	78
4.1.4.5.1. DUREZA PRUEBA 4 (SIN TEMPLAR).	79
4.1.4.5.2. DUREZA PRUEBA 4 (TEMPLADA).....	80
4.1.4.6. ENSAYO DE TRACCIÓN PRUEBA 4.....	81
4.1.4.7. ENSAYO DE IMPACTO PRUEBA 4	87
4.1.4.8. ENSAYO DE LA MEMORIA DE FORMA PARA LA PRUEBA 4.....	88
4.1.5. PRUEBA 5	89
4.1.5.1. ANÁLISIS QUÍMICO PRUEBA 5	91
4.1.5.2. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ZINC EQUIVALENTE PARA LA PRUEBA 5. .	92
4.1.5.3. MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA PRUEBA 5	92
4.1.5.3.1. MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA PRUEBA 5 (SIN TEMPLAR)	93
4.1.5.3.2. MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA PRUEBA 5 (TEMPLADA).....	94
4.1.5.3.3. MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA PRUEBA 5 (TEMPLADA).....	95
4.1.5.3.4. MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA PRUEBA 5 (TEMPLADA).....	96
4.1.5.4. ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA MEDIANTE UN SOFTWARE, PARA LA PRUEBA 5.	97
4.1.5.5. DUREZA PRUEBA 5.	98
4.1.5.5.1. DUREZA PRUEBA 5 (SIN TEMPLAR).	98
4.1.5.5.2. DUREZA PRUEBA 5 (TEMPLADA).....	99
4.1.5.5.3. DUREZA PRUEBA 5 (TEMPLADA).....	100
4.1.5.5.4. DUREZA PRUEBA 5 (TEMPLADA).....	101
4.1.5.6. ENSAYO DE TRACCIÓN PRUEBA 5.....	102
4.1.5.7. ENSAYO DE IMPACTO PRUEBA 5	108

4.1.5.8. ENSAYO DE LA MEMORIA DE FORMA PARA LA PRUEBA 5.....	109
4.1.6. PRUEBA 6	110
4.1.6.1. ANÁLISIS QUÍMICO PRUEBA 6	112
4.1.6.2. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ZINC EQUIVALENTE PARA LA PRUEBA 6.	113
4.1.6.3. MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA PRUEBA 6	113
4.1.6.3.1. MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA PRUEBA 6 (SIN TEMPLAR)	114
4.1.6.3.2. MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA PRUEBA 6 (TEMPLADA).....	115
4.1.6.4. ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA MEDIANTE UN SOFTWARE, PARA LA PRUEBA 6.	116
4.1.6.5. DUREZA PRUEBA 6.	117
4.1.6.5.1. DUREZA PRUEBA 6 (SIN TEMPLAR).	117
4.1.6.5.2. DUREZA PRUEBA 6 (TEMPLADA).....	118
4.1.6.6. ENSAYO DE TRACCIÓN PRUEBA 6.....	119
4.1.6.7. ENSAYO DE IMPACTO PRUEBA 6	125
4.1.6.8. ENSAYO DE LA MEMORIA DE FORMA PARA LA PRUEBA 6.....	126
4.2. INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	131
4.3. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.	140

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	148
5.1. CONCLUSIONES.....	148
5.2. RECOMENDACIONES.....	151

CAPÍTULO VI

6. PROPUESTA	153
6.1. DATOS INFORMATIVOS.....	153
6.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.	153
6.3. JUSTIFICACIÓN.....	154
6.4. OBJETIVOS.....	154

6.4.1. OBJETIVO GENERAL	154
6.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	154
6.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.	154
6.6. FUNDAMENTACIÓN.....	155
6.7. METODOLOGÍA.....	155
6.8. ADMINISTRACIÓN.	194
6.9. PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.	196
6.10. BIBLIOGRAFÍA.	197

C: ANEXOS

ANEXO A1: DIAGRAMA DE FASES BINARIO CU-ZN.	II
ANEXO A2: CU-ZN DATOS CRISTALOGRAFICOS.	III
ANEXO A3: DIAGRAMA DEL PROCESO DE TEMPLE APLICADO A LAS PRUEBAS DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN.....	IV
ANEXO B1: COMPOSICIÓN QUÍMICA PRUEBA 2.	V
ANEXO B2: COMPOSICIÓN QUÍMICA PRUEBA 3.	V
ANEXO B3: COMPOSICIÓN QUÍMICA PRUEBA 4.	VI
ANEXO B4: COMPOSICIÓN QUÍMICA PRUEBA 5.	VI
ANEXO B5: COMPOSICIÓN QUÍMICA PRUEBA 6.	VII
ANEXO C: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN <i>T</i> DE STUDENT.	VIII
ANEXO D: PREPARACIÓN DEL CRISOL (PRIMER USO).	IX
ANEXO E1: FRAGMENTO DE LA NORMA ASTM E8 - 01 STANDARD TEST METHODS FOR TENSION TESTING OF METALLIC MATERIALS 1.	X
ANEXO E2: FRAGMENTO DE LA NORMA ASTM E 23 - 00 STANDARD TEST METHODS FOR NOTCHED BAR IMPACT TESTING OF METALLIC MATERIALS1.....	XII
ANEXO F: PLANO (ACOPLE Y TAPÓN).....	XIV

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Red de categorías fundamentales	10
Figura 2-2: Máquina universal-Laboratorio de ensayo de materiales FICM- UTA.	11
Figura 2-3: Características generales de los métodos de ensayo de dureza y fórmulas para el cálculo de dureza.	15
Figura 2-4: Se representa esquemáticamente en dos dimensiones, la transformación de austenita a martensita. (a) es completamente austenita, (d) completamente martensita, (c) a medida que la interface avanza, cada capa de átomos se desplaza solo una pequeña distancia.	19
Figura 2-5: Representación a los dos mecanismos de acomodamiento. (a) Deslizamiento, la microestructura es dañada irreversiblemente y (b) Maclado, la acomodación es reversible, pero no se pueden alcanzar cambios de volumen sustanciales.	20
Figura 2-6: Representación gráfica de los dos mecanismos de acomodamiento. (a) Cambio de forma debido a la transformación martensítica, (b) Acomodación por deslizamiento. (c) Acomodación por maclado.	21
Figura 2-7: Representación gráfica de las temperaturas de transformación.	22
Figura 2-8: Fracción de fase transformada en función de la temperatura para una SMA	23
Figura 2-9: Curvas tensión deformación en función de la temperatura para una aleación Cu-34.7Zn-3Sn con una temperatura de transformación $M_S = 221$ K.	24
Figura 2-10: Esquema del proceso de memoria de forma.	25
Figura 2-11: Muelle en espiral que muestra el efecto de memoria de dos vías	26
Figura 2-12: Diagrama de carga de efecto pseudoelástico	27
Figura 2-13: Aplicaciones del cobre	30
Figura 2-14: Principales aplicaciones del zinc	31
Figura 4-1: Horno de inducción FICM.	43
Figura 4-2: Residuo de electrodo de grafito	43
Figura 4-3: Crisol de grafito luego de ser maquinado en un torno.	44

Figura 4-4: Prueba 1, crisol colocado en la bobina del horno de inducción cargado con cobre.	45
Figura 4-5: Prueba 2, crisol de grafito diamant/brasil a-6(5.1/4”).	46
Figura 4-6: Manta cerámica	46
Figura 4-7: Balanza electrónica.	47
Figura 4-8: Aleación CuZnSn en estado líquido	48
Figura 4-9: Probeta obtenida al sacar del molde.	48
Figura 4-10: Probeta para el análisis químico.	49
Figura 4-11: Microscopio metalográfico, con proyección al monitor del computador FICM-UTA.	51
Figura 4-12: Probeta para el análisis metalográfico, prueba 2.	51
Figura 4-13: Durómetro FICM – UTA.	55
Figura 4-14: Probeta luego del análisis de dureza	55
Figura 4-15: Viruta en su forma inicial	58
Figura 4-16: Viruta deformada-rotta	59
Figura 4-17: Tapa de grafito colocado en la bobina.	60
Figura 4-18: Probetas obtenidas al sacar del molde.	61
Figura 4-19: Probeta para el análisis químico.	61
Figura 4-20: Probetas para el ensayo metalográfico	63
Figura 4-21: Probeta para el ensayo de tracción.	69
Figura 4-22: Viruta en su forma inicial	70
Figura 4-23: Viruta deformada	70
Figura 4-24: Crisol cubierto con manta térmica no combustible.	71
Figura 4-25: Probetas obtenidas al sacar del molde.	72
Figura 4-26: Probeta para el análisis químico.	73
Figura 4-27: Probeta para el análisis metalográfico, prueba 4.	74
Figura 4-28: Ensayo de dureza, prueba 4.	78
Figura 4-29: Probetas templadas para el ensayo de tracción.	81
Figura 4-30: Viruta en su forma inicial	88
Figura 4-31: Viruta deformada	88
Figura 4-32: Viruta luego de aplicar calor	89
Figura 4-33: Probetas obtenidas al sacar del molde.	90

Figura 4-34: Probeta para el análisis químico.	91
Figura 4-35: Probetas templadas para el ensayo de tracción.	102
Figura 4-36: Viruta en su forma inicial	109
Figura 4-37: Viruta deformada	109
Figura 4-38: Viruta luego de aplicar calor	110
Figura 4-39: Probetas obtenidas al sacar del molde.	111
Figura 4-40: Probeta para el análisis químico, prueba 6.	112
Figura 4-41: Probeta para el análisis metalográfico, prueba 6.	113
Figura 4-42: Probetas templadas para el ensayo de tracción.	119
Figura 4-43: Viruta en su forma inicial	126
Figura 4-44: Viruta deformada	126
Figura 4-45: Viruta luego de aplicar calor	127
Figura 4-46: Comparación de los promedios de dureza de la aleación CuZnSn.	135
Figura 4-47: Comparación de los promedios del porcentaje de alargamiento.	136
Figura 4-48: Comparación de los promedios del porcentaje de reducción de área.	137
Figura 4-49: Comparación de los promedios de la resistencia última a la tracción.	137
Figura 4-50: Comparación de los resultados del ensayo charpy (temple a 850°C).	138
Figura 4-51: Acople (SMA base cobre) y tapón.	143
Figura 4-52: Temple del acople.	143
Figura 4-53: Expansión del acople.	143
Figura 4-54: Introducción de la tubería en el acople.	144
Figura 4-55: Calentamiento del acople.	144
Figura 4-56: Tubería de cobre unida por medio del acople (SMA base cobre).	145
Figura 4-57: Prueba del acople a diferentes presiones	145
Figura 6-1: Modelos de madera (tipo eje).	158
Figura 6-2: Caja de moldeo.	159
Figura 6-3: Modelos de madera (tipo eje).	159
Figura 6-4: Colocación de los modelos en la caja de moldeo hembra.	160

Figura 6-5: Colocación de una capa fina de arena.	160
Figura 6-6: Desmenuzado de la arena.	161
Figura 6-7: Aplicación del método del puño.	161
Figura 6-8: Colocación de una capa de arena de moldeo sobre los modelos.	162
Figura 6-9: Compactación de la arena de moldeo.	162
Figura 6-10: Llenado y compactado de la arena de moldeo.	163
Figura 6-11: Sacado de la arena sobrante.	163
Figura 6-12: Colocación de la segunda parte de los modelos.	164
Figura 6-13: Colocación de la caja de moldeo macho.	164
Figura 6-14: Colocación de una fina capa de arena seca.	165
Figura 6-15: Colocación de los bebederos y una capa de arena de moldeo.	165
Figura 6-16: Sacando los bebederos.	166
Figura 6-17: Sacando los modelos.	166
Figura 6-18: Realizando los canales para los bebederos.	167
Figura 6-19: Secado y calentado de molde de arena.	167
Figura 6-20: Molde de arena terminado.	168
Figura 6-21: Pesado de elementos.	168
Figura 6-22: Crisol forrado con manta cerámica.	170
Figura 6-23: Colocación del crisol en la bobina.	171
Figura 6-24: Crisol en la bobina con cobre fundido.	172
Figura 6-25: Adición de zinc en el cobre previamente fundido.	172
Figura 6-26: Adición de estaño para completar la aleación CuZnSn.	173
Figura 6-27: Agitado de la colada.	173
Figura 6-28: Vaciado de la colada en los moldes.	174
Figura 6-29: Desmolde.	175
Figura 6-30: Ejes de la Aleación CuZnSn.	175
Figura 6-31: Dimensiones de las probetas para el Ensayo de Tracción espécimen 1 según la Norma ASTM E8-01.	176
Figura 6-32: Elaboración de probetas de tracción.	176
Figura 6-33: Probeta maquinada para el ensayo de tracción.	177
Figura 6-34: Dimensiones de las probetas para el Ensayo charpy - tipo A, según la Norma ASTM E23-00	177

Figura 6-35: Probetas para el ensayo charpy.	177
Figura 6-36: Probetas en el horno de mufla.	179
Figura 6-37: Temple de probetas.	180
Figura 6-38: Probeta para el análisis químico.	180
Figura 6-39: Enroscado de los extremos de la probeta a los acoples de la máquina universal.	181
Figura 6-40: Colocación del deformímetro haciendo coincidir las patas del mecanismo con los puntos de calibración de 2 pulgadas.	182
Figura 6-41: Probeta rota luego del ensayo en la máquina universal.	182
Figura 6-42: Probeta pulida.	184
Figura 6-43: Probeta colocada en la base del durómetro.	184
Figura 6-44: Dureza Rockwell y su respectiva carga.	184
Figura 6-45: Probeta colocada en la base del péndulo charpy.	187
Figura 6-46: Soltando el martillo	187
Figura 6-47: Corte de probetas para el análisis metalográfico.	189
Figura 6-48: Preparación del banco de lijas.	189
Figura 6-49: Pulido de la muestra en pulidora de paño.	190
Figura 6-50: Secado de las muestras mediante una corriente de aire.	190
Figura 6-51: Proceso del ataque químico.	191
Figura 6-52: Secado de las muestras mediante una corriente de aire.	191
Figura 6-53: Probeta en el microscopio.	191

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Escalas de dureza Rockwell	16
Tabla 2-2: Propiedades del cobre, zinc y estaño.	32
Tabla 3-1: Operacionalización de la variable independiente.	38
Tabla 3-2: Operacionalización de la variable dependiente.	39
Tabla 4-1: Parámetros utilizados en el horno de inducción durante la prueba 1	42
Tabla 4-2: Parámetros utilizados en el horno de inducción durante la prueba 2	45
Tabla 4-3: Elementos para la aleación CuZnSn con su respectivo peso en gramos, prueba 2.	47
Tabla 4-4: Resultado del análisis químico de la prueba 2.	49
Tabla 4-5: Parámetros utilizados en el horno de inducción durante la prueba 3.	59
Tabla 4-6: Elementos para la aleación CuZnSn con su respectivo peso en gramos, prueba 3.	60
Tabla 4-7: Resultado del análisis químico de la prueba 3.	62
Tabla 4-8: Parámetros utilizados en el horno de inducción durante la prueba 4.	71
Tabla 4-9: Elementos de la aleación CuZnSn con su respectivo peso en gramos, prueba 4.	72
Tabla 4-10: Resultado del análisis químico de la prueba 4.	73
Tabla 4-11: Parámetros utilizados en el horno de inducción en la prueba 5.	89
Tabla 4-12: Elementos de la aleación CuZnSn con su respectivo peso en gramos, prueba 5.	90
Tabla 4-13: Resultado del análisis químico de la prueba 5.	91
Tabla 4-14: Parámetros utilizados en el horno de inducción en la prueba 6.	110
Tabla 4-15: Elementos de la aleación CuZnSn con su respectivo peso en gramos, prueba 6.	111
Tabla 4-16: Resultado del análisis químico de la prueba 6.	112
Tabla 4-17: Resumen de los resultados del ensayo de dureza.	128
Tabla 4-18: Resumen de los resultados del ensayo de tracción.	129
Tabla 4-19: Resumen de los resultados del ensayo charpy.	130
Tabla 4-20: Resumen de elementos aleantes.	131
Tabla 4-21: Resumen de microestructuras metalográficas.	133

Tabla 4-22: Resumen de los promedios de las mediciones de dureza.	135
Tabla 4-23: Resumen del ensayo de memoria de forma.	139
Tabla 4-24: Resumen prueba 6.	141
Tabla 6-1: Elementos aleantes para obtener la aleación (63,214%Cu - 32,598% - Zn 3,832%Sn).	169
Tabla 6-2: Dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción espécimen 1.	176
Tabla 6-3: Resultado del análisis químico de la aleación.	181
Tabla 6-4: Costos de recursos materiales.	194
Tabla 6-5: Costos de recursos humanos.	195
Tabla 6-6: Costos de recursos varios.	195
Tabla 6-7: Costos de recursos económicos totales.	196

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

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se realizó el estudio de la caracterización de la aleación CuZnSn para lo cual se procedió a realizar seis pruebas de fundición en moldes de arena, las mismas que se obtuvo con diferente composición química, en cada prueba se templó las muestras para continuar con los ensayos de dureza, tracción, charpy, análisis metalográficos y de composición química.

De los ensayos realizados se determinó que la aleación CuZnSn (63,21%Cu – 32,6%Zn – 3,83%Sn) se comporta como un material inteligente con memoria de forma.

Por último se estableció como propuesta final el procedimiento para la obtención de la aleación CuZnSn con la composición 63,21%Cu – 32,6%Zn – 3,83%Sn en peso, sugiriendo una aplicación industrial.

Para la ejecución de presente proyecto se contó con los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi Chico y la EMPRESA NOVACERO la cual colaboró con la realización de los ensayos de composición química.

Palabras claves: Aleación, moldeo, fundición, horno de inducción, horno de mufla, crisol, temple.

AMBATO TECHNICAL UNIVERSITY
MECHANICAL AND CIVIL ENGINEERING FACULTY
MECHANICAL ENGINEERING CAREER.

SUMMARY

In the present investigation was carried out the CuZnSn alloy characterization study for which six casting tests were conducted in sand casts. Such tests, which were obtained with different chemical composition, in each test the samples were quenched for continue testing the hardness, strength and Charpy tests, metallographic analysis and chemical composition.

From the tests conducted it was determined that Alloy CuZnSn (63.21% Cu - Zn 32.6% - 3.83% Sn) behaves as a smart shape memory material.

Finally it was established as final proposal the process for producing alloy CuZnSn with the composition 63.21% Cu - Zn 32.6% - 3.83% Sn weight, suggesting an industrial application.

For the execution of this project were available the laboratories of the Civil and Mechanical Engineering Faculty at Ambato Technical University, Huachi Chico campus and company NOVACERO which cooperated with the performance of chemical composition tests.

Keywords: Alloy, molding, casting, induction furnace, muffle furnace, crucible temple.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN

“ESTUDIO DE LA ALEACIÓN CON MEMORIA DE FORMA CuZnSn PARA DETERMINAR SU APLICACIÓN INDUSTRIAL”.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN.

En los últimos años se han desarrollado nuevas aleaciones con memoria de forma (shape memory alloys) las cuales presentan un comportamiento completamente distinto al de los metales usuales ya que poseen la cualidad y capacidad de manifestar algún tipo de respuesta o recobrar una forma definida en presencia de algún estímulo externo tales como corriente eléctrica, un campo magnético, humedad, calor o la imposición de una deformación mecánica. Las recientes investigaciones acerca de las aleaciones con memoria de forma se han hecho especial énfasis en las aleaciones NiTi, aleaciones base cobre por ser todas ellas consideradas, de entre todas las aleaciones con memoria de forma, como materiales prácticos para aplicaciones comerciales.

Las aleaciones con memoria de forma base Ni-Ti exhiben buenas propiedades y son muy utilizadas en la actualidad sobre todo en el campo biomédico debido a su biocompatibilidad pero estas aleaciones son caras y difíciles de preparar comparadas con las aleaciones con memoria de forma base cobre, lo cual convierte a estas últimas en unas aleaciones mucho más competitivas en determinadas aplicaciones, que la aleación NiTi, y las aleaciones férricas con memoria de forma que están en proceso de desarrollo.

En España - Barcelona en la universidad politécnica de Cataluña, en el 2000, Francisco Javier Peña Andrés realiza el estudio sobre la Caracterización de la cinética de crecimiento de grano, desgaste y corrosión en aleaciones inteligentes con memoria de forma base cobre para aplicaciones tecnológicas. (Peña Andrés, 2000)

ASM Handbook, Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. (ASM Metals Handbook, 1998)

En el Ecuador en la Universidad Técnica de Ambato, en el 2012, Ing. Espín Segundo realiza el estudio de la aleación inteligente con memoria de forma CuZnAl para determinar su aplicación industrial. (Espín, 2012)

A nivel de nuestro País se han realizado estudios de los materiales convencionales y mas no acerca de la aleación con memoria de forma base cobre con la combinación **CuZnSn**, es por este motivo que se tomó la iniciativa en realizar la Investigación, la cual se realizó en los Laboratorio de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato Campus Huachi Chico.

1.2.2. ANÁLISIS CRÍTICO.

En nuestro país al existir un bajo interés y también desconocimiento acerca de las aleaciones con memoria de forma **“Cobre-Zinc-Estaño”**; no se ha investigado aplicaciones industriales por desconocimiento de sus propiedades.

En este tipo de aleación CuZnSn el efecto de memoria de forma está basada en un cambio de la estructura cristalina llamada transición martensitica donde las propiedades resultantes de este inusual comportamiento son principalmente: la superelasticidad y la memoria de forma por lo que este tipo de aleación ofrece grandes expectativas para aplicaciones Industriales, y por tal motivo se realizó la presente investigación para profundizar este estudio, para prescribir parámetros desconocidos por los profesionales del diseño, ya que limita en el característico

entorno competitivo que día a día se va desarrollando para el avance de la industria.

En la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato fue viable realizar el presente proyecto de investigación, ya que se cuenta tecnológicamente con los laboratorios apropiados, para de esta manera también contribuir al avance tecnológico del sector industrial.

1.2.3. PROGNOSIS.

La falta de estudios en la aleación CuZnSn limitaría el aporte de datos reales acerca de los materiales inteligentes con memoria de forma base cobre y por ende no se podrá aportar con conocimientos al área de ingeniería de materiales para futuras investigaciones.

1.2.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿El estudio de las propiedades mecánicas de la aleación CuZnSn permitirá sugerir una aplicación para la industria?

1.2.5. PREGUNTAS DIRECTRICES

- ✓ ¿Qué porcentajes de cobre, zinc y estaño serán los adecuados para obtener la aleación con memoria de forma CuZnSn?
- ✓ ¿Qué composición química será la adecuada para que la aleación CuZnSn se comporte como una aleación con memoria de forma?
- ✓ Permitirán las normas ASTM-E ensayar la aleación con memoria de forma CuZnSn?
- ✓ ¿Qué estructura metalográfica presentará la aleación con memoria de forma CuZnSn?
- ✓ ¿Qué aplicación industrial se podrá dar a la aleación con memoria de forma CuZnSn?

1.2.6. DELIMITACIÓN

1.2.6.1. Delimitación de contenido

- ✓ Materiales inteligentes con memoria de forma.
- ✓ Ensayo de materiales.
- ✓ Ingeniería de materiales.
- ✓ Procesos de fabricación.

1.2.6.2. Delimitación espacial

La presente investigación se desarrolló en la provincia de Tungurahua concretamente en la biblioteca y los laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

1.2.6.3. Delimitación temporal

Este proyecto se ejecutó en el periodo comprendido entre Noviembre del 2013 y Agosto 2014.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Con el paso de los años se han desarrollado materiales inteligentes que presentan efecto de memoria los cuales poseen propiedades diferentes al resto de los materiales convencionales, donde dichas propiedades no son propiedades optimizadas respecto a los materiales convencionales, sino son propiedades que difieren de los materiales convencionales por lo que para el diseño se abre un nuevo campo.

Las recientes investigaciones acerca de las aleaciones con memoria de forma se han hecho especial énfasis en las aleaciones NiTi, aleaciones base cobre, donde las aleaciones con memoria de forma base Ni-Ti exhiben buenas propiedades y son muy utilizadas en la actualidad sobre todo en el campo biomédico debido a su biocompatibilidad pero estas aleaciones son caras y difíciles de preparar comparadas con las aleaciones con memoria de forma base cobre, lo cual convierte a estas últimas en unas aleaciones mucho más prácticas y competitivas en determinadas aplicaciones para el diseño.

La investigación tiene como propósito general determinar las propiedades y parámetros del material inteligente con memoria de forma CuZnSn. Propiedades como: el límite elástico, la resistencia máxima, el módulo elástico, la ductilidad. Por lo cual la comprensión de estas nuevas propiedades y parámetros que las caracterizan a estos magníficos materiales abre nuevas posibilidades en el campo de la ingeniería de diseño, como también harán que estos materiales adquieran una importancia industrial y comercial.

En la Universidad Técnica de Ambato en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica fue viable realizar el estudio ya que se contó con los equipos e instrumentos necesarios y a la vez se aportó con datos reales sobre las aleaciones con memoria de forma para futuras investigaciones.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar el estudio de las propiedades mecánicas de la aleación CuZnSn para sugerir una aplicación industrial.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los porcentajes adecuados de cobre, zinc y estaño para obtener la aleación con memoria de forma CuZnSn mediante un proceso de fundición.
- Determinar la composición química adecuada para que la aleación CuZnSn se comporte como un material con memoria de forma.
- Ensayar el material con memoria de forma CuZnSn mediante la aplicación de normas ASTM-E.
- Visualizar la microestructura metalográfica resultante de la aleación con memoria de forma CuZnSn mediante un análisis metalográfico.
- Determinar que aplicación industrial se podrá sugerir para la aleación con memoria de forma CuZnSn.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.

METALS HANDBOOK ASM. VOLUME 2

Properties and selection

Nonferrous alloys and special-purpose materials.

Menciona que las aleaciones con memoria de forma (Shape Memory Alloys) presentan efecto de memoria de forma, las que pueden recuperar cantidades sustanciales de tensión o pueden generar una fuerza significativa en el cambio de forma.

En la aleación Cu-Zn se puede añadir un tercer elemento que puede ser Si, Sn, Al. (En un pequeño porcentaje).

La característica general de las aleaciones con memoria de forma es la transformación martensítica en las cuales se obtienen martensita termoelástica y se desarrolla a partir de una fase de austenita a alta temperatura cambiando a una baja temperatura obteniendo una fase de martensita y son como una estructura de espina de pescado cuando se observa metalográficamente. El rango de temperaturas varía con cada sistema de aleación.

ING. SEGUNDO ENPÍN LAGOS

Maestría en Diseño Mecánico.

Universidad Técnica de Ambato.

TEMA: Estudio de la aleación inteligente con memoria de forma CuZnAl para determinar su aplicación industrial”

Establece que la pérdida de zinc por evaporación y oxidación en el proceso de fundición es de 11,32%, también recomienda que para realizar una aleación en primer lugar se debe empezar a fundir el metal que tenga el punto más alto de fusión para disminuir las pérdidas (por evaporación y oxidación) de los elementos que tiene un menor punto de fusión.

2.2. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.

La presente investigación se basa en el paradigma crítico-propositivo debido a las características que posee este paradigma bajo ciertos parámetros de la investigación; Crítico porque se analizara el carácter funcional de este tipo de materiales y sus propiedades como también aportará a una realidad de los avances tecnológicos del área de materiales y propositivo porque se busca la comprensión de nuevas propiedades que los caracteriza a los materiales inteligentes con efecto de memoria de forma para plantear una alternativa de solución a la escasa disponibilidad de materiales inteligentes con efecto de memoria de forma que brinden un aporte con conocimientos para los ingenieros de diseño, para ampliar su aplicación industrial.

2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL.

El desarrollo del proyecto se destacará en base a la norma ASTM-E, como:

- ASTM E-3. Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens.
- ASTM E-8. Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials [Metric].
- ASTM E-18. Standard Test Method for Rockwell Hardness of Metallic Materials.
- ASTM E-23. Standard Test Method for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.

2.4. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

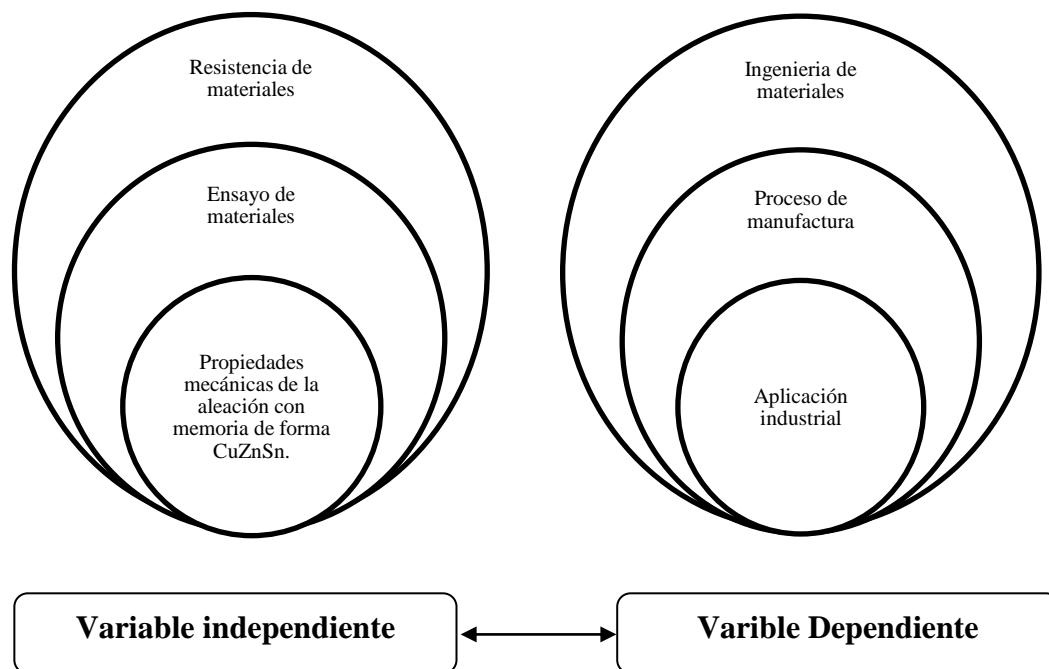


Figura 2-1: Red de categorías fundamentales

Fuente: (El Autor)

2.5. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.5.1. Ensayo de materiales

Se denomina ensayo de materiales a toda prueba cuyo fin es determinar las propiedades mecánicas de un material.

2.5.1.1. Ensayo de tracción.

El ensayo de tracción es para medir en forma cuantitativa algunas de las propiedades mecánicas clave de los materiales estructurales, el cual proporciona la información más completa de la conducta mecánica que cabe esperar de un material sometido a un estado de tensión uniaxial.

El equipo utilizado para realizar este ensayo es la máquina universal de tracción. Esta máquina es una prensa hidráulica que tiene dos cabezales, a los cuales se encuentran acoplados a unas mordazas. Uno de los cabezales es móvil, el cual es accionado por una bomba de aceite.



Figura 2-2: Máquina universal-Laboratorio de ensayo de materiales FICM- UTA.

Fuente: (El Autor)

A través del ensayo de tracción es necesario especificar las siguientes propiedades:

- **Rigidez** intrínseca del material, expresada por la medida del módulo de Young (E).
- **Resistencia mecánica** de material, que se evalúa mediante el límite de cedencia para metales y polímeros; todos estos parámetros se utilizan para la selección de materiales y para el diseño y dimensionado de componentes y estructuras.
- **Ductilidad** del material, evaluada como alargamiento porcentual a fractura (A%) o como estricción (Z%). Ambos parámetros solamente se utilizan para la selección de materiales.
- **Tenacidad** del material, que define como la energía por unidad de volumen que absorbe el material hasta la fractura puede evaluarse mediante el módulo de tenacidad.

2.5.1.1.1. 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.

2.5.1.1.2. Porcentaje de alargamiento (% de elongación).

La cantidad de elongación que presenta una muestra bajo tensión durante un ensayo proporciona un valor de ductilidad de un metal. La ductilidad de los metales comúnmente se expresa como porcentaje de elongación.

En una probeta de metal el porcentaje de elongación depende del tramo de calibración donde se establecen las mediciones, para lo cual se ha normalizado como por ejemplo en la norma ASTM E8 exige un tramo de calibración de cuatro veces el diámetro.

El porcentaje de elongación puede calcularse por la ecuación:

$$\% \text{ elongación} = \frac{\text{longitud final} - \text{longitud inicial}}{\text{longitud inicial}} \times 100\% = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1)$$

2.5.1.1.3. Porcentaje de reducción de área.

También el comportamiento de ductilidad de un metal se puede expresar en términos de la reducción del área. Cuando finaliza en ensayo de tracción, se toma la medida de la zona donde se fracturó la pieza, y se confronta con el área de sección transversal original de la pieza. La relación del porcentaje de reducción de área es:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{\text{área inicial} - \text{área final}}{\text{área inicial}} \times 100\% \quad (2)$$

El porcentaje de reducción en el área, como el porcentaje de elongación, es una medida de la ductilidad del metal y es también el índice de calidad. El porcentaje de reducción en el área puede decrecer si hay presente defectos como inclusiones y/o porosidades en la muestra metálica.

2.5.1.1.4. 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 ingenieril. En muchos materiales dúctiles, la deformación no se mantiene uniforme, en cierto momento, una región se deforma más que otra y ocurre una reducción local de

importancia en la sección recta. Esta región localmente deformada se conoce como zona de estricción o 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 ingenieril, 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.

$$S_{ut} = \frac{\text{Carga máxima}}{\text{Área de la sección transversal original}} \quad (3)$$

2.5.1.2. Prueba de chispa.

Al aplicar el acero a la piedra esmeril se producen chispas que por su forma y color permiten conocer al composición química, sobre todo se determina el contenido de carbono y se puede clasificar la pieza como perteneciente a un grupo determinado de aceros. El ensayo se hace con mas presión si se oscurece el local y se esmerila conjuntamente con la pieza una barra de composición conocida.

2.5.1.3. Ensayo de dureza.

La dureza de un material es la resistencia que opone a la penetración de un cuerpo mas duro. La dureza de la mayoría de materiales se mide forzando un penetrador sobre la superficie del material a ensayar. Después de realizar la inclusión, se retira el penetrador de la superficie. Se calcula un valor de dureza empírica o se lee en una escala analógica, que se basa en el área de selección o en la profundidad de la impresión. (Smith, 1999)

El material del penetrador, que es usualmente una bola, pirámide o cono, está hecho de un material mucho más duro que el material bajo ensayo. El acero reforzado con carburo de tungsteno y el diamante son los materiales comúnmente utilizados como penetradores.

Podemos mencionar los cuatro tipos de ensayos de dureza más importantes:

- Dureza Rockwell
- Dureza Brinell
- Dureza Vickers
- Dureza Knoop

A continuación se muestra en la figura 2-3. Los tipos de ensayos, los identificadores, la forma de identificación, la carga y el número de dureza.

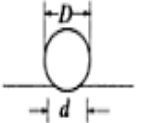

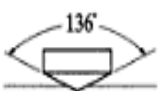

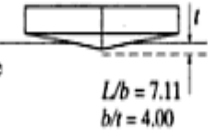

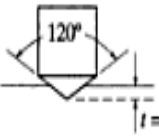

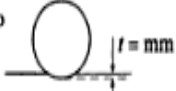

Ensayo	Indentador	Forma de la indentación		Carga, P	Número de dureza	
		Vista lateral	Vista superior			
Brinell	Bola de acero de 10 milímetros o de carburo de tungsteno			500 kg 1500 kg 3000 kg	$HB = \frac{2P}{(\pi D) (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	
Vickers	Pirámide de diamante			1-120 kg	$HV = \frac{1.854P}{L^2}$	
Knoop	Pirámide de diamante			25g-5kg	$HK = \frac{14.2P}{L^2}$	
Rockwell				kg		
A } C } D }	Cono de diamante			60	HRA	} = 100 - 500r
				150	HRC	
				100	HRD	
B } F } G }	Bola de acero de 1/16" de diámetro			100	HRB	} = 130 - 500r
				60	HRF	
				150	HRG	
E	Bola de acero de 1/8" de diámetro			100	HRE	

Figura 2-3: Características generales de los métodos de ensayo de dureza y fórmulas para el cálculo de dureza.

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2002)

2.5.1.3.1. Dureza Rockwell

Al igual que en el ensayo Brinell la dureza se determina en función del grado de penetración de la pieza a ensayar a causa de la acción del penetrador bajo una carga estática dada. El ensayo de dureza Rockwell es el método más usado para medir la dureza, ya que es muy simple de llevar a cabo.

Además se puede utilizar diferentes escalas que provienen de la utilización de distintas combinaciones de penetradores y cargas, lo cual permite ensayar virtualmente cualquier metal o aleación desde el más duro al más blando. Cada escala está representada por una letra del alfabeto. A partir de las combinaciones posibles de distintos penetradores y cargas, el estándar ASTM E18 define 15 escalas diferentes de durezas Rockwell. Se muestra la tabla que las define, tomada directamente de dicho estándar.

Tabla 2-1: Escalas de dureza Rockwell

Scale Symbol	Indenter	Total Test Force, kgf	Dial Figures	Typical Applications of Scales
B	1/16-in. (1.588-mm) ball	100	red	Copper alloys, soft steels, aluminum alloys, malleable iron, etc.
C	diamond	150	black	
A	diamond	60	black	Cemented carbides, thin steel, and shallow case-hardened steel.
D	diamond	100	black	
E	1/8-in. (3.175-mm) ball	100	red	Thin steel and medium case hardened steel, and pearlitic malleable iron.
F	1/16-in. (1.588-mm) ball	60	red	
G	1/16-in. (1.588-mm) ball	150	red	Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals.
H	1/8-in. (3.175-mm) ball	60	red	
K	1/8-in. (3.175-mm) ball	150	red	Annealed copper alloys, thin soft sheet metals. Malleable irons, copper-nickel-zinc and cupro-nickel alloys. Upper limit G92 to avoid possible flattening of ball. Aluminum, zinc, lead. Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that does not give anvil effect.
L	1/4-in. (6.350-mm) ball	60	red	
M	1/4-in. (6.350-mm) ball	100	red	
P	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	red	
R	1/2-in. (12.70-mm) ball	60	red	
S	1/2-in. (12.70-mm) ball	100	red	
V	1/2-in. (12.70-mm) ball	150	red	

Fuente: (ASTM E18 – 08b)

2.5.2. Aleaciones con efecto de memoria y sus propiedades.

2.5.2.1. Clasificación de los materiales con efecto de memoria.

Dependiendo del tipo de estímulo o comportamiento de algunos materiales comúnmente denominados como activos o inteligentes se clasifican en:

- **Materiales Electro y Magnetoactivos:-** Son materiales que actúan o reaccionan ante cambios eléctricos o magnéticos (magnetostrictivos, electrostrictivos), ampliamente empleados en el desarrollo de sensores.
- **Materiales Fotoactivos:-** Son materiales que actúan emitiendo luz.
- **Materiales Cromoactivos:-** Son materiales que modifican su color ante cambios de temperatura, luz o presión.
- **Materiales con Memoria de Forma:-** (aleaciones metálicas SMA y polímeros). Se definen como aquellos materiales capaces de “recordar” su forma y capaces de volver a esa forma incluso después de haber sido deformados. Este efecto de memoria de forma se puede producir por un cambio térmico o magnético.

Dependiendo de su naturaleza química, los materiales inteligentes con efecto de memoria de forma se pueden clasificar en cuatro grupos bien definidos, los cuales son:

- Aleaciones metálicas con memoria de forma (SMA)
- Aleaciones metálicas con memoria de forma inducida magnéticamente (FSMA)
- Cerámicas con memoria de forma (SMC)
- Polímeros con memoria de forma (SMP).

2.5.2.1.1. Materiales con memoria de forma (SMA).

Las aleaciones con memoria de forma presentan un comportamiento distinto al resto de los materiales, es decir, si una muestra de estas aleaciones se deforma "plásticamente", la deformación aparentemente permanente resultante puede ser invertida por simple calentamiento de la muestra a una temperatura específica, devolviendo a la muestra a su forma original.

2.5.2.1.2. Transformación martensítica.

En la actualidad la transformación martensítica se define como una transformación estructural sólido-sólido entre dos fases con diferente estructura cristalográfica, en la que no existe difusión atómica siendo una transformación de primer orden acompañada por una deformación homogénea de red controlada por un mecanismo de cizalla de planos atómicos. Cuya energía de deformación domina la cinética y morfología de la transformación. La peculiaridad de ser una transformación no difusiva implica que, mediante pequeños desplazamientos coordinados de los átomos (en distancias inferiores a las interatómicas), se llega a una nueva estructura cristalina más estable, sin cambiar la naturaleza química de la matriz.

La transformación martensítica se produce entre dos fases sólidas, una fase de alta temperatura denominada austenita y otra fase de baja temperatura, de menor simetría cristalina, denominada martensita. Al ser de primer orden, absorbe o libera calor en su proceso (cambio de entalpía) y lleva asociada una histéresis térmica, un cambio de volumen y la coexistencia de las dos fases en el rango de temperaturas en el que tiene lugar la transformación. En este cambio de fase, como los desplazamientos atómicos son menores que la distancia interatómica, las interfases entre austenita y martensita son coherentes y están constituidas por un plano que permanece siempre fijo denominado plano invariante o plano de hábito. (Moreno, 2012)

Si analizamos desde el punto de vista cristalográfico, la transformación de austenita a martensita puede explicarse por separado en dos partes:

- Deformación de la red cristalina
- Cizalladura invariante de la red.

Donde la deformación de la red cristalina consiste en todos los movimientos atómicos necesarios para producir la nueva estructura a partir de la antigua. Lo cual se puede observar en la figura siguiente, a medida que avanza la interfaz cada capa de átomos es desplazada tan solo una pequeña distancia lo cual provoca que se forme la nueva estructura martensítica. (Wayman, 1992)

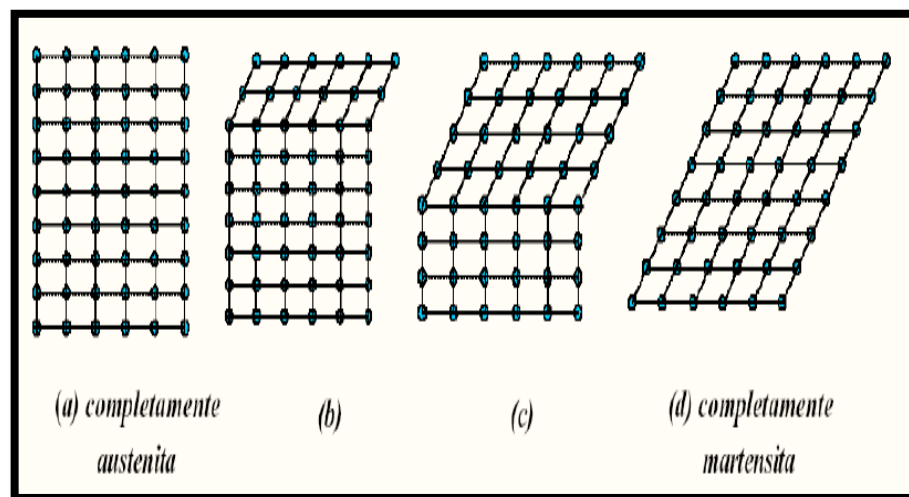


Figura 2-4: Se representa esquemáticamente en dos dimensiones, la transformación de austenita a martensita. (a) es completamente austenita, (d) completamente martensita, (c) a medida que la interfaz avanza, cada capa de átomos se desplaza solo una pequeña distancia.

Fuente: Flor, S. 2005.

Por otra parte la transformación martensítica por cizalladura invariante de la red es un paso de acomodación, en las aleaciones con memoria de forma se produce solamente cambio de forma y no de volumen, lo que es totalmente diferente de los aceros ya que en estos a la vez se produce cambio de forma y de volumen.

En la nueva fase como austenita circundante debe ser alterada para acomodarse a una nueva estructura, para lo cual existe dos mecanismos por los cuales se puede realizar: por deslizamiento o por maclado.

El deslizamiento es un proceso capaz de acomodar cambios de forma de un modo permanente por lo que es común en la mayoría de martensitas, mientras que el maclado es capaz de acomodar cambios de forma de un modo reversible, lo cual debe predominante para que la memoria de forma ocurra, por lo que es incapaz de acomodar cambios de volumen. (Flor, 2005)

En la figura siguiente se puede observar la representación de los procesos de acomodamiento por deslizamiento y como también por maclado.

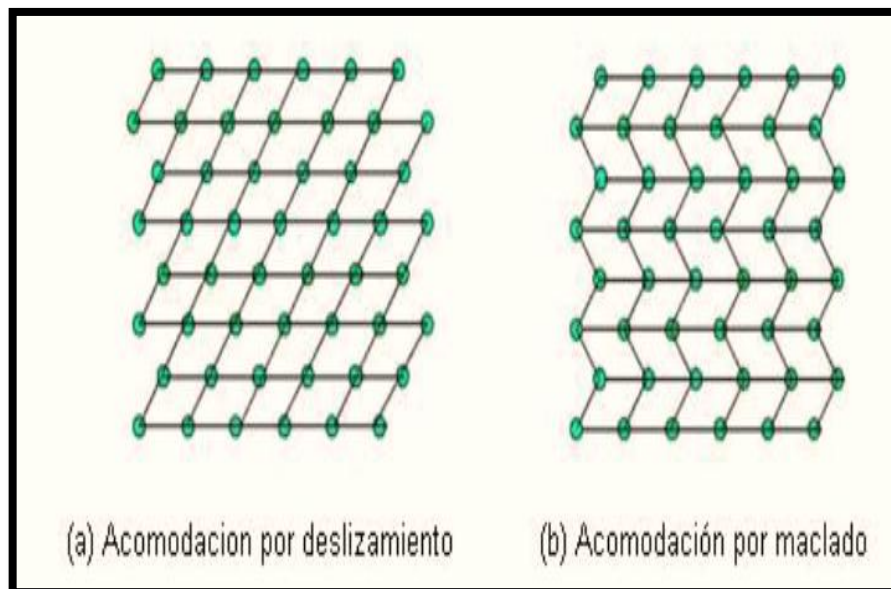


Figura 2-5: Representación a los dos mecanismos de acomodamiento. (a) Deslizamiento, la microestructura es dañada irreversiblemente y (b) Maclado, la acomodación es reversible, pero no se pueden alcanzar cambios de volumen sustanciales.

Fuente: Flor, S. 2005.

En la figura siguiente se puede observar una representación gráfica de los mecanismos de acomodamiento. Donde (a) representa el cambio de forma debido a la transformación martensítica, mientras que en (b) se representa la

acomodación de la deformación por deslizamiento y en (c) se representa la acomodación de la deformación por maclado.

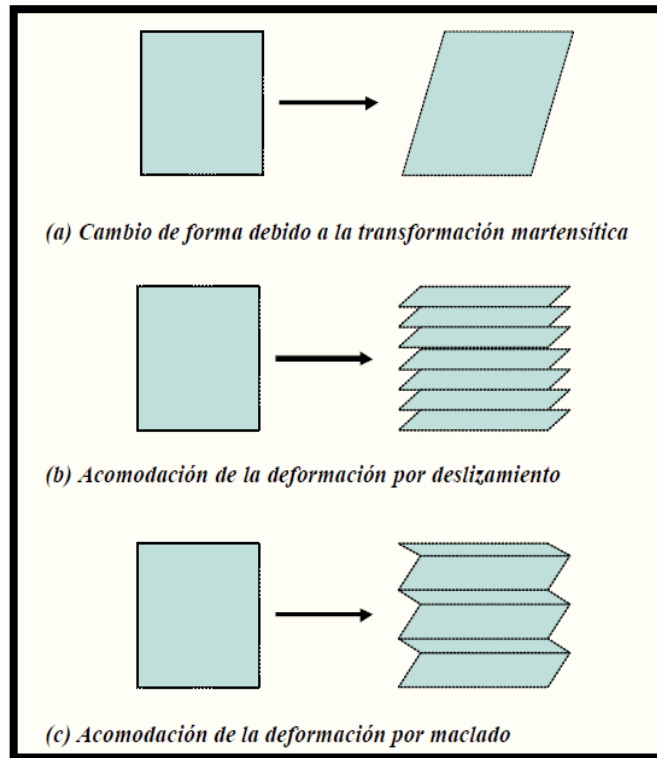


Figura 2-6: Representación gráfica de los dos mecanismos de acomodamiento. (a) Cambio de forma debido a la transformación martensítica, (b) Acomodación por deslizamiento. (c) Acomodación por maclado.

Fuente: Flor, S. 2005.

2.5.2.1.3. Temperaturas de transformación.

Todas las propiedades físicas de la austenita y martensita son diferentes, y por ello a medida que atravesamos el punto de transformación mediante una variación de la temperatura, aparece una gran variedad de cambios en las propiedades significativas.

Las temperaturas M_s , M_f , A_s , A_f que se indican en la figura siguiente se refieren a las temperaturas a las cuales las transformaciones martensítica y austenítica empiezan y terminan respectivamente. No existe una temperatura determinada, sino un rango de temperaturas en el que se produce la transformación,

denominadas temperaturas características o temperaturas de transformación, fundamentales en la caracterización de estas aleaciones.

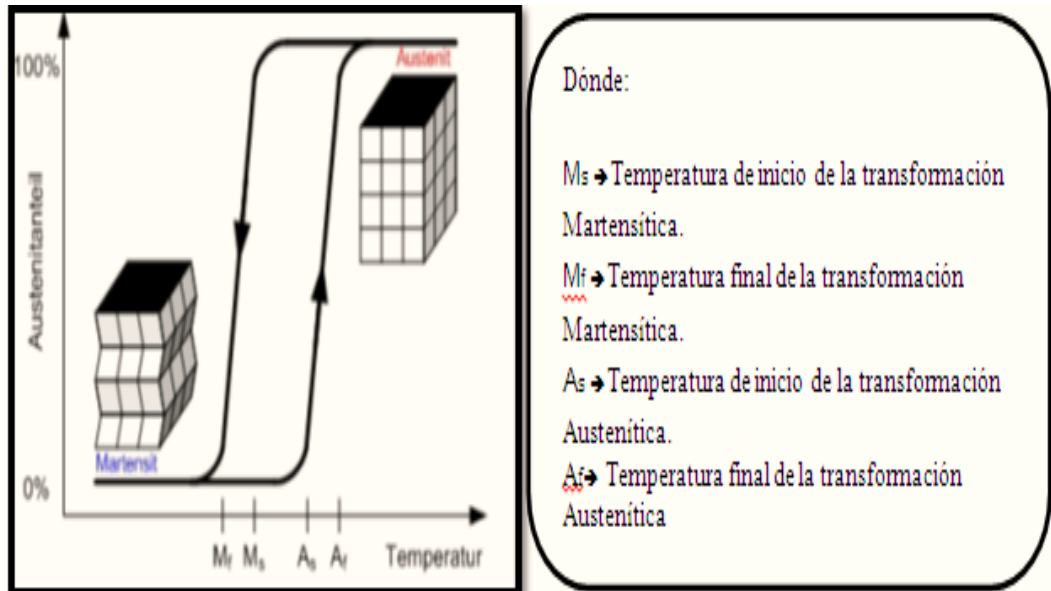


Figura 2-7: Representación gráfica de las temperaturas de transformación.

Fuente: Otsuka & Wayman, 1998

2.5.2.1.3.1. Mecanismos de transformación

La transformación martensítica se puede provocar por dos vías:

- Martensita por cambio de temperatura
- Martensita por tensión (efecto superelástico).

2.5.2.1.3.1.1. Transformación martensítica inducida por temperatura

En la figura siguiente se puede observar la representación de las temperaturas (M_s , M_f , A_s , A_f) a las cuales las transformaciones martensítica y austenítica empiezan y terminan respectivamente.

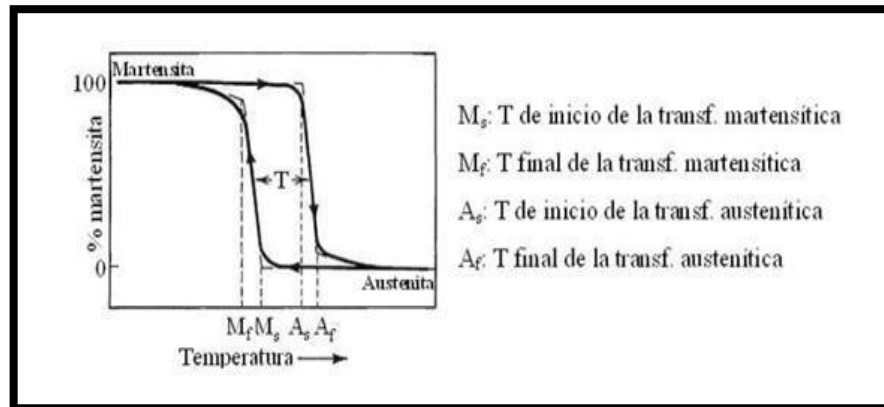


Figura 2-8: Fracción de fase transformada en función de la temperatura para una SMA

Fuente: *Materiales con memoria de forma. Recuperado de www.ingenieriademateriales.wordpress.com*

Cuando la temperatura aumenta y alcanza A_s , la martensita empieza a transformarse en austenita. A la temperatura A_f , la martensita está transformada en fase austenita. Disminuyendo la temperatura, la austenita empieza a retransformarse en martensita a la temperatura M_s y a la temperatura M_f todo es martensita.

La diferencia de temperatura entre A_s y M_s se debe a la energía extra que necesita el material para nucleación la primera placa de martensita. Los precipitados facilitan la nucleación al aumentar la energía en este punto.

Las diferencias de temperatura M_s - M_f y A_s - A_f , que caracterizan la facilidad de transformación de la aleación, son principalmente debidas a la energía elástica almacenada durante la transformación. La histéresis de la transformación indica

un mecanismo de energía disipada, lo que resulta en las diferencias de las temperaturas de inicio y de fin (A_s - M_f y A_f - M_s) de la transformación.

En la figura siguiente muestran para aleaciones monocristalinas CuZnSn la evolución de las curvas tensión-deformación en función de la temperatura.

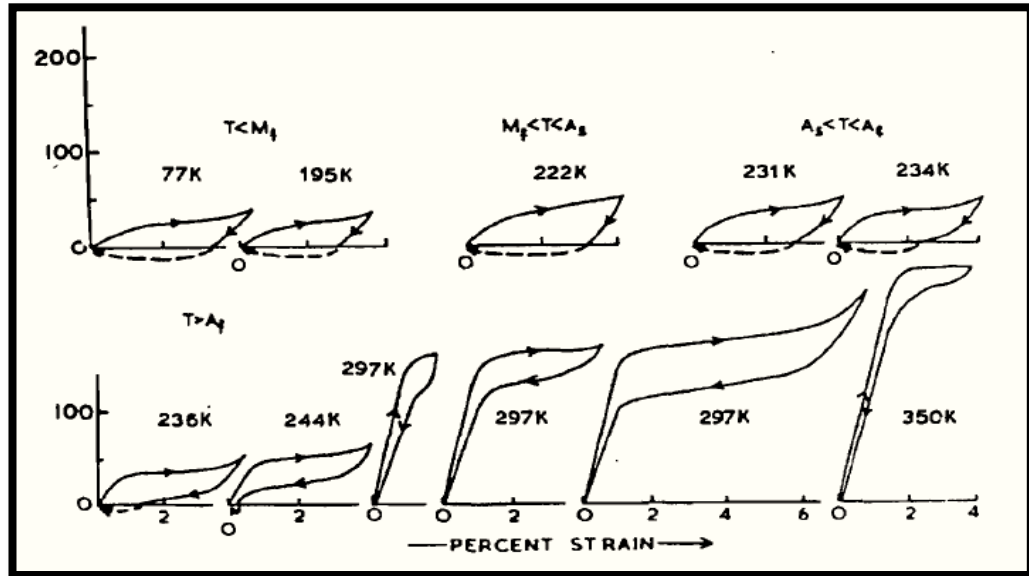


Figura 2-9: Curvas tensión deformación en función de la temperatura para una aleación Cu-34.7Zn-3Sn con una temperatura de transformación MS = 221 K.

Fuente: Peña Andrés, F. J. 2000.

2.5.2.1.4. Memoria de Forma Simple

El efecto de memoria de forma simple es la capacidad que tiene un material para deformarse mediante un esfuerzo aplicado y recupera su forma original al aplicar un simple calentamiento, esto se debe a que un material en fase martensítica, después de deformado plásticamente, puede permanecer deformado hasta que se caliente a una temperatura superior a A_f , de manera que la martensita se transforme en austenita, recuperando la forma inicial.

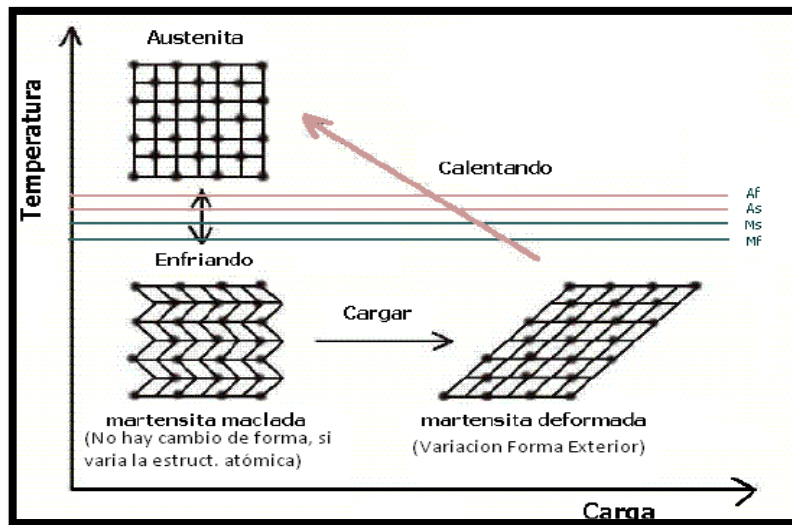


Figura 2-10: Esquema del proceso de memoria de forma.

Fuente: Caracterización superficial de aleaciones del NiTi. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3174/1/36478-1.pdf>

Es posible explicar de una mejor manera mediante la descripción de la figura anterior mediante los siguientes pasos:

- En primer lugar se enfría el material sin aplicar carga hasta una temperatura inferior a M_f , Por lo que se provoca una transformación directa de austenita a martensita, en donde la martensita se forma de una manera autoacomodada de manera que la forma macroscópica del material no cambia.
- Luego con el material en estado martensítico, se aplica un esfuerzo creciente de manera que la aleación se deforma y después una descarga. Esta secuencia reorienta las variantes de la martensita, y provoca una deformación macroscópica.
- Finalmente al calentar el material hasta una temperatura superior a A_f sin tensión. Provoca la transformación inversa, de martensita a austenita, volviendo el material a su forma inicial. (Donázar, 2012)

2.5.2.1.5. Memoria de Forma Doble.

En este caso el material tiene la capacidad de recordar dos formas, la forma fría ($T < M_f$) en el estado martensítico, y la forma caliente ($T > A_f$) en el estado austenítico. No sólo se acuerda de su forma de fase matriz, sino también su forma martensítica.

En la figura siguiente se muestra el efecto de forma doble un muelle helicoidal. Se diferencia del efecto de la memoria de forma simple en dos aspectos:

- Un cambio de forma durante el enfriamiento.
- Repetición indefinida del efecto memoria de forma mediante ciclado térmico (= calefacción y refrigeración)

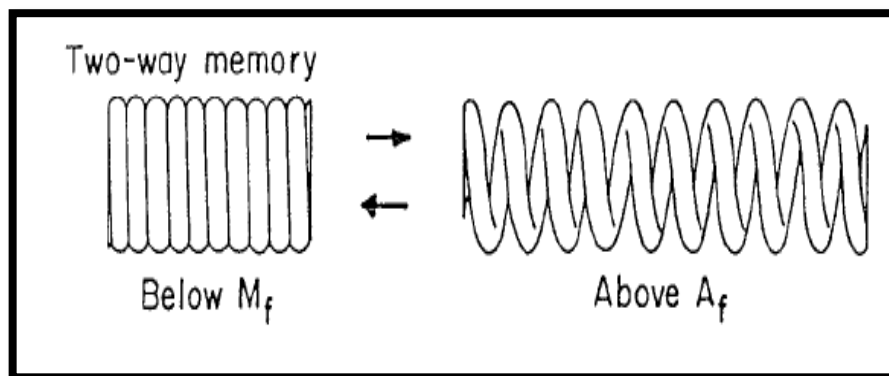


Figura 2-11: Muelle en espiral que muestra el efecto de memoria de dos vía

Fuente: Wijst, M. v. 1992.

El efecto de doble memoria de forma debe ser inducida por un tratamiento termomecánico, llamado entrenamiento: se trata de una propiedad adquirida donde la deformación recuperable depende del número de ciclos a la que se someta la muestra. (Wijst, 1992)

2.5.2.2. Pseudoelasticidad.

Es el fenómeno que se produce a temperatura constante en fase totalmente austenítica donde se obtienen grandes deformaciones recuperables, obteniendo así ciclos cerrados en los gráficos σ - ϵ como se puede apreciar en la figura siguiente. De esta manera se considera la superelasticidad y el efecto goma como casos particulares de pseudoelasticidad. En el primero de ellos la causa es la transformación de la martensita inducida mediante esfuerzo, mientras que el segundo se debe al comportamiento de la martensita en sí misma.

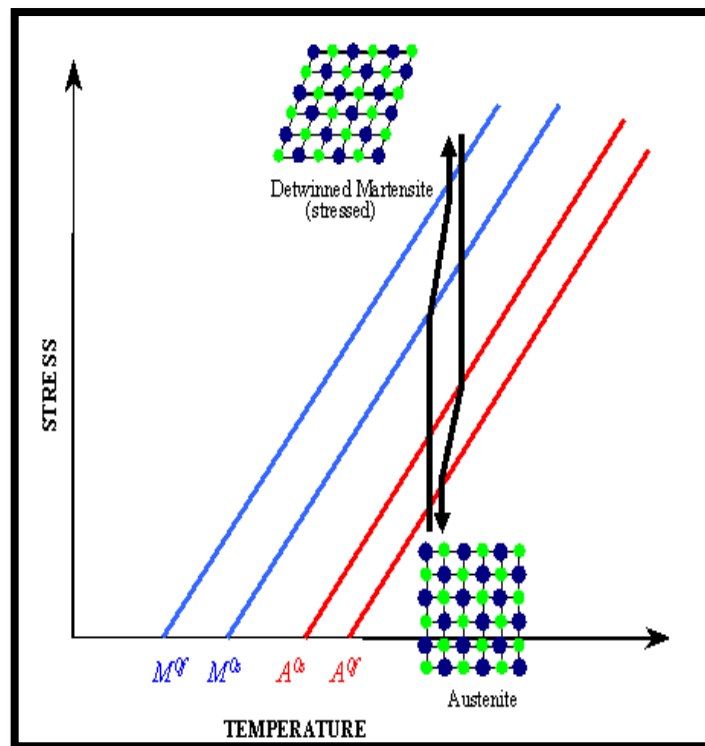


Figura 2-12: Diagrama de carga de efecto pseudoelástico

Fuente: efecto pseudoelástico. Recuperado de

<http://smart.tamu.edu/overview/smaintro/simple/pseudoelastic.html>

2.5.2.3. Superelasticidad.

Las aleaciones con efecto de memoria de forma muestran un comportamiento superelástico si son deformadas a una temperatura que está ligeramente por encima de su temperatura de transformación. Es decir, existen dos tipos de martensita, una deformada y otra normal. Esta última revierte inmediatamente a la martensita deformada tan rápido como la fuerza que actúa sobre ella es removida. Este proceso provee de una elasticidad gomosa a estas aleaciones. (Guariglia, Bruno, & Imparato, 1999)

2.5.2.4. Efecto goma.

Bajo determinadas condiciones, la deformación al aplicar un esfuerzo externo al material en la fase martensita (en su forma multivariante) puede ser de carácter reversible, de manera que al relajar el esfuerzo aplicado se recupera la deformación.

Este efecto se atribuye al movimiento reversible de las interfases entre variantes después del envejecimiento. Recientemente se ha intentado explicar el fenómeno mediante nuevos mecanismos asociados con la ordenación atómica de corto alcance. (Ren & Otsuka, 1997)

2.5.2.5. Cálculo del % de zinc equivalente.

Todas las adiciones de elementos a aleaciones binarias de latones se puede evaluar en “zinc equivalente” (porcentaje ficticio de Zn) de acuerdo a la teoría de Guillet. Ya que en una aleación la adición de otros elementos puede modificar las propiedades intrínsecas de las fases presentes.

$$Zn_{equiv} = 100\% - Cu\% * \frac{100}{100 + X\% * (k - 1)} \quad (4)$$

Dónde:

X: Es porcentaje del elemento de adición.

k: Coeficiente de equivalencia en Zn (k para el estaño es: 2).

De la ecuación anterior resulta que cuando $k > 1$ aumenta la proporción en fase β , en cambio cuando $k < 1$ aumenta la proporción en fase α . (Gibson Torres, 2008)

La ecuación Zn_{equiv} , se puede evaluar mediante el diagrama binario Cu-Zn; (Ver anexo A)

2.5.3. El cobre, zinc y estaño.

2.5.3.1. El cobre

Es un metal no ferroso de color rojizo, tiene gran aplicación en estado puro sobre todo en la fabricación de alambres para conductores y otras aplicaciones eléctricas que tiene un elevado grado de pureza (aproximadamente 99.98%).

El cobre es muy tenaz, dúctil, tiene buena resistencia a la corrosión, es un buen conductor eléctrico, tiene buena conductividad térmica, son de fácil procesamiento mediante técnicas de formado, maquinado, fundido y soldado.

El cobre se alea principalmente con los siguientes elementos: Zn, Sn, Al, Ni, Be, Si, Cd, Cr y otros en menor cuantía.

Las aplicaciones típicas son: alambres conductores, bajadas de agua, canalones, techados, juntas, radiadores para automóviles, barras para buses, rodillos de imprenta, remaches, tuberías, etc.



Figura 2-13: Aplicaciones del cobre

Fuente: El cobre. Recuperado de

<http://quimicaparaingenieria.blogspot.com/2012/12/cobre.html>

2.5.3.2. El zinc

Es un metal sólido maleable, dúctil, el color característico es blanco azulado y gris plateado. El metal presenta una gran resistencia a la deformación plástica en frío que disminuye en caliente, lo que obliga a laminarlo por encima de los 100 °C. Se utiliza principalmente como un agente anticorrosivo en productos de metal (en el proceso de galvanización).

Las aleaciones más empleadas son las de aluminio y cobre que mejoran las características mecánicas del zinc y su aptitud al moldeo.

Las aplicaciones típicas son: en pilas de zinc y carbono, en conductos, canales, cubiertas para tejados, estanques, computadoras portátiles, piezas de fundición inyectada en la industria de automoción, metalurgia de metales preciosos y eliminación de la plata del plomo etc. Se utiliza en zinc aleado con el cobre para crear el latón.

En la figura siguiente se muestra las principales aplicaciones del zinc.

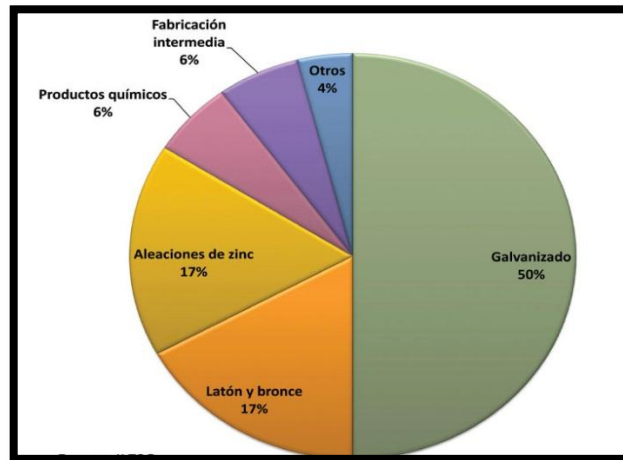


Figura 2-14: Principales aplicaciones del zinc

Fuente: El zinc. Recuperado de www.azsa.es

2.5.3.3. El estaño

Es un metal de color plateado, maleable, el cual no se oxida fácilmente y es resistente a la corrosión, se funde a baja temperatura, tiene gran fluidez cuando se funde y posee un punto de ebullición alto.

Usos del estaño:

- Se usa como revestimiento protector del cobre, del hierro y de diversos metales usados en la fabricación de latas de conserva.
- Se usa para realizar bronce, (aleación de estaño y cobre).
- Se usa en aleación con plomo para fabricar la lámina de los tubos de los órganos musicales.
- Se usa como material de aporte en soldadura blanda con cautín, bien puro o aleado.
- El estaño también se utiliza en la industria de la cerámica para la fabricación de los esmaltes cerámicos.
- Es usado también en el sobre taponado de botellas de vino, en forma de cápsula. España es uno de los mayores fabricantes de cápsulas de estaño.

Tabla 2-2: Propiedades del cobre, zinc y estaño.

Propiedades del cobre, zinc y estaño			
Nombre	Zinc	Cobre	Estaño
Símbolo químico	Zn	Cu	Sn
Número atómico	30	29	50
Grupo	12	11	14
Periodo	4	4	5
Aspecto	azul pálido grisáceo	rojizo y brillo metálico	plateado
Densidad	7140 kg/m ³	8960 kg/m ³	7365 kg/m ³
Masa atómica	65.409 u	63,536 u	118,710 u
Radio atómico	142 pm (radio de bohr)	145 pm (radio de bohr)	145 pm (radio de bohr)
Radio de van der Waals	139 pm	140 pm	217 pm
Electrones por capa	2, 8, 18, 2	2,8,18,1	2,8,18,18,4
Estados de oxidación	2	1,2,3,4	4,2
Estructura cristalina	hexagonal	FCC	Tetragonal
Estado	sólido	sólido	sólido
Punto de fusión	692,68 K (420°C)	1357,77 K (1084,62 °C)	505,08 K (232 °C)
Punto de ebullición	1180 K (907°C)	3200 K (2927 °C)	2875 K (2602 °C)
Electronegatividad	1,6	1,9 (Pauling)	1,96 (Pauling)
Calor específico	390 J/(K·kg)	385 J/(K·kg)	228 J/(K·kg)
Conductividad eléctrica	16,6·10 ⁶ S/m	58,108x10 ⁶ S/m	9,17x10 ⁶ S/m
Conductividad térmica	116 W/(K·m)	400 W/(K·m)	66,6 W/(K·m)

Fuente: (Propiedades de los elemento. Recuperado de www.lenntech.es)

2.5.4. Proceso de manufactura.

2.5.4.1. El proceso de metales y aleaciones.

La mayoría de los metales son procesados fundiendo primeramente el metal en un horno cuya función es proporcionar el metal fundido. Al metal fundido se le puede añadir diversos elementos con el fin de producir diferentes tipos de aleaciones. Después se vacía en un molde de refrigeración directa y fundido semicontinuo. De este modo se producen lingotes en forma de enormes láminas, otros tipos de lingotes con diferentes secciones transversales circulares.

La producción de formas extruidas como acanaladuras y formas extruidas se consigue por extrusión de lingotes, y la manufactura de barras y alambres, a partir de lingotes en barras. A escala más pequeña, se puede dar forma a los metales fundidos introduciéndolos en un molde que tenga la forma del producto a fabricar, y usualmente con un pequeño trabajo en máquina u otra operación de acabado se consigue finalmente el producto deseado.

2.5.4.1.1. Laminación en frío y caliente de metales.

La laminación en frío y caliente son métodos comúnmente usados en la fabricación de metales y aleaciones. Mediante estos procesos podemos conseguir láminas y planchas de gran longitud y con secciones transversales uniformes.

2.5.4.1.1.1. Laminación en caliente.

Laminación en caliente de lingotes en hojas la laminación en caliente de lingotes en hojas puede ser realizado cuando el metal está caliente, y con cada paso del rodillo se consiguen reducciones de espesor. Antes de que se produzca la laminación en caliente, los lingotes en láminas y planchas se precalientan a una alta temperatura y se mantienen en un horno.

2.5.4.1.1.2. Laminación en frío.

Después del laminado en caliente, que puede incluir algún proceso de laminación en frío, los rodillos de metal se vuelven a calentar en un proceso denominado recocido, que reblandece el metal, con el fin de eliminar cualquier defecto introducido en el proceso de laminación en caliente. El laminado en frío, que normalmente se efectúa a temperatura ambiente, se hace nuevamente usando trenes de cuatro alturas de desbastación en serie.

2.5.5. Aplicaciones de las aleaciones con efecto de memoria de forma.

En la actualidad se ha desarrollado una diversidad de aplicaciones para las aleaciones inteligentes con memoria de forma lo cual depende de la capacidad de transformación de las fases del material. A continuación se presenta algunos ejemplos de aplicaciones:

- Sensores
- Marcos de lentes
- Escotillas de ventilación
- Palos de golf
- Actuadores
- Conectores eléctricos
- Pantallas solares
- Abrazaderas
- Muelles
- Elementos estructurales para disminuir el efecto de los terremotos, etc.

2.6. HIPÓTESIS

H₀: La caracterización de la aleación CuZnSn no permitirá sugerir una aplicación industrial.

H₁: La caracterización de la aleación CuZnSn permitirá sugerir una aplicación industrial.

2.7. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.

Variable Independiente:

Caracterización de la aleación CuZnSn.

Variable dependiente:

Aplicación industrial.

Término de relación:

Sugerir

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA.

3.1. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

En la presente investigación predominan las variables cualitativas puesto que se evaluarán cualidades de los ensayos realizados, al igual que las variables cuantitativas de tipo continuo precisamente porque manejarán datos numéricos.

3.2. NIVEL O TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se utilizó las siguientes modalidades:

Bibliográfica puesto que se obtienen conceptos claros referentes al tema, criterios de diversos autores y como también en lo que concierne a los ensayos.

Descriptiva ya que se analiza las variables de investigación, se distribuye los datos aisladamente, se compara entre los fenómenos encontrados y se tratará de fomentar la tecnología e interés por el estudio de aleaciones inteligentes con memoria de forma CuZnSn.

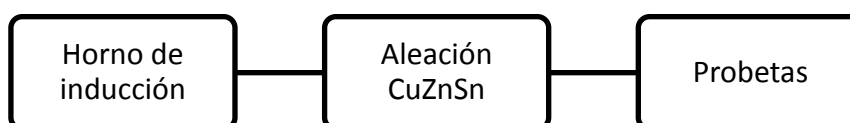
De laboratorio ya se desarrolla en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato en un ambiente controlado.

Sin dejar un lado a la **histórica**, ya que se toma en cuenta la información relacionada con los materiales inteligentes con efecto de memoria de forma.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.

3.3.1. POBLACIÓN.

Lingotes cilíndricos obtenidos mediante fundición en un horno de inducción en los Laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



3.3.2. MUESTRA.

Probetas de aleación inteligente con efecto de memoria de forma CuZnSn.

Aleación con efecto de memoria de forma Cu Zn Sn	Prueba 1	Análisis Metalográfico	2 probetas
		Análisis Químico	1 probeta
		Tracción	5 probetas
		Tenacidad	5 probetas
		Dureza	2 probeta
	Prueba 2	Análisis Metalográfico	2 probetas
		Análisis Químico	1 probeta
		Tracción	5 probetas
		Tenacidad	5 probetas
		Dureza	2 probeta
	Prueba 3	Análisis Metalográfico	2 probetas
		Análisis Químico	1 probeta
		Tracción	5 probetas
		Tenacidad	5 probetas
		Dureza	2 probeta
	Prueba 4	Análisis Metalográfico	2 probetas
		Análisis Químico	1 probeta
		Tracción	5 probetas
		Tenacidad	5 probetas
		Dureza	2 probeta

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

3.4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE:

Caracterización de la aleación CuZnSn.

Tabla 3-1: Operacionalización de la variable independiente.

LO ABSTRACTO		LO OPERATIVO		
CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>El cobre, zinc, estaño son metales que se pueden combinar mediante un proceso de fundición del cual se obtiene un material llamado aleación Cu-Zn-Sn.</p> <p>La caracterización de la aleación mencionada depende significativamente de la homogenización (mezcla) de los elementos aleantes, la mezcla puede ser mediante agitado manual o automático.</p>	<p>-Fundición de la aleación.</p> <p>-Aleación CuZnSn.</p> <p>-Agitado manual de la mezcla.</p>	<p>-Temperatura</p> <p>-Porcentaje de: Cobre, zinc, estaño</p> <p>-Tiempo</p>	<p>-(230- 1100) °C</p> <p>-Cu (50-65) %</p> <p>-Zn(25-40) %</p> <p>-Sn (2-4) %</p> <p>-(0-2) min</p>	<p>-Ensayos de fundición.</p> <p>-Bibliográfica.</p> <p>-Ficha de datos</p> <p>-Ensayos de fundición</p> <p>-Ficha de datos</p> <p>-Observación directa.</p> <p>-Ficha de datos</p>

Fuente: (El Autor).

3.4.2. VARIABLE DEPENDIENTE:

Aplicación industrial

Tabla 3-2: Operacionalización de la variable dependiente.

LO ABSTRACTO		LO OPERATIVO		
CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
La aplicación Industrial de cualesquier material nuevo está relacionada directamente con las propiedades del mismo, Donde las propiedades son evaluadas mediante ensayos normalizados. Estos ensayos pueden ser de: tracción, dureza, metalográficos, etc.	-Tracción. -Dureza. -Metalográfico.	-Resistencia ultima a la tracción. -% de reducción de área -% de elongación -Dureza Rockwell B. -Componentes metalográficos.	-(10-40) Kg/mm ² -(1-5)% -(1-8)% -(60-100)HRB -(0-100)%	-Ensayos de laboratorio -Ficha de datos - Ensayos de laboratorio. -Ficha de datos -Observación de laboratorio. - Ficha de datos.

Fuente: (El Autor).

3.5. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

En el presente trabajo de investigación se empleó principalmente la información recopilada en libros, artículos técnicos, revistas, etc. Como también se empleó la observación directa en cuanto a los aspectos más superficiales como la preparación de materiales utilizados, acondicionamiento del medio, supervisión de equipos y verificación del proceso de cada ensayo los mismos que se realizó en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para poder comprobar el cumplimiento de los objetivos planteados, posteriormente se utilizó la observación estructurada ya que se registró datos de instrumentos técnicos especiales.

3.5.1. PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

- Se revisó críticamente la información bibliográfica recogida.
- Se interpretó los resultados con apoyo del marco teórico.
- Se realizó:
 - El análisis químico de cada lingote de la aleación Inteligente con memoria de forma CuZnSn.
 - El análisis metalográfico de las diferentes probetas de la aleación.
 - El ensayo de dureza de las diferentes probetas de la aleación.
 - El ensayo de tracción de las diferentes probetas de la aleación.
 - Los ensayos físicos de las diferentes probetas de la aleación.
 - El ensayo de tenacidad (Charpy).

3.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.

3.6.1. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

Se realizó:

- Revisión crítica de la información obtenida detectando la información defectuosa para obtener un compendio de todas bibliografías.
- Tabulación de cuadros según variables.
- Representar gráficamente los datos y resultados del estudio.
- Analizar e interpreta los resultados con los objetivos y la hipótesis.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

En el presente capítulo se muestra los resultados de los ensayos metalográficos, químicos, tracción, impacto y dureza.

4.1.1. PRUEBA 1.

La prueba uno se realizó en el horno de inducción (figura 4-1) en el laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi Chico.

Para realizar la prueba 1, en el horno de inducción se utilizó los parámetros que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 4-1: Parámetros utilizados en el horno de inducción durante la prueba 1

PARÁMETRO	VALOR
Tipo de operación	Automático
Presión de agua	0.2 MPa
Caudal de agua	6 L/min
Tiempo de calentamiento	10 - 20 s
Tiempo de permanencia	20 s
Tiempo de enfriamiento	10 s
Amperaje	300 – 800 A

Fuente: (El Autor).

Nota: El amperaje depende de los elementos que se encuentren dentro de la bobina. Como por ejemplo: el tipo de crisol y el metal.

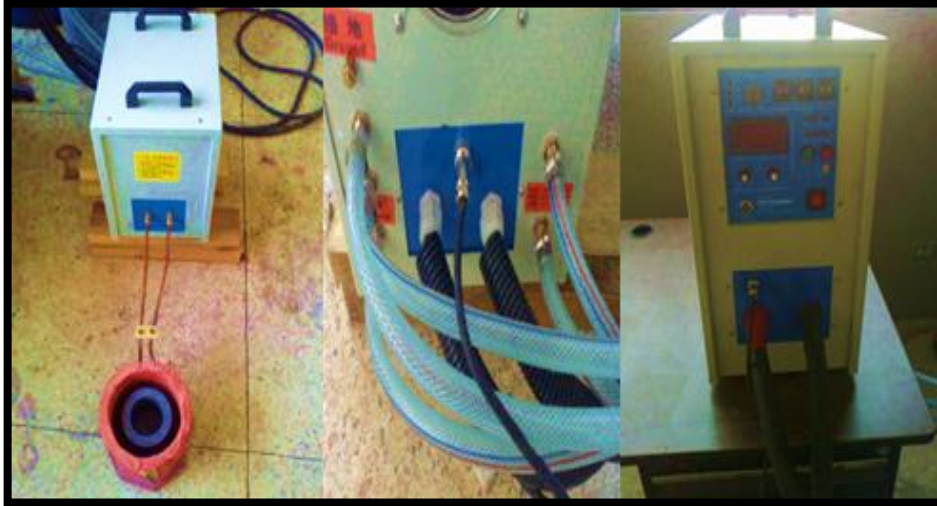


Figura 4-1: Horno de inducción FICM.

Fuente: (El Autor)

Para fundir el metal base se utilizó un crisol de grafito, el que fue maquinado en un torno a partir de los residuos de electrodos de grafito, los cuales ya no se utilizaba en el horno de arco eléctrico en la empresa NOVACERO.



Figura 4-2: Residuo de electrodo de grafito

Fuente: (El Autor)



Figura 4-3: Crisol de grafito luego de ser maquinado en un torno.

Fuente: (El Autor)

En esta prueba se utilizó 2000 gramos de cobre electrolítico.

RESULTADO:

No se consiguió la fusión del metal base (el cobre) por lo tanto no se logró realizar la aleación, puesto que el tipo de grafito del que está hecho el crisol disminuye el amperaje significativamente, por lo tanto el horno no llega a la eficiencia optima de funcionamiento y para la próxima prueba se utilizará otro tipo de crisol.

Como se puede observar en la figura siguiente el metal y el crisol adquiere un color rojizo, pero el metal no llega al punto de fusión. (Temperatura de fusión del cobre 1084,62°C).

La temperatura máxima que se alcanzó en esta prueba es de 950°C



Figura 4-4: Prueba 1, crisol colocado en la bobina del horno de inducción cargado con cobre.

Fuente: (El Autor)

4.1.2. PRUEBA 2

La prueba 2 se realizó en el horno de inducción en el laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato Campus Huachi Chico.

Para realizar la prueba 2 en el horno de inducción se utilizó los parámetros que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 4-2: Parámetros utilizados en el horno de inducción durante la prueba 2

PARÁMETRO	VALOR
Tipo de operación	Automático
Presión de agua	0.2 MPa
Caudal de agua	6 L/min
Tiempo de calentamiento	20 s
Tiempo de permanencia	20 s
Tiempo de enfriamiento	10 s
Amperaje	400 – 1050 A

Fuente: (El Autor).

Para esta prueba se utilizó un CRISOL DE GRAFITO DIAMANT/BRASIL A-6(5.1/4"). Como se puede observar en la siguiente figura.

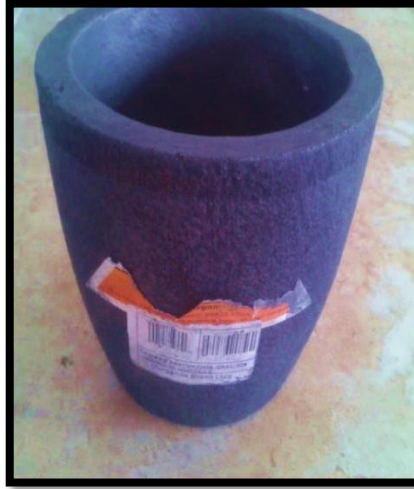


Figura 4-5: Prueba 2, crisol de grafito diamant/brasil a-6(5.1/4").

Fuente: (El Autor)

En la tabla que se encuentra a continuación se muestra la cantidad en gramos de cada elemento que se utilizó para realizar la prueba 2, también cabe recalcar que se utilizó 100 g de manta cerámica no combustible para aislar el crisol de fugas de calor (en la parte inferior y superior del crisol).



Figura 4-6: Manta cerámica

Fuente: (El Autor)

Para pesar los elementos se utilizó una balanza electrónica, de marca BOECO, con una capacidad máxima de 6100 gramos y una tolerancia de $\pm 0,1$ gramos.



Figura 4-7: Balanza electrónica.

Fuente: (El Autor)

Tabla 4-3: Elementos para la aleación CuZnSn con su respectivo peso en gramos, prueba 2.

ELEMENTOS	CANTIDAD EN GRAMOS
COBRE	1920 g
ZINC	1620 g
ESTAÑO	60 g

Fuente: (El Autor).

En este caso se añadió un 20% (600g) más de zinc; para compensar las pérdidas por evaporación y oxidación.

Para realizar la aleación primero se fundió el metal base (el cobre), luego se añadió el zinc y finalmente se añadió el estaño. Posteriormente se meció la colada para obtener una mezcla homogénea.

La aleación en estado líquido se vertió en un molde de arena.



Figura 4-8: Aleación CuZnSn en estado líquido

Fuente: (El Autor)

En la siguiente figura se muestra la probeta obtenida en la prueba 2.



Figura 4-9: Probeta obtenida al sacar del molde.

Fuente: (El Autor)

4.1.2.1. Análisis químico prueba 2

El resultado del análisis químico se puede observar en la tabla siguiente; el cual se realizó en la empresa NOVACERO, en el Laboratorio De Control De Calidad, en la máquina **ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720**, en el canal de ensayo ENERGY TEST.



Figura 4-10: Probeta para el análisis químico.

Fuente: (El Autor)

Tabla 4-4: Resultado del análisis químico de la prueba 2.

ELEMENTOS	CANTIDAD EN PORCENTAJE
COBRE	56,003%
ZINC	40,626%
ESTAÑO	1,925%
SILICIO	1,091%
CALCIO	0,346%

Fuente: (NOVACERO).

Los resultados no fueron los esperados ya que el análisis químico demostró que existía 1,091% de silicio y 0,346% de calcio. Se presume que la aleación se contamina de silicio y calcio, ya que se utilizó un pedazo de manta cerámica como

tapa de la cual es posible que hayan caído pequeños pedazos y como también se utilizó una barra de acero inoxidable para agitar la colada, es posible que haya quedado partículas en la aleación.

El informe detallado del análisis químico se presenta detallado en el anexo B1.

4.1.2.2. Cálculo del porcentaje de zinc equivalente para la prueba 2.

Para el cálculo del zinc equivalente se utilizó los resultados del análisis químico.

Datos:

Cu= 56%

X= 1,93% (Porcentaje del elemento de adición)

k= 2 (Coeficiente de equivalencia en Zn para el estaño)

$$Zn_{equiv} = 100\% - Cu\% * \frac{100}{100 + X\% * (k - 1)}$$

$$Zn_{equiv} = 45,06 \%$$

4.1.2.3. Microestructura metalográfica prueba 2

Para observar la microestructura de la aleación CuZnSn se realizó el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Metalografía de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



Figura 4-11: Microscopio metalográfico, con proyección al monitor del computador FICM-UTA.

Fuente: (El Autor)



Figura 4-12: Probeta para el análisis metalográfico, prueba 2.

Fuente: (El Autor)

4.1.2.3.1. Microestructura metalográfica prueba 2 (sin templar).



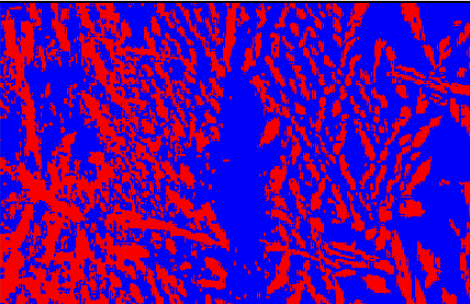
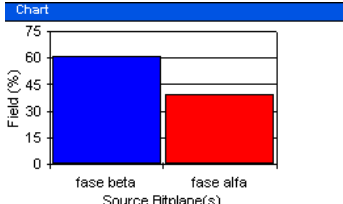
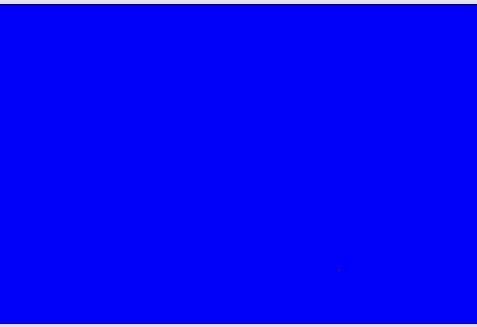
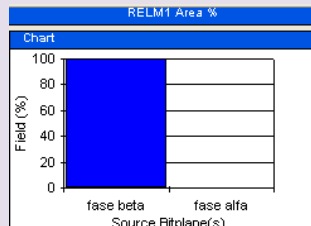
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	2.1
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	13/11/2013
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	18,5 °C	Radiación:	0,65 W/m ²
Velocidad del aire:	0,16 m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO:			
Acondicionamiento de la superficie:		Lijado, pulido mecánico	
Temperatura de pulido:	23 °C	Superficie óptima en:	90 min
Ataque químico:	Aleaciones de cobre	Durante:	5s.
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA (100X)			
			
<p><i>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 5s</i></p>			

4.1.2.3.2. Microestructura metalográfica prueba 2 (templada).

Aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	2.2
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	14/11/2013
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	17,5 °C	Radiación:	0,66 W/m ²
Velocidad del aire:	0,16 m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO:			
Acondicionamiento de la superficie:		Lijado, pulido mecánico	
Temperatura de pulido:	22,5 °C	Superficie óptima en:	90 min
Ataque químico:	Aleaciones de cobre	Durante:	3s.
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA (X)			
<i>Aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%</i>			
			
<i>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 3s</i>		<i>Aleación CuZnSn, 40x, aleaciones de cobre, 3s</i>	

4.1.2.4. Análisis de la microestructura metalográfica mediante un software, para la prueba 2.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 									
ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA METALOGRÁFICA MEDIANTE UN SOFTWARE									
DATOS INFORMATIVOS:									
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Realizado por:	Santiago Ilbay						
ANÁLISIS: A la microestructura de la prueba 2, sin templar.									
		 <table border="1" data-bbox="933 1030 1276 1097"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fase beta</td> <td>60,8</td> </tr> <tr> <td>fase alfa</td> <td>39,2</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	fase beta	60,8	fase alfa	39,2
S. Bitplane(s)	Field (%)								
fase beta	60,8								
fase alfa	39,2								
RESULTADO: Analizando la microestructura metalográfica de la prueba 2 sin templar se determinó la presencia de 39,2 % de fase alfa y 60,8 % de fase beta prima.									
ANÁLISIS: A la microestructura de la prueba 2, templada.									
		 <table border="1" data-bbox="949 1523 1260 1590"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fase beta</td> <td>100,0</td> </tr> <tr> <td>fase alfa</td> <td>325,5e-06</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	fase beta	100,0	fase alfa	325,5e-06
S. Bitplane(s)	Field (%)								
fase beta	100,0								
fase alfa	325,5e-06								
RESULTADO: Analizando la microestructura metalográfica de la prueba 2 templada se determinó la presencia de 100% beta.									

4.1.2.5. Dureza prueba 2.

La medición de dureza se realizó en el Laboratorio de Metalografía de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Para determinar la dureza se utilizó el durómetro, en el cual se midió con escala de dureza Rockwell B (HRB) con esfera de 1/16", carga de 980 N.



Figura 4-13: Durómetro FICM – UTA.



Fuente: (El Autor)



Figura 4-14: Probeta luego del análisis de dureza



Fuente: (El Autor)

4.1.2.5.1. Dureza prueba 2 (sin templar).

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE DUREZA			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	2.1
solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	20/11/2013
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	17 °C	Radiación:	1,65 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0,16 m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA:			
Método:		Rockwell B	
Tipo de penetrador		esfera de 1/16"	
Cantidad de carga aplicada:	980N	Tiempo del ensayo:	15min.
RESULTADO:			
N° de mediciones	Valores	Dureza promedio: 82,25 HRB	
1	81,5		
2	78,5		
3	83,5		
4	82,0		
5	84,5		
6	81,5		
7	82,0		
8	85,0		
9	80,0		
10	84,0		

4.1.2.5.2. Dureza prueba 2 (templada).

Aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE DUREZA					
DATOS INFORMATIVOS:					
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	2.2		
solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	21/11/2013		
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM			
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.		
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:					
Lugar:		Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA			
Temperatura ambiente:	18,5 °C	Radiación:	1,8 W/m ²		
Velocidad del aire circundante:	0,18m/s	Otros:			
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA:					
Método:		Rockwell B			
Tipo de penetrador		esfera de 1/16"			
Cantidad de carga aplicada:	980N	Tiempo del ensayo:	15min.		
RESULTADO:					
N° de mediciones	Valores	Dureza promedio: 83,75 HRB			
1	82				
2	85,5				
3	84				
4	87				
5	85,5				
6	87				
7	84				
8	80				
9	82,0				
10	80,5				

4.1.2.6. Ensayo de tracción prueba 2

El ensayo de tracción no se pudo realizar por no tener una cantidad suficiente de material para la elaboración de las probetas normalizadas, ya que existieron pérdidas por adhesión a las paredes del crisol.

4.1.2.7. Ensayo de impacto prueba 2.

El ensayo de impacto no se pudo realizar por no tener una cantidad suficiente de material para la elaboración de las probetas normalizadas.

4.1.2.8. Ensayo de la memoria de forma para la prueba 2.

Para el ensayo de la memoria de forma, con la ayuda de un torno se maquinó a una probeta templada de la prueba 2 con el objetivo de sacar virutas.

Criterio: A las virutas se las deforma en estado martensítico para luego aplicarlas calor, en el que las virutas deben recobrar su forma inicial antes de dicha deformación.

Realización de la prueba:

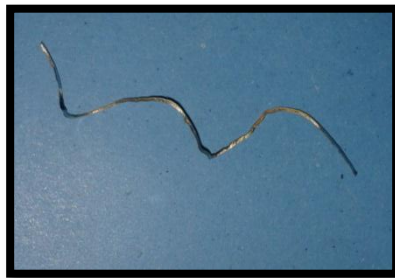


Figura 4-15: Viruta en su forma inicial

Fuente: (El Autor)



Figura 4-16: Viruta deformada-rota

Fuente: (El Autor)

Resultado: La viruta de prueba 2 al deformarla se rompió por lo que no cumple el criterio antes mencionado.

4.1.3. PRUEBA 3

La prueba 3 se realizó en el horno de inducción en el laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato; en esta prueba también se utilizó un CRISOL DE GRAFITO DIAMANT/BRASIL A-6(5.1/4”).

Para realizar la prueba tres en el horno de inducción se utilizó los parámetros que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 4-5: Parámetros utilizados en el horno de inducción durante la prueba 3.

PARÁMETRO	VALOR
Tipo de operación	Automático
Presión de agua	0.2 MPa
Caudal de agua	6 L/min
Tiempo de calentamiento	20 s
Tiempo de permanencia	20 s
Tiempo de enfriamiento	10 s
Amperaje	400 – 1150 A

Fuente: (El Autor).

Adicionalmente para este caso se consideró utilizar una tapa de grafito y para mecer la colada una barra de grafito como se puede observar en la siguiente figura.



Figura 4-17: Tapa de grafito colocado en la bobina.

Fuente: (El Autor)

En la siguiente tabla se muestra los porcentajes en gramos de cada elemento que se utilizó para realizar la prueba 3.

Tabla 4-6: Elementos para la aleación CuZnSn con su respectivo peso en gramos, prueba 3.

ELEMENTOS	CANTIDAD EN GRAMOS
COBRE	1920 g
ZINC	1470 g
ESTAÑO	60 g

Fuente: (El Autor)

Para esta prueba se añadió 15% más de zinc, es para compensar las pérdidas por evaporación y oxidación.



Figura 4-18: Probetas obtenidas al sacar del molde.

Fuente: (El Autor)

4.1.3.1. Análisis químico prueba 3

El resultado del análisis químico se puede observar en la tabla siguiente; el cual se realizó en la empresa NOVACERO, en el Laboratorio De Control De Calidad, en la máquina ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720, en el canal de ensayo ENERGY TEST.



Figura 4-19: Probeta para el análisis químico.

Fuente: (El Autor)

Tabla 4-7: Resultado del análisis químico de la prueba 3.

ELEMENTOS	CANTIDAD EN PORCENTAJE
Cu	52,989%
Zn	42,819%
Sn	3,859%
Otros	0,272%

Fuente: (NOVACERO)

El informe detallado del análisis químico se presenta detallado en el anexo B2

4.1.3.2. Cálculo del porcentaje de zinc equivalente para la prueba 3.

Para el cálculo del zinc equivalente se utilizó los resultados del análisis químico.

Datos:

Cu= 52,99%

X= 3,86% (Porcentaje del elemento de adición)

k= 2 (Coeficiente de equivalencia en Zn para el estaño)

$$Zn_{equiv} = 100\% - Cu\% * \frac{100}{100 + X\% * (k - 1)}$$

$$Zn_{equiv} = 48,979 \%$$

4.1.3.3. Microestructura metalográfica prueba 3

Para observar la microestructura de la aleación CuZnSn se realizó el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Metalografía de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



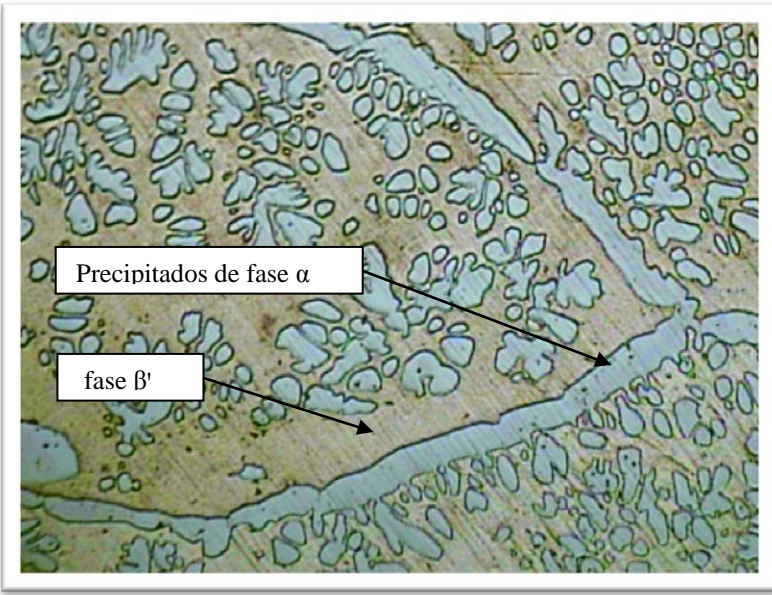
A continuación se muestra las probetas para el ensayo metalográfico.



Figura 4-20: Probetas para el ensayo metalográfico



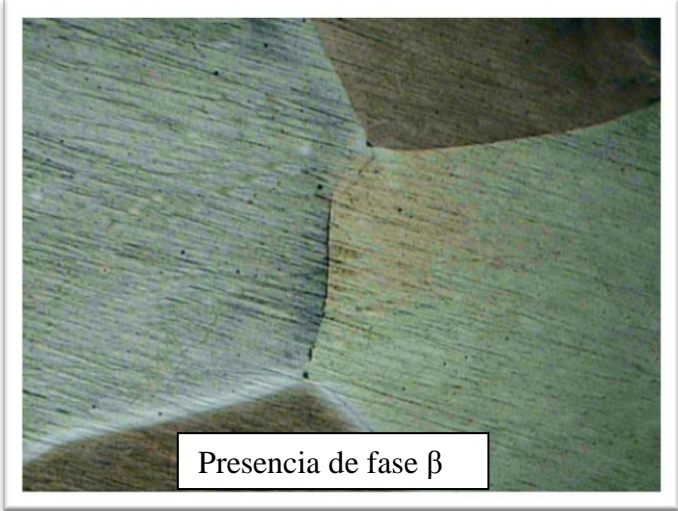
Fuente: (El Autor)

4.1.3.3.1. Microestructura metalográfica prueba 3 (sin templar)



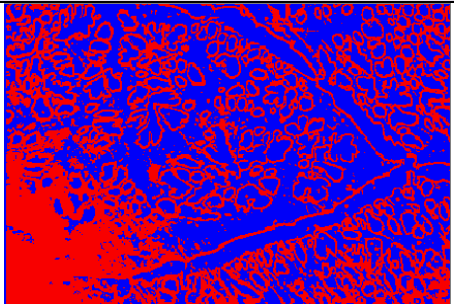
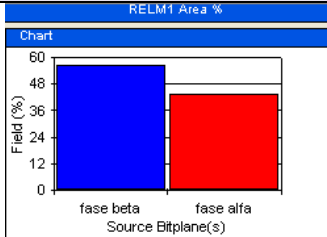

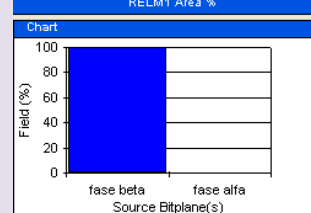
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRAFICO					
DATOS INFORMATIVOS:					
Tipo de estudio:		De campo y laboratorio		Muestra N°: 3.1	
Solicitado por:		Santiago Ilbay		Fecha: 15/01/2014	
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de materiales - FICM		
Realizado por:		Santiago Ilbay		Supervisado por: Ing. Espín S.	
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:					
Lugar:		Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA			
Temperatura ambiente:		18,0° C		Radiación: 0,7 W/m ²	
Velocidad del aire:		0,12 m/s		Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO:					
Acondicionamiento de la superficie:			Lijado, pulido mecánico		
Temperatura de pulido:		23 ° C		Superficie óptima en: 90 min	
Ataque químico:		Aleaciones de cobre		Durante: 3s.	
RESULTADO:					
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA (100X)					
					
<p><i>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 3s</i></p>					

4.1.3.3.2. Microestructura metalográfica prueba 3 (templada).

Aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	3.2
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	16/01/2014
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de materiales - FICM		
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	18,5° C	Radiación:	0,7 W/m ²
Velocidad del aire:	0,12 m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO:			
Acondicionamiento de la superficie:	Lijado, pulido mecánico		
Temperatura de pulido:	23 ° C	Superficie óptima en:	90 min
Ataque químico:	Aleaciones de cobre	Durante:	5s.
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA (100X)			
<i>Aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%</i>			
			
Presencia de fase β			
<i>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 5s</i>			

4.1.3.4. Análisis de la microestructura metalográfica mediante un software, para la prueba 3.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 									
ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA METALOGRÁFICA MEDIANTE UN SOFTWARE									
DATOS INFORMATIVOS:									
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Realizado por:	Santiago Ilbay						
ANÁLISIS: A la microestructura de la prueba 3, sin templar.									
		 <table border="1" data-bbox="941 1041 1268 1108"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fase beta</td> <td>56,3</td> </tr> <tr> <td>fase alfa</td> <td>43,7</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	fase beta	56,3	fase alfa	43,7
S. Bitplane(s)	Field (%)								
fase beta	56,3								
fase alfa	43,7								
RESULTADO: Analizando la microestructura metalográfica de la prueba 3 sin templar se determinó la presencia de 43,7 % de fase alfa y 56,3% de fase beta prima.									
ANÁLISIS: A la microestructura de la prueba 3, templada.									
		 <table border="1" data-bbox="949 1500 1260 1568"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fase beta</td> <td>100,0</td> </tr> <tr> <td>fase alfa</td> <td>325,5e-06</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	fase beta	100,0	fase alfa	325,5e-06
S. Bitplane(s)	Field (%)								
fase beta	100,0								
fase alfa	325,5e-06								
RESULTADO: Analizando la microestructura metalográfica de la prueba 3 templada se determinó la presencia de 100% de fase beta.									

4.1.3.5. Dureza prueba 3.

La medición de dureza se realizó en el Laboratorio de Metalografía de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



Para determinar la dureza se utilizó el durómetro, en el cual se aplicó la escala de dureza Rockwell B (HRC) con esfera de 1/16", carga de 980 N.

4.1.3.5.1. Dureza prueba 3 (sin templar).

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE DUREZA			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	3.1
solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	22/01/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	18,3 °C	Radiación:	1,22 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0,13m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA:			
Método:		Rockwell B	
Tipo de penetrador		esfera de 1/16"	
Cantidad de carga aplicada:	980N	Tiempo del ensayo:	15min.
RESULTADO:			
N° de mediciones	Valores	Dureza promedio: 75,43 HRB	
1	74,4		
2	78,5		
3	74,0		
4	74,5		
5	77,0		
6	77,5		
7	78,0		
8	73,0		
9	72,5		
10	74,9		

4.1.3.5.2. Dureza prueba 3 (templada).

Aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE DUREZA			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	3.2
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	23/01/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:		Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA	
Temperatura ambiente:	18,7 °C	Radiación:	1,12 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0,13m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA:			
Método:		Rockwell B	
Tipo de penetrador		esfera de 1/16"	
Cantidad de carga aplicada:	980N	Tiempo del ensayo:	15min.
RESULTADO:			
N° de mediciones	Valores	Dureza promedio: 87,45HRB	
1	84,0		
2	87,0		
3	90,5		
4	89,0		
5	89,5		
6	83,0		
7	89,5		
8	89,0		
9	86,0		
10	87,0		

4.1.3.6. Ensayo de tracción prueba 3

El ensayo de tracción no se pudo realizar, puesto que las probetas presentan poros y por lo tanto no se tendría un resultado exacto.

A continuación se muestra en las probetas mecanizadas para el ensayo de tracción.



Figura 4-21: Probeta para el ensayo de tracción.

Fuente: (El Autor)

4.1.3.7. Ensayo de impacto prueba 3

El ensayo de impacto no se pudo realizar porque la plancha base tenía demasiados poros para la elaboración de las probetas normalizadas.

4.1.3.8. Ensayo de la memoria de forma para la prueba 3.

Para el ensayo de la memoria de forma, con la ayuda de un torno se maquinó a una probeta templada de la prueba 3 con el objetivo de sacar virutas.

Criterio: A las virutas se las deforma en estado martensítico para luego aplicarlas calor, en el que las virutas deben recobrar su forma inicial antes de dicha deformación.

Realización de la prueba:



Figura 4-22: Viruta en su forma inicial

Fuente: (El Autor)



Figura 4-23: Viruta deformada

Fuente: (El Autor)

Resultado: La viruta de prueba 3 al deformarla se rompió por lo que no cumple el criterio antes mencionado.

4.1.4. PRUEBA 4

La prueba 4 se realizó en el horno de inducción en el laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato; en esta prueba también se utilizó un CRISOL DE GRAFITO DIAMANT/BRASIL A-6(5.1/4”), el cual se cubrió con una capa de manta cerámica no combustible, como se puede observar en la siguiente figura. para evitar fugas de calor.



Figura 4-24: Crisol cubierto con manta térmica no combustible.

Fuente: (El Autor)

Tabla 4-8: Parámetros utilizados en el horno de inducción durante la prueba 4.

PARÁMETRO	VALOR
Tipo de operación	Automático
Presión de agua	0.2 MPa
Caudal de agua	6 L/min
Tiempo de calentamiento	20 s
Tiempo de permanencia	20 s
Tiempo de enfriamiento	10 s
Amperaje	400 – 1250 A

Fuente: (El Autor).

También se utilizó una tapa de grafito para evitar salpicaduras y para mezclar la colada una barra de grafito.

En la siguiente tabla se muestra los porcentajes en gramos de cada elemento que se utilizó para realizar la prueba 4.

Tabla 4-9: Elementos de la aleación CuZnSn con su respectivo peso en gramos, prueba 4.

ELEMENTOS	CANTIDAD EN GRAMOS
COBRE	1869 g
ZINC	1341 g
ESTAÑO	90 g

Fuente: (El Autor).

Para esta prueba se añadió un 10% más de zinc, es para compensar las pérdidas por evaporación y oxidación.

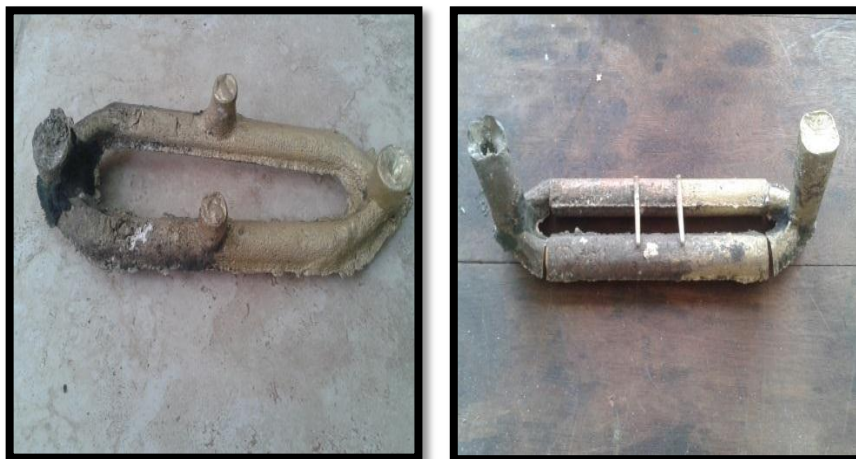


Figura 4-25: Probetas obtenidas al sacar del molde.

Fuente: (El Autor)

4.1.4.1. Análisis químico prueba 4

El resultado del análisis químico se puede observar en la siguiente tabla; el cual se realizó en la empresa NOVACERO, en el Laboratorio De Control De Calidad, en la máquina ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720, en el canal de ensayo ENERGY TEST.



Figura 4-26: Probeta para el análisis químico.

Fuente: (El Autor)

Tabla 4-10: Resultado del análisis químico de la prueba 4.

ELEMENTOS	CANTIDAD EN PORCENTAJE
Cu	58,879%
Zn	37,656%
Sn	3,246%
Otros	0,299%

Fuente: (NOVACERO)

El informe detallado del análisis químico se presenta detallado en el anexo B3

4.1.4.2. Cálculo del porcentaje de zinc equivalente para la prueba 4.

Para el cálculo del zinc equivalente se utilizó los resultados del análisis químico.

Datos:

Cu= 58,88%

X= 3,25% (Porcentaje del elemento de adición)

k= 2 (Coeficiente de equivalencia en Zn para el estaño)

$$Zn_{equiv} = 100\% - Cu\% * \frac{100}{100 + X\% * (k - 1)}$$

$$Zn_{equiv} = 42,97 \%$$

4.1.4.3. Microestructura metalográfica prueba 4

Para observar la microestructura de la aleación CuZnSn se realizó el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Metalografía de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



Figura 4-27: Probeta para el análisis metalográfico, prueba 4.

Fuente: (El Autor)



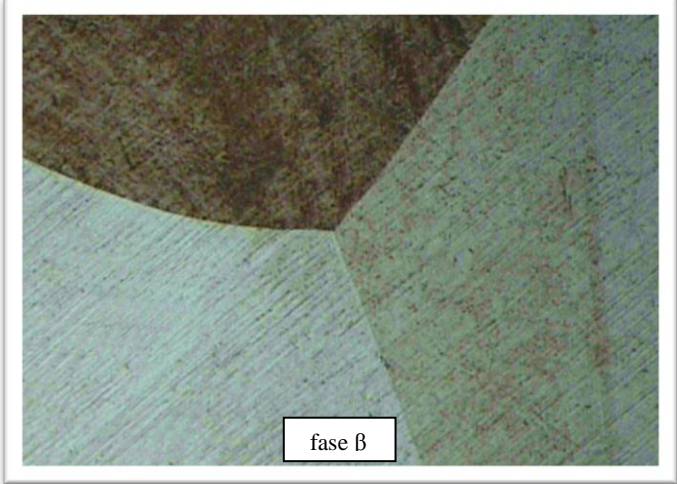
Los resultados son los siguientes:

4.1.4.3.1. Microestructura metalográfica prueba 4 (sin templar)



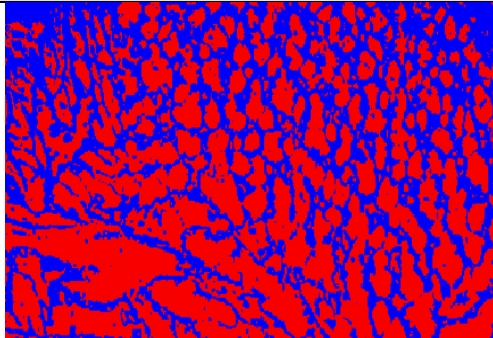
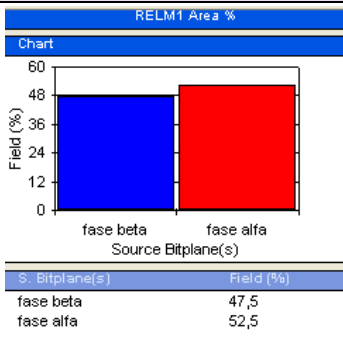
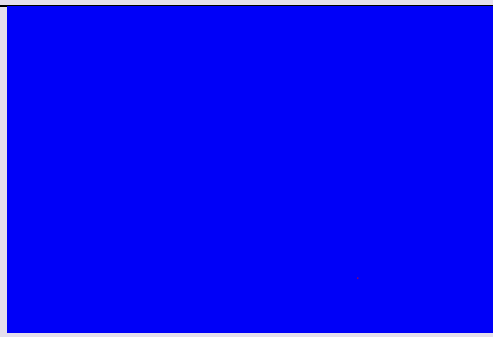
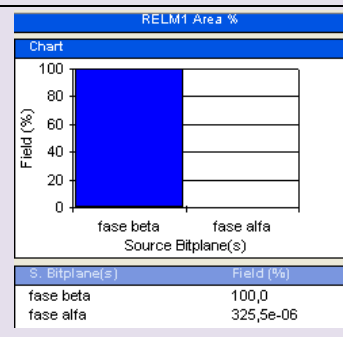
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRAFICO					
DATOS INFORMATIVOS:					
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	4.1		
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	12/02/2014		
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de materiales - FICM		
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.		
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:					
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA				
Temperatura ambiente:	18,8° C	Radiación:	0,8 W/m ²		
Velocidad del aire:	0,13 m/s	Otros:			
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO:					
Acondicionamiento de la superficie:			Lijado, pulido mecánico		
Temperatura de pulido:	23,5 ° C	Superficie óptima en:	120 min		
Ataque químico:	Aleaciones de cobre	Durante:	10s.		
RESULTADO:					
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA (100X)					
					
<i>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 10s</i>					

4.1.4.3.2. Microestructura metalográfica prueba 4 (templada).

Aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	4.2
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	13/02/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	18,8° C	Radiación:	0,8 W/m ²
Velocidad del aire:	0,13 m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO:			
Acondicionamiento de la superficie:		Lijado, pulido mecánico	
Temperatura de pulido:	23,5 ° C	Superficie óptima en:	150 min
Ataque químico:	Aleaciones de cobre	Durante:	6s.
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA (100X)			
<i>Aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%</i>			
			
<i>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 6s</i>			

4.1.4.4. Análisis de la microestructura metalográfica mediante un software, para la prueba 4.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 									
ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA METALOGRÁFICA MEDIANTE UN SOFTWARE									
DATOS INFORMATIVOS:									
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Realizado por:	Santiago Ilbay						
ANÁLISIS: A la microestructura de la prueba 4, sin templar.									
		 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fase beta</td> <td>47,5</td> </tr> <tr> <td>fase alfa</td> <td>52,5</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	fase beta	47,5	fase alfa	52,5
S. Bitplane(s)	Field (%)								
fase beta	47,5								
fase alfa	52,5								
RESULTADO: Analizando la microestructura metalográfica de la prueba 4 sin templar se determinó la presencia de 52,5 % de fase alfa y 47,5% de fase beta prima.									
ANÁLISIS: A la microestructura de la prueba 4, templada.									
		 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fase beta</td> <td>100,0</td> </tr> <tr> <td>fase alfa</td> <td>325,5e-06</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	fase beta	100,0	fase alfa	325,5e-06
S. Bitplane(s)	Field (%)								
fase beta	100,0								
fase alfa	325,5e-06								
RESULTADO: Analizando la microestructura metalográfica de la prueba 4 templada se determinó la presencia de 100% de fase beta.									

4.1.4.5. Dureza prueba 4.

La medición de dureza se realizó en el Laboratorio de Metalografía de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



Para determinar la dureza se utilizó el durómetro, en el cual se aplicó la escala de dureza Rockwell B (HRB) con esfera de 1/16", carga de 980 N.



Figura 4-28: Ensayo de dureza, prueba 4.



Fuente: (El Autor)

4.1.4.5.1. Dureza prueba 4 (sin templar).

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE DUREZA			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	4.1
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	19/02/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	18,8 °C	Radiación:	0,8 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0,13m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA:			
Método:		Rockwell B	
Tipo de penetrador		esfera de 1/16"	
Cantidad de carga aplicada:	980N	Tiempo del ensayo:	15min.
RESULTADO:			
N° de mediciones	Valores	Dureza promedio: 79,8 HRB	
1	81,5		
2	79,0		
3	80,5		
4	78,0		
5	81,5		
6	81,5		
7	78,0		
8	78,5		
9	80,5		
10	79,0		

4.1.4.5.2. Dureza prueba 4 (templada).

Aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE DUREZA			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	4.2
solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	20/02/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:		Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA	
Temperatura ambiente:	19 ° C	Radiación:	0,7 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0,12m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA:			
Método:		Rockwell B	
Tipo de penetrador		esfera de 1/16"	
Cantidad de carga aplicada:	980N	Tiempo del ensayo:	15min.
RESULTADO:			
N° de mediciones	Valores	Dureza promedio: 89,15 HRB	
1	91,0		
2	90,0		
3	90,5		
4	91,5		
5	89,5		
6	89,0		
7	87,5		
8	88,5		
9	86,0		
10	88,0		

4.1.4.6. Ensayo de tracción prueba 4

A continuación se muestra en la figura 4.29 las probetas mecanizadas y templadas para el ensayo de tracción.



Figura 4-29: Probetas templadas para el ensayo de tracción.

Fuente: (El Autor)

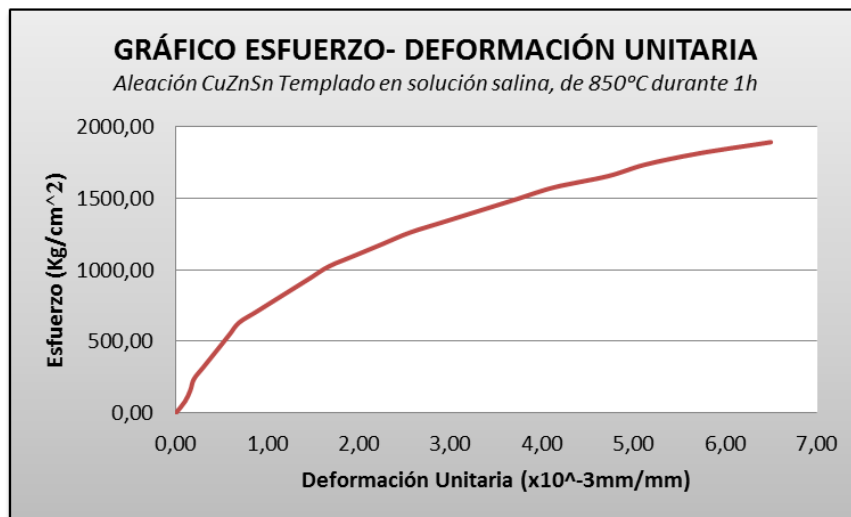


ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Probeta N°:	4-01
Tratamiento térmico realizado a la probeta:	Temple		
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	14/03/2014
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de ensayo de materiales- UTA		
Realizado por:	Santiago Ilbay y ayudante del laboratorio		
Método aplicado:	Deformación controlada		
Instrumento:	Máquina universal Tinius Olsen capacidad 30 toneladas		
Diámetro de la probeta:	1/2"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:



Carga máxima:	2501,9 kg	Carga de ruptura:	2501,9 kg
Cálculo del porcentaje de alargamiento			
$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{51,38 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}} * 100 \rightarrow \varepsilon = 1,1417 \%$			
Cálculo del porcentaje de reducción de área			
$\% \text{reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = \frac{126,677 - 124,68}{126,677} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = 1,576\%$			
Cálculo de la resistencia última a la tracción			
$Sut = \frac{P_{max}}{A_o} \rightarrow Sut = \frac{2501,9 \text{ kg}}{126,677 \text{ mm}^2} \rightarrow Sut = 19,75 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$			

Observaciones: El tipo de ruptura es irregular

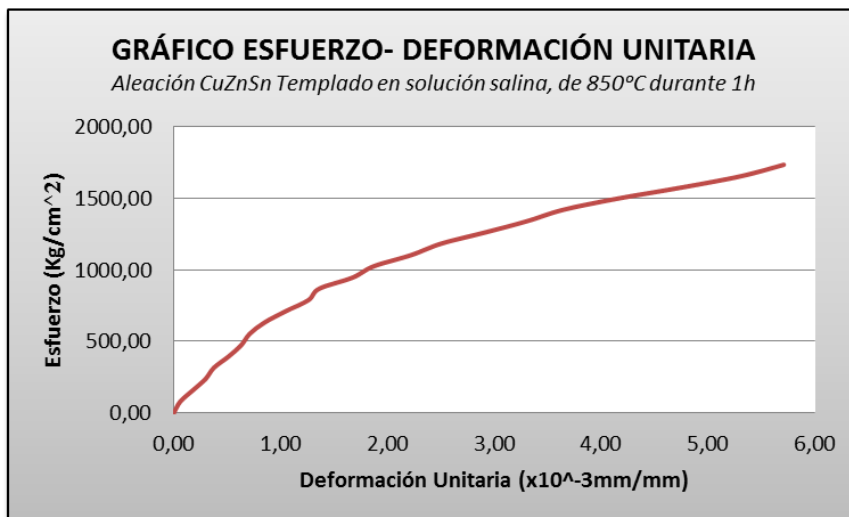


ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Probeta N°:	4-02
Tratamiento térmico realizado a la probeta:	Temple		
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	14/03/2014
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de ensayo de materiales- UTA		
Realizado por:	Santiago Ilbay y ayudante del laboratorio		
Método aplicado:	Deformación controlada		
Instrumento:	Máquina universal Tinius Olsen capacidad 30 toneladas		
Diámetro de la probeta:	1/2"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:



Carga máxima:	2289,3 kg	Carga de ruptura:	2289,3 kg
Cálculo del porcentaje de alargamiento			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \quad \rightarrow \quad \epsilon = \frac{51,4 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}} * 100 \quad \rightarrow \quad \epsilon = 1,1811\%$			
Cálculo del porcentaje de reducción de área			
$\% \text{reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = \frac{126,677 - 124,68}{126,677} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = 1,576\%$			
Cálculo de la resistencia última a la tracción			
$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = \frac{2289,3 \text{ kg}}{126,677 \text{ mm}^2} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = 18,07 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$			

Observaciones: El tipo de ruptura es irregular

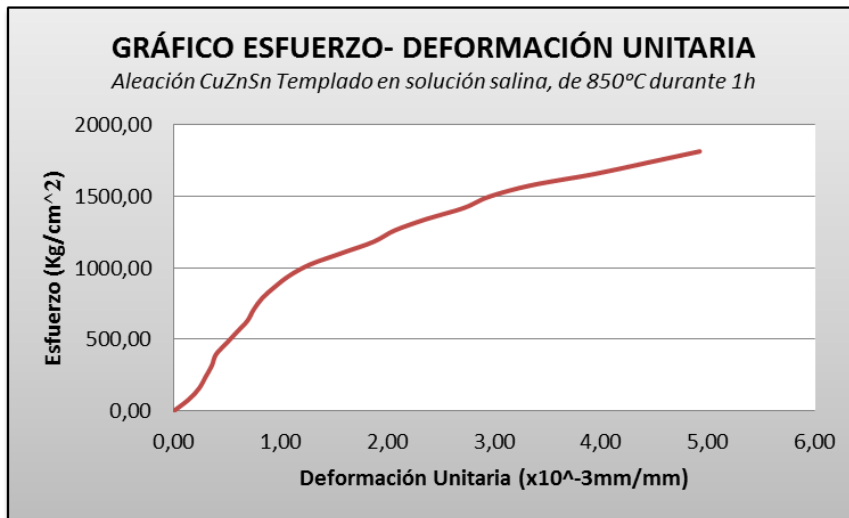


ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Probeta N°:	4-03
Tratamiento térmico realizado a la probeta:	Temple		
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	14/03/2014
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de ensayo de materiales- UTA		
Realizado por:	Santiago Ilbay y ayudante del laboratorio		
Método aplicado:	Deformación controlada		
Instrumento:	Máquina universal Tinius Olsen capacidad 30 toneladas		
Diámetro de la probeta:	1/2"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:



Carga máxima:	2377,4 kg	Carga de ruptura:	2377,4 kg
----------------------	-----------	--------------------------	-----------

Cálculo del porcentaje de alargamiento

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{51,3 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 0,9843\%$$

Cálculo del porcentaje de reducción de área

$$\% \text{reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = \frac{126,677 - 125,08}{126,677} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = 1,261\%$$

Cálculo de la resistencia última a la tracción

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = \frac{2377,4 \text{ kg}}{126,677 \text{ mm}^2} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = 18,77 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Observaciones: El tipo de ruptura es irregular

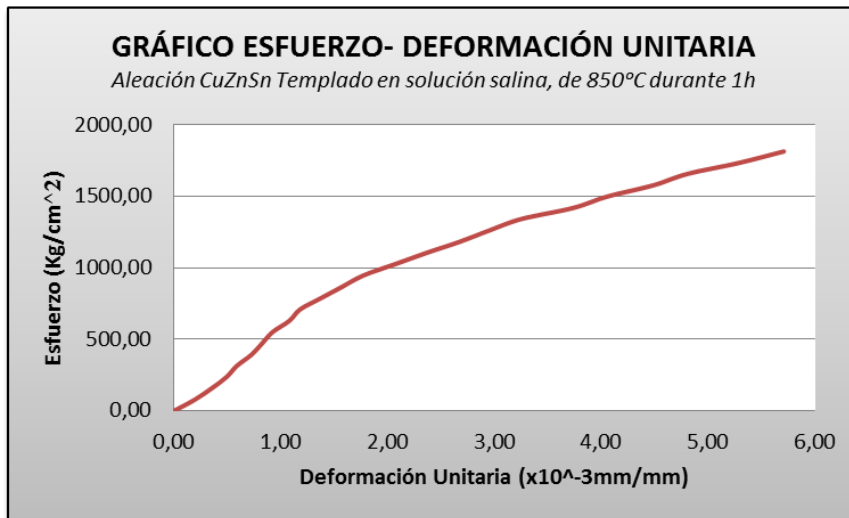


ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Probeta N°:	4-04
Tratamiento térmico realizado a la probeta:	Temple		
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	14/03/2014
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de ensayo de materiales- UTA		
Realizado por:	Santiago Ilbay y ayudante del laboratorio		
Método aplicado:	Deformación controlada		
Instrumento:	Máquina universal Tinius Olsen capacidad 30 toneladas		
Diámetro de la probeta:	1/2"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:



Carga máxima:	1874,7 kg	Carga de ruptura:	1874,7 kg
----------------------	-----------	--------------------------	-----------

Cálculo del porcentaje de alargamiento

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{51,2 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 0,7874\%$$

Cálculo del porcentaje de reducción de área

$$\% \text{reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = \frac{126,677 - 125,88}{126,677} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = 0,629\%$$

Cálculo de la resistencia última a la tracción

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = \frac{1874,7 \text{ kg}}{126,677 \text{ mm}^2} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = 14,80 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Observaciones: El tipo de ruptura es irregular

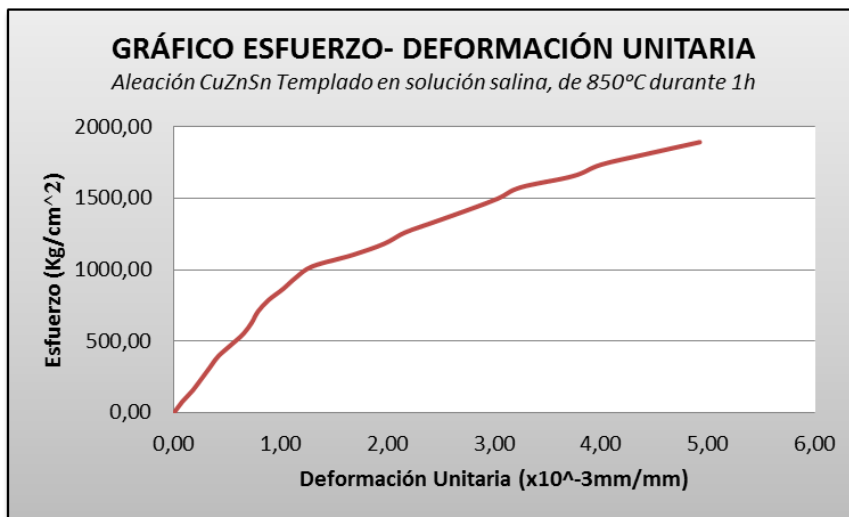


ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Probeta N°:	4-05
Tratamiento térmico realizado a la probeta:	Temple		
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	14/03/2014
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de ensayo de materiales- UTA		
Realizado por:	Santiago Ilbay y ayudante del laboratorio		
Método aplicado:	Deformación controlada		
Instrumento:	Máquina universal Tinius Olsen capacidad 30 toneladas		
Diámetro de la probeta:	1/2"	Longitud de calibración	2"



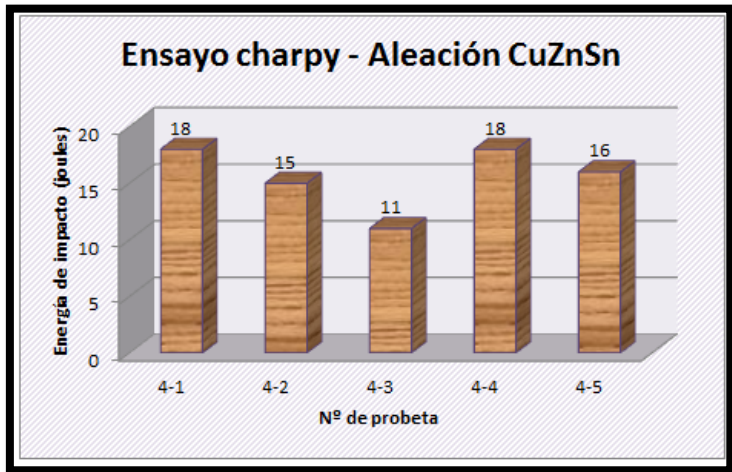
RESULTADOS:



Carga máxima:	2205,8 kg	Carga de ruptura:	2205,8 kg
Cálculo del porcentaje de alargamiento			
$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{51,18 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}} * 100 \rightarrow \varepsilon = 0,7480\%$			
Cálculo del porcentaje de reducción de área			
$\% \text{reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = \frac{126,677 - 125,88}{126,677} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = 0,629\%$			
Cálculo de la resistencia última a la tracción			
$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \rightarrow S_{ut} = \frac{200 \text{ kg}}{126,677 \text{ mm}^2} \rightarrow S_{ut} = 17,41 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$			

Observaciones: El tipo de ruptura es irregular

4.1.4.7. Ensayo de impacto prueba 4

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE IMPACTO			
DATOS INFORMATIVOS:			
<i>Tipo de estudio:</i>	<i>De laboratorio</i>	<i>Probeta N°:</i>	<i>4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-5</i>
<i>Tratamiento térmico:</i>	<i>Temple</i>	<i>Temperatura del TT:</i>	<i>850°C</i>
<i>Norma aplicada:</i>	<i>ASTM E 23</i>	<i>Fecha:</i>	<i>25/02/2014</i>
<i>Centro de Estudio y Análisis:</i>		<i>Laboratorio de materiales-UTA</i>	
<i>Realizado por:</i>	<i>Santiago Ilbay</i>		
<i>Método:</i>	<i>Ensayo Charpy</i>		
<i>Temperatura:</i>	<i>19°C</i>	<i>Tiempo del ensayo:</i>	<i>20min</i>
RESULTADOS:			
 <p style="text-align: center;"><i>Ensayo charpy de la aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%</i></p>			
N°	N° de probeta	Energía de impacto (joule)	Interpretación de resultados: Se ha ensayado con cinco probetas del cual el promedio de la energía de impacto es de 15,6 Joule
1	4-1	18	
2	4-2	15	
3	4-3	11	
4	4-4	18	
5	4-5	16	

4.1.4.8. Ensayo de la memoria de forma para la prueba 4.

Para el ensayo de la memoria de forma, con la ayuda de un torno se maquinó a una probeta templada de la prueba 4 con el objetivo de sacar virutas.

Criterio: A las virutas se las deforma en estado martensítico para luego aplicarlas calor, en el que las virutas deben recobrar su forma inicial antes de dicha deformación.

Realización de la prueba:



Figura 4-30: Viruta en su forma inicial

Fuente: (El Autor)



Figura 4-31: Viruta deformada

Fuente: (El Autor)



Figura 4-32: Viruta luego de aplicar calor

Fuente: (El Autor)

Resultado: La viruta de prueba 4 se deformó y sufrió un desgarre y al aplicar calor no recupero su forma inicial.

4.1.5. PRUEBA 5

La prueba 5 se realizó en el horno de inducción en el laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato; en esta prueba también se utilizó un CRISOL DE GRAFITO DIAMANT/BRASIL A-6(5.1/4”). De igual en esta prueba se cubrió el crisol con una capa de manta cerámica no combustible.

Tabla 4-11: Parámetros utilizados en el horno de inducción en la prueba 5.

PARÁMETRO	VALOR
Tipo de operación	Automático
Presión de agua	0.2 MPa
Caudal de agua	6 L/min
Tiempo de calentamiento	20 s
Tiempo de permanencia	20 s
Tiempo de enfriamiento	10 s
Amperaje	400 – 1250 A

Fuente: (El Autor).

También se utilizó una tapa de grafito para evitar salpicaduras y para mecer la colada una barra de grafito.

En la siguiente tabla se muestra los porcentajes en gramos de cada elemento que se utilizó para realizar la prueba 5.

Tabla 4-12: Elementos de la aleación CuZnSn con su respectivo peso en gramos, prueba 5.

ELEMENTOS	CANTIDAD EN GRAMOS
COBRE	1869 g
ZINC	1200 g
ESTAÑO	90 g

Fuente: (El Autor).

Para esta prueba se añadió solo un 5,3% más de zinc, es para compensar las pérdidas por evaporación y oxidación.



Figura 4-33: Probetas obtenidas al sacar del molde.

Fuente: (El Autor)

4.1.5.1. Análisis químico prueba 5

El resultado del análisis químico se puede observar en la tabla 4-13; el cual se realizó en la empresa NOVACERO, en el Laboratorio De Control De Calidad, en la máquina ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720, en el canal de ensayo ENERGY TEST.



Figura 4-34: Probeta para el análisis químico.

Fuente: (El Autor)

Tabla 4-13: Resultado del análisis químico de la prueba 5.

ELEMENTOS	CANTIDAD EN PORCENTAJE
Cu	63,707%
Zn	31,993%
Sn	3,985%
Otros	0,314%

Fuente: (NOVACERO).

El informe detallado del análisis químico se presenta detallado en el anexo B4.

4.1.5.2. Cálculo del porcentaje de zinc equivalente para la prueba 5.

Para el cálculo del zinc equivalente se utilizó los resultados del análisis químico.

Datos:

Cu= 63,71 %

X= 3,99 % (Porcentaje del elemento de adición)

k= 2 (Coeficiente de equivalencia en Zn para el estaño)

$$Zn_{equiv} = 100\% - Cu\% * \frac{100}{100 + X\% * (k - 1)}$$



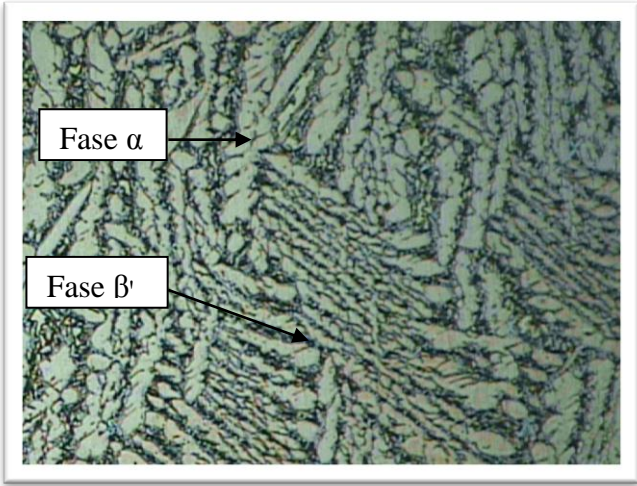
$$Zn_{equiv} = 38,73\%$$

4.1.5.3. Microestructura metalográfica prueba 5

Para observar la microestructura de la aleación CuZnSn se realizó el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Metalografía de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Los resultados son los siguientes:

4.1.5.3.1. Microestructura metalográfica prueba 5 (sin templar)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRAFICO					
DATOS INFORMATIVOS:					
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	5.1		
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	28/04/2014		
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de materiales - FICM		
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.		
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:					
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA				
Temperatura ambiente:	19° C	Radiación:	0,8 W/m ²		
Velocidad del aire:	0,13 m/s	Otros:			
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO:					
Acondicionamiento de la superficie:			Lijado, pulido mecánico		
Temperatura de pulido:	24 ° C	Superficie óptima en:	120 min		
Ataque químico:	Aleaciones de cobre	Durante:	10s.		
RESULTADO:					
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA (100X)					
					
<i>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 10s</i>					

4.1.5.3.2. Microestructura metalográfica prueba 5 (templada).

Aleación CuZnSn – templada a 900°C en solución salina al 10%

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	5.2
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	29/04/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	19° C	Radiación:	0,8 W/m ²
Velocidad del aire:	0,12 m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO:			
Acondicionamiento de la superficie:		Lijado, pulido mecánico	
Temperatura de pulido:	24 ° C	Superficie óptima en:	150 min
Ataque químico:	Aleaciones de cobre	Durante:	6s.
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA (100X)			
<p><i>Aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%</i></p>  <p><i>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 6s</i></p>			

4.1.5.3.3. Microestructura metalográfica prueba 5 (templada).

Aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%



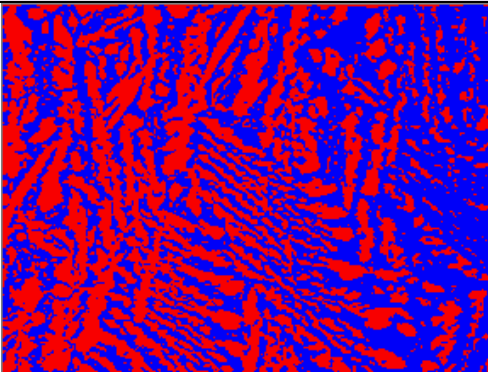
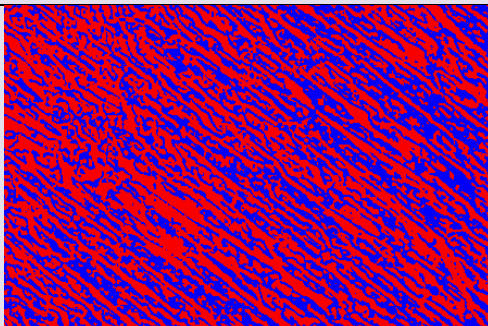
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	5.3
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	29/04/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	18° C	Radiación:	0,6 W/m ²
Velocidad del aire:	0,12 m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO:			
Acondicionamiento de la superficie:		Lijado, pulido mecánico	
Temperatura de pulido:	24 ° C	Superficie óptima en:	150 min
Ataque químico:	Aleaciones de cobre	Durante:	6s.
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA (100X)			
<i>Aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%</i>			
			
<i>Aleación CuZnSn,100x, aleaciones de cobre,6s</i>			

4.1.5.3.4. Microestructura metalográfica prueba 5 (templada).

Aleación CuZnSn – templada a 750°C en solución salina al 10%

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	5.4
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	29/04/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	18° C	Radiación:	0,9 W/m ²
Velocidad del aire:	0,12 m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO:			
Acondicionamiento de la superficie:		Lijado, pulido mecánico	
Temperatura de pulido:	24 ° C	Superficie óptima en:	150 min
Ataque químico:	Aleaciones de cobre	Durante:	6s.
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA (100X)			
<p><i>Aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%</i></p>  <p><i>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 6s</i></p>			

4.1.5.4. Análisis de la microestructura metalográfica mediante un software, para la prueba 5.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA									
ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA METALOGRÁFICA MEDIANTE UN SOFTWARE											
DATOS INFORMATIVOS:											
Tipo de estudio:		De campo y laboratorio	Realizado por:		Santiago Ilbay						
ANÁLISIS: A la microestructura de la prueba 5, sin templar.											
			<div style="text-align: center;"> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fase beta</td> <td>52,8</td> </tr> <tr> <td>fase alfa</td> <td>47,2</td> </tr> </tbody> </table> </div>			S. Bitplane(s)	Field (%)	fase beta	52,8	fase alfa	47,2
S. Bitplane(s)	Field (%)										
fase beta	52,8										
fase alfa	47,2										
RESULTADO: Analizando la microestructura metalográfica de la prueba 5 sin templar se determinó la presencia de 47,2 % de fase alfa y 52,8 % de fase beta prima.											
ANÁLISIS: A la microestructura de la prueba 5, templada.(desde 850°C a -2°C)											
			<div style="text-align: center;"> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fase beta</td> <td>49,7</td> </tr> <tr> <td>fase alfa</td> <td>50,3</td> </tr> </tbody> </table> </div>			S. Bitplane(s)	Field (%)	fase beta	49,7	fase alfa	50,3
S. Bitplane(s)	Field (%)										
fase beta	49,7										
fase alfa	50,3										
RESULTADO: Analizando la microestructura metalográfica de la prueba 5 templada se determinó la presencia de 50,3% de fase alfa y 49,7 % de fase beta.											

4.1.5.5. Dureza prueba 5.



La medición de dureza se realizó en el Laboratorio de Metalografía de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. Para determinar la dureza se utilizó el durómetro, en el cual se aplicó la escala de dureza Rockwell B (HRB) con esfera de 1/16", carga de 980 N.

4.1.5.5.1. Dureza prueba 5 (sin templar).

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE DUREZA			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	5.1
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	07/05/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	17 ° C	Radiación:	0,4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0,1m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA:			
Método:		Rockwell B	
Tipo de penetrador		esfera de 1/16"	
Cantidad de carga aplicada:	980N	Tiempo del ensayo:	15min.
RESULTADO:			
N° de mediciones	Valores	Dureza promedio: 80,65 HRB	
1	76,0		
2	80,0		
3	83,5		
4	81,5		
5	83,0		
6	78,0		
7	82,5		
8	79,0		
9	81,0		
10	82,0		



4.1.5.5.2. Dureza prueba 5 (templada).

Aleación CuZnSn – templada a 900°C en solución salina al 10%

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE DUREZA			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	5.2
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	08/05/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	17 ° C	Radiación:	0,7 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0,12m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA:			
Método:		Rockwell B	
Tipo de penetrador		esfera de 1/16"	
Cantidad de carga aplicada:	980N	Tiempo del ensayo:	15min.
RESULTADO:			
N° de mediciones	Valores	Dureza promedio: 90,60 HRB	
1	89,0		
2	90,0		
3	90,0		
4	91,0		
5	91,5		
6	91,0		
7	90,0		
8	90,5		
9	92,0		
10	91,0		



4.1.5.5.3. Dureza prueba 5 (templada).

Aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE DUREZA			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Ensayo N°:	5.3
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	08/05/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	17 ° C	Radiación:	0,7 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0,12m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA:			
Método:	Rockwell B		
Tipo de penetrador	esfera de 1/16"		
Cantidad de carga aplicada:	980N	Tiempo del ensayo:	15min.
RESULTADO:			
N° de mediciones	Valores	Dureza promedio: 89,05 HRB	
1	86,5		
2	88		
3	90		
4	87		
5	92		
6	90		
7	88		
8	90,5		
9	86,5		
10	92		

4.1.5.5.4. Dureza prueba 5 (templada).

Aleación CuZnSn – templada a 750°C en solución salina al 10%

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE DUREZA			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Ensayo N°:	5.4
solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	08/05/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	17 ° C	Radiación:	0,7 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0,12m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA:			
Método:		Rockwell B	
Tipo de penetrador		esfera de 1/16"	
Cantidad de carga aplicada:	980N	Tiempo del ensayo:	15min.
RESULTADO:			
N° de mediciones	Valores	Dureza promedio: 81,9 HRB	
1	85,0		
2	82,5		
3	83,5		
4	80,0		
5	81,5		
6	82,0		
7	79,0		
8	82,0		
9	83,0		
10	80,5		

4.1.5.6. Ensayo de tracción prueba 5

A continuación se muestra en la figura 4-35 las probetas mecanizadas y templadas para el ensayo de tracción.



Figura 4-35: Probetas templadas para el ensayo de tracción.

Fuente: (El Autor)

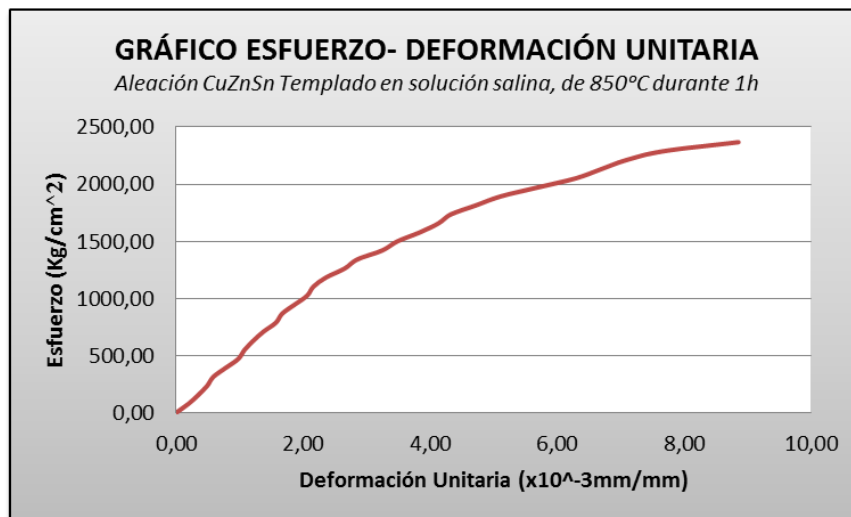


ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

<i>Tipo de estudio:</i>	<i>De laboratorio</i>	<i>Probeta N°:</i>	<i>5-1</i>
<i>Tratamiento térmico realizado a la probeta:</i>		<i>Temple</i>	
<i>Solicitado por:</i>	<i>Santiago Ilbay</i>	<i>Fecha:</i>	<i>16/05/2014</i>
<i>Centro de Estudio y Análisis:</i>		<i>Laboratorio de ensayo de materiales- UTA</i>	
<i>Realizado por:</i>	<i>Santiago Ilbay y ayudante del laboratorio</i>		
<i>Método aplicado:</i>	<i>Deformación controlada</i>		
<i>Instrumento:</i>	<i>Máquina universal Tinius Olsen capacidad 30 toneladas</i>		
<i>Diámetro de la probeta:</i>	<i>1/2"</i>	<i>Longitud de calibración</i>	<i>2"</i>

RESULTADOS:



<i>Carga máxima:</i>	<i>3017,2Kg</i>	<i>Carga de ruptura:</i>	<i>3017,2Kg</i>
<i>Cálculo del porcentaje de alargamiento</i>			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \rightarrow \epsilon = \frac{52,4 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}} * 100 \rightarrow \epsilon = 3,14\%$			
<i>Cálculo del porcentaje de reducción de área</i>			
$\%reducción = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \rightarrow \%reducción = \frac{126,677 - 123,51}{126,677} * 100 \rightarrow \%reducción = 2,5\%$			
<i>Cálculo de la resistencia última a la tracción</i>			
$Sut = \frac{P_{max}}{A_o} \rightarrow Sut = \frac{3017,2 \text{ Kg}}{126,677 \text{ mm}^2} \rightarrow Sut = 23,82 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$			

Observaciones: *El tipo de falla es irregular*

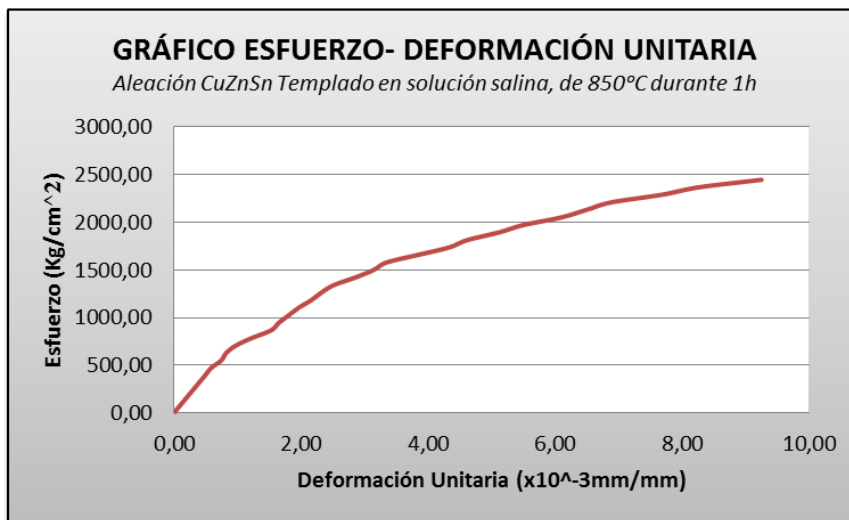


ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Probeta N°:	5-2
Tratamiento térmico realizado a la probeta:	Temple		
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	16/05/2014
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de ensayo de materiales- UTA		
Realizado por:	Santiago Ilbay y ayudante del laboratorio		
Método aplicado:	Deformación controlada		
Instrumento:	Máquina universal Tinius Olsen capacidad 30 toneladas		
Diámetro de la probeta:	1/2"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:



Carga máxima:	3172,2 Kg	Carga de ruptura:	3172,2 Kg
---------------	-----------	-------------------	-----------

Cálculo del porcentaje de alargamiento

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{52,35 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}} * 100 \rightarrow \varepsilon = 5,05\%$$

Cálculo del porcentaje de reducción de área

$$\% \text{reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = \frac{126,677 - 125,09}{126,677} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = 1,25\%$$

Cálculo de la resistencia última a la tracción

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \rightarrow S_{ut} = \frac{3172,2 \text{ Kg}}{126,677 \text{ mm}^2} \rightarrow S_{ut} = 25,04 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Observaciones: El tipo de falla es irregular

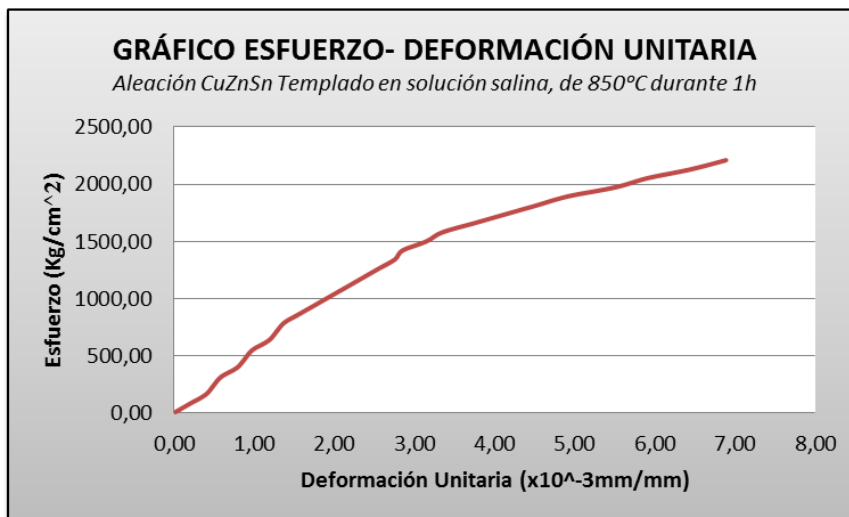


ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Probeta N°:	5-3
Tratamiento térmico realizado a la probeta:	Temple		
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	16/05/2014
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de ensayo de materiales- UTA		
Realizado por:	Santiago Ilbay y ayudante del laboratorio		
Método aplicado:	Deformación controlada		
Instrumento:	Máquina universal Tinius Olsen capacidad 30 toneladas		
Diámetro de la probeta:	1/2"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:



Carga máxima:	2835,8 kg	Carga de ruptura:	2835,8 kg
Cálculo del porcentaje de alargamiento			
$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{52,25 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}} * 100 \rightarrow \varepsilon = 2,85\%$			
Cálculo del porcentaje de reducción de área			
$\% \text{reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = \frac{126,677 - 124,29}{126,677} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = 1,88\%$			
Cálculo de la resistencia última a la tracción			
$Sut = \frac{P_{max}}{A_o} \rightarrow Sut = \frac{2835,8 \text{ kg}}{126,677 \text{ mm}^2} \rightarrow Sut = 22,39 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$			

Observaciones: El tipo de falla es irregular

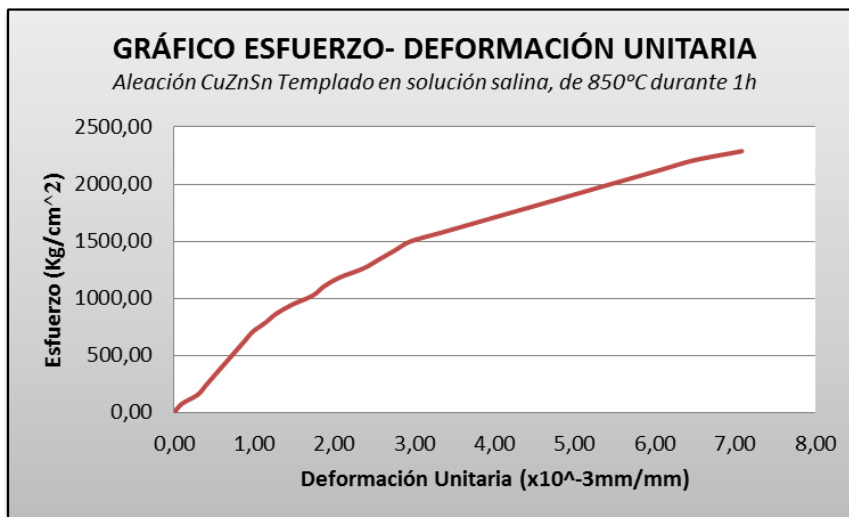


ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

<i>Tipo de estudio:</i>	<i>De laboratorio</i>	<i>Probeta N°:</i>	<i>5-4</i>
<i>Tratamiento térmico realizado a la probeta:</i>		<i>Temple</i>	
<i>Solicitado por:</i>	<i>Santiago Ilbay</i>	<i>Fecha:</i>	<i>16/05/2014</i>
<i>Centro de Estudio y Análisis:</i>		<i>Laboratorio de ensayo de materiales- UTA</i>	
<i>Realizado por:</i>	<i>Santiago Ilbay y ayudante del laboratorio</i>		
<i>Método aplicado:</i>	<i>Deformación controlada</i>		
<i>Instrumento:</i>	<i>Máquina universal Tinius Olsen capacidad 30 toneladas</i>		
<i>Diámetro de la probeta:</i>	<i>1/2"</i>	<i>Longitud de calibración</i>	<i>2"</i>

RESULTADOS:



<i>Carga máxima:</i>	<i>3072,5 kg</i>	<i>Carga de ruptura:</i>	<i>3072,5 kg</i>
<i>Cálculo del porcentaje de alargamiento</i>			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \rightarrow \epsilon = \frac{52,2 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}} * 100 \rightarrow \epsilon = 2,16\%$			
<i>Cálculo del porcentaje de reducción de área</i>			
$\% \text{reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = \frac{126,677 - 124,29}{126,677} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = 1,88\%$			
<i>Cálculo de la resistencia última a la tracción</i>			
$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \rightarrow S_{ut} = \frac{3072,5 \text{ kg}}{126,677 \text{ mm}^2} \rightarrow S_{ut} = 24,25 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$			

Observaciones: *El tipo de falla es irregular*

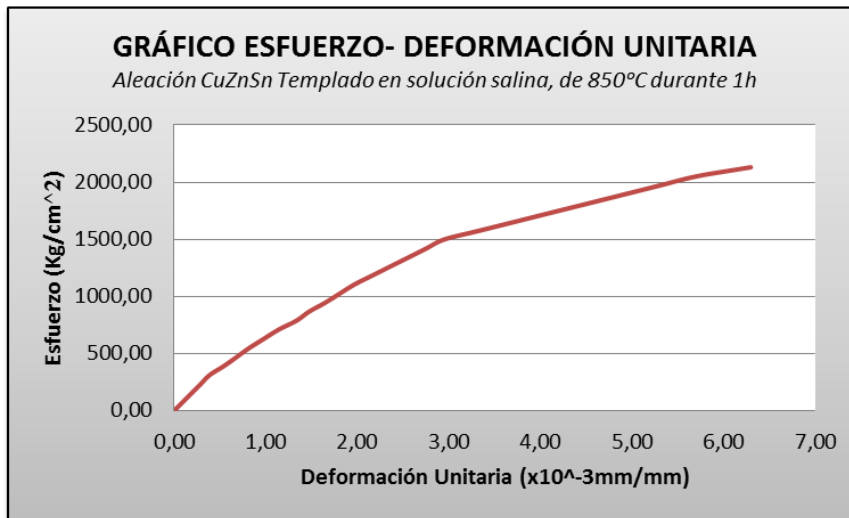


ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Probeta N°:	5-5
Tratamiento térmico realizado a la probeta:	Temple		
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	16/05/2014
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de ensayo de materiales- UTA		
Realizado por:	Santiago Ilbay y ayudante del laboratorio		
Método aplicado:	Deformación controlada		
Instrumento:	Máquina universal Tinius Olsen capacidad 30 toneladas		
Diámetro de la probeta:	1/2"	Longitud de calibración	2"



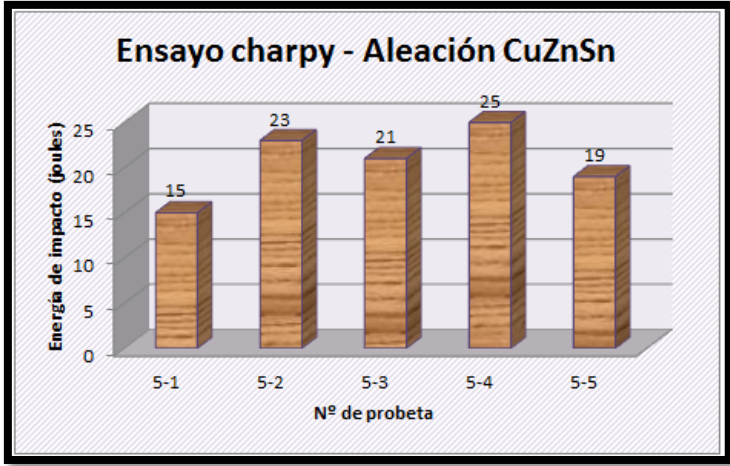
RESULTADOS:



Carga máxima:	2770,6 kg	Carga de ruptura:	2770,6 kg
Cálculo del porcentaje de alargamiento			
$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{52,25 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}} * 100 \rightarrow \varepsilon = 2,85 \%$			
Cálculo del porcentaje de reducción de área			
$\% \text{reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = \frac{126,677 - 124,29}{126,677} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = 1,88\%$			
Cálculo de la resistencia última a la tracción			
$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \rightarrow S_{ut} = \frac{2770,6 \text{ kg}}{126,677 \text{ mm}^2} \rightarrow S_{ut} = 21,87 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$			

Observaciones: El tipo de falla es irregular

4.1.5.7. Ensayo de impacto prueba 5

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 															
ENSAYO DE IMPACTO															
DATOS INFORMATIVOS:															
<i>Tipo de estudio:</i>	<i>De laboratorio</i>	<i>Probeta N°:</i>	<i>5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-5</i>												
<i>Tratamiento térmico:</i>	<i>Temple</i>	<i>Temperatura del TT:</i>	<i>850°C</i>												
<i>Norma aplicada:</i>	<i>ASTM E 23</i>	<i>Fecha:</i>	<i>09/05/2014</i>												
<i>Centro de Estudio y Análisis:</i>		<i>Laboratorio de materiales-UTA</i>													
<i>Realizado por:</i>	<i>Santiago Ilbay</i>														
<i>Método:</i>	<i>Ensayo Charpy</i>														
<i>Temperatura:</i>	<i>17,5°C</i>	<i>Tiempo del ensayo:</i>	<i>20min</i>												
RESULTADOS:															
 <p style="text-align: center;">Ensayo charpy - Aleación CuZnSn</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <caption>Data for Impact Energy Chart</caption> <thead> <tr> <th>Nº de probeta</th> <th>Energía de impacto (joules)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5-1</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>5-2</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>5-3</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>5-4</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>5-5</td> <td>19</td> </tr> </tbody> </table>				Nº de probeta	Energía de impacto (joules)	5-1	15	5-2	23	5-3	21	5-4	25	5-5	19
Nº de probeta	Energía de impacto (joules)														
5-1	15														
5-2	23														
5-3	21														
5-4	25														
5-5	19														
<i>Ensayo charpy de la aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%</i>															
Nº	Nº de probeta	Energía de impacto (joule)	Interpretación de resultados: Se ha ensayado con cinco probetas del cual el promedio de la energía de impacto es de 20,6 Joule												
1	5-1	15													
2	5-2	23													
3	5-3	21													
4	5-4	25													
5	5-5	19													

4.1.5.8. Ensayo de la memoria de forma para la prueba 5.

Para el ensayo de la memoria de forma, con la ayuda de un torno se maquinó a una probeta templada de la prueba 5 con el objetivo de sacar virutas.

Criterio: A las virutas se las deforma en estado martensítico para luego aplicarlas calor, en el que las virutas deben recobrar su forma inicial antes de dicha deformación.

Realización de la prueba:



Figura 4-36: Viruta en su forma inicial

Fuente: (El Autor)



Figura 4-37: Viruta deformada

Fuente: (El Autor)



Figura 4-38: Viruta luego de aplicar calor

Fuente: (El Autor)

Resultado: La viruta de prueba 5 se deformó y luego se aplicó calor, en donde la viruta está próxima a recuperar su forma inicial.

4.1.6. PRUEBA 6

La prueba 6 se realizó en el horno de inducción en el laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato; en esta prueba también se utilizó un CRISOL DE GRAFITO DIAMANT/BRASIL A-6(5.1/4”). De igual en esta prueba se cubrió el crisol con una capa de manta cerámica no combustible.

Tabla 4-14: Parámetros utilizados en el horno de inducción en la prueba 6.

PARÁMETRO	VALOR
Tipo de operación	Automático
Presión de agua	0.2 MPa
Caudal de agua	6 L/min
Tiempo de calentamiento	20 s
Tiempo de permanencia	20 s
Tiempo de enfriamiento	10 s
Amperaje	400 – 1350 A

Fuente: (El Autor).

También se utilizó una tapa de grafito para evitar salpicaduras y para mecer la colada una barra de grafito.

Tabla 4-15: Elementos de la aleación CuZnSn con su respectivo peso en gramos, prueba 6.

ELEMENTOS	CANTIDAD EN GRAMOS
COBRE	1869 g
ZINC	1225,2 g
ESTAÑO	84,5 g

Fuente: (El Autor).

Para esta prueba se añadió un 6,14% más de zinc, para compensar las pérdidas por evaporación y oxidación.



Figura 4-39: Probetas obtenidas al sacar del molde.

Fuente: (El Autor)

4.1.6.1. Análisis químico prueba 6

El resultado del análisis químico se puede observar en la tabla que se encuentra a continuación; el cual se realizó en la empresa NOVACERO, en el Laboratorio De Control De Calidad, en la máquina ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720, en el canal de ensayo ENERGY TEST.



Figura 4-40: Probeta para el análisis químico, prueba 6.

Fuente: (El Autor)

Tabla 4-16: Resultado del análisis químico de la prueba 6.

ELEMENTOS	CANTIDAD EN PORCENTAJE
Cu	63,214%
Zn	32,598%
Sn	3,832%
Otros	0,356%

Fuente: (NOVACERO).

El informe detallado del análisis químico se presenta detallado en el anexo B5

4.1.6.2. Cálculo del porcentaje de zinc equivalente para la prueba 6.

Para el cálculo del zinc equivalente se utilizó los resultados del análisis químico.

Datos:

Cu= 63,21 %

X= 3,83 % (Porcentaje del elemento de adición)

k= 2 (Coeficiente de equivalencia en Zn para el estaño)

$$Zn_{equiv} = 100\% - Cu\% * \frac{100}{100 + X\% * (k - 1)}$$

$$Zn_{equiv} = 39,12 \%$$

4.1.6.3. Microestructura metalográfica prueba 6

Para observar la microestructura de la aleación CuZnSn se realizó el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Metalografía de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



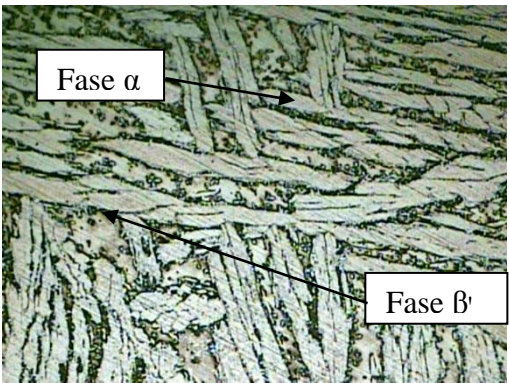
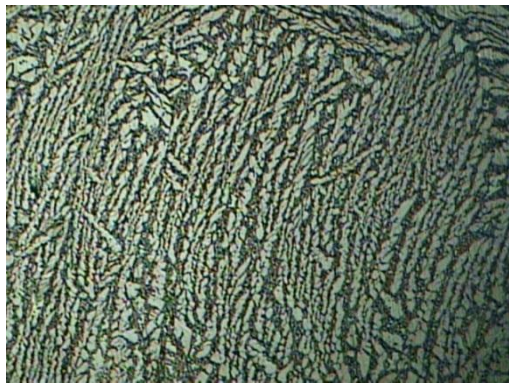


Figura 4-41: Probeta para el análisis metalográfico, prueba 6.

Fuente: (El Autor)

Los resultados son los siguientes:

4.1.6.3.1. Microestructura metalográfica prueba 6 (sin templar)



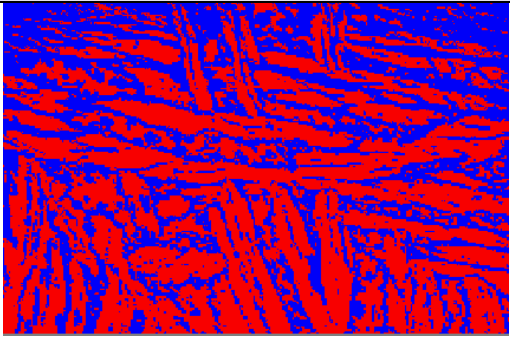
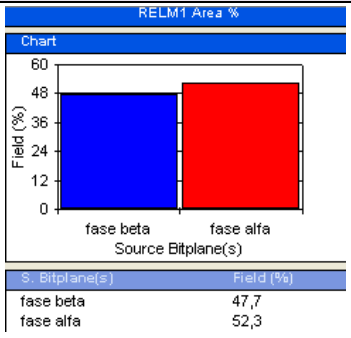
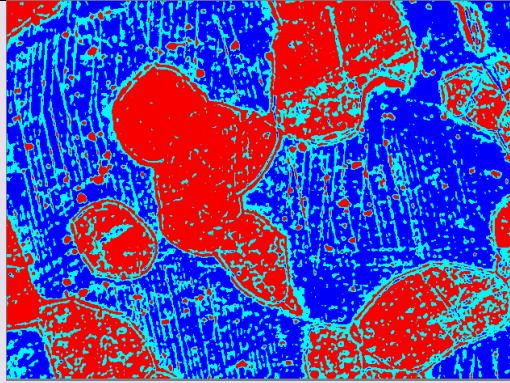
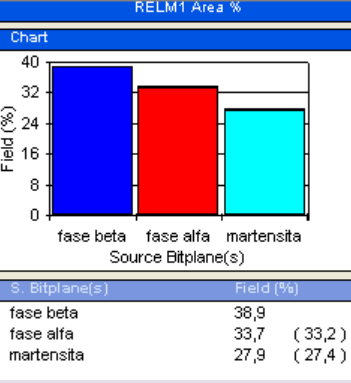
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	6.1
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	04/07/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	17° C	Radiación:	0,65 W/m ²
Velocidad del aire:	0,12 m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO:			
Acondicionamiento de la superficie:		Lijado, pulido mecánico	
Temperatura de pulido:	24 ° C	Superficie óptima en:	120 min
Ataque químico:	Aleaciones de cobre	Durante:	10s.
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA (X)			
 			
<i>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 10s</i> <i>Aleación CuZnSn, 40x, aleaciones de cobre, 10s</i>			

4.1.6.3.2. Microestructura metalográfica prueba 6 (templada).

Aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	6.2
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	05/07/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	18,5° C	Radiación:	0,65 W/m ²
Velocidad del aire:	0,12 m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO:			
Acondicionamiento de la superficie:		Lijado, pulido mecánico	
Temperatura de pulido:	24 ° C	Superficie óptima en:	150 min
Ataque químico:	Aleaciones de cobre	Durante:	50s.
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA (100X)			
<i>Aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%</i>			
			
<i>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 50s</i>			

4.1.6.4. Análisis de la microestructura metalográfica mediante un software, para la prueba 6.


 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 											
ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA METALOGRÁFICA MEDIANTE UN SOFTWARE											
DATOS INFORMATIVOS:											
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Realizado por:	Santiago Ilbay								
ANÁLISIS: A la microestructura de la prueba 6, sin templar.											
		 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fase beta</td> <td>47,7</td> </tr> <tr> <td>fase alfa</td> <td>52,3</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	fase beta	47,7	fase alfa	52,3		
S. Bitplane(s)	Field (%)										
fase beta	47,7										
fase alfa	52,3										
RESULTADO: Analizando la microestructura metalográfica de la prueba 6 sin templar se determinó la presencia de 52,3 % de fase alfa y 47,7 % de fase beta prima.											
ANÁLISIS: A la microestructura de la prueba 6, templada.											
		 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fase beta</td> <td>38,9</td> </tr> <tr> <td>fase alfa</td> <td>33,7 (33,2)</td> </tr> <tr> <td>martensita</td> <td>27,9 (27,4)</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	fase beta	38,9	fase alfa	33,7 (33,2)	martensita	27,9 (27,4)
S. Bitplane(s)	Field (%)										
fase beta	38,9										
fase alfa	33,7 (33,2)										
martensita	27,9 (27,4)										
RESULTADO: Analizando la microestructura metalográfica de la prueba 6 templada se determinó la presencia de 33,7 % de fase alfa, 38,9% de fase beta, 27,9 % de martensita.											

4.1.6.5.Dureza prueba 6.

La medición de dureza se realizó en el Laboratorio de Metalografía de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



Para determinar la dureza se utilizó el durómetro, en el cual se aplicó la escala de dureza Rockwell B (HRB) con esfera de 1/16", carga de 980 N.

4.1.6.5.1. Dureza prueba 6 (sin templar).

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE DUREZA			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	6.1
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	11/07/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	18,5 °C	Radiación:	0,65 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0,12m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA:			
Método:		Rockwell B	
Tipo de penetrador		esfera de 1/16"	
Cantidad de carga aplicada:	980N	Tiempo del ensayo:	15min.
RESULTADO:			
N° de mediciones	Valores	Dureza promedio: 80,1 HRB	
1	79,5		
2	83,0		
3	78,5		
4	80,0		
5	77,5		
6	81,5		
7	83,0		
8	78,5		
9	79,5		
10	80,0		

4.1.6.5.2. Dureza prueba 6 (templada).

Aleación CuZnSn – templada a 900°C en solución salina al 10%

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE DUREZA			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	6.2
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	12/07/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	18,5 °C	Radiación:	0,7 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0,12m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA:			
Método:		Rockwell B	
Tipo de penetrador		esfera de 1/16"	
Cantidad de carga aplicada:	980N	Tiempo del ensayo:	15min.
RESULTADO:			
N° de mediciones	Valores	Dureza promedio: 89,7 HRB	
1	89,5		
2	91,5		
3	91,5		
4	89,0		
5	91,0		
6	87,5		
7	90,0		
8	87,5		
9	90,0		
10	89,5		

4.1.6.6. Ensayo de tracción prueba 6

A continuación se muestra en la siguiente figura las probetas mecanizadas y templadas para el ensayo de tracción.



Figura 4-42: Probetas templadas para el ensayo de tracción.

Fuente: (El Autor)

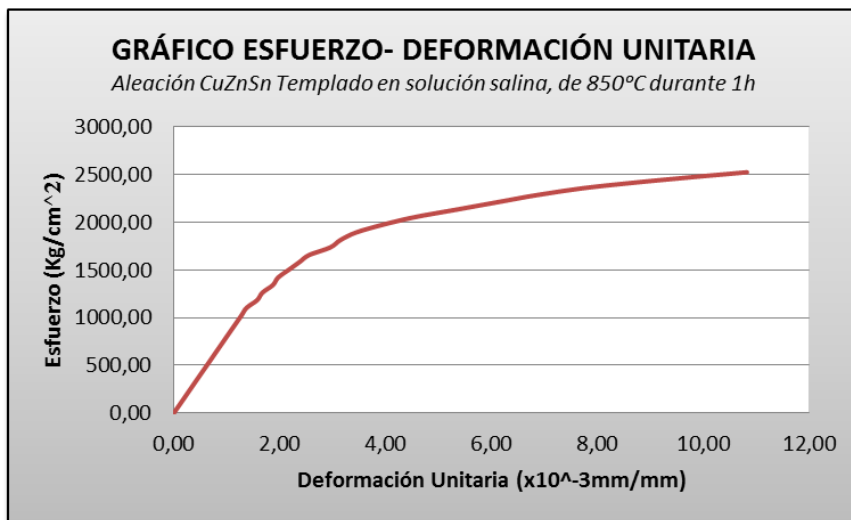


ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Probeta N°:	6-1
Tratamiento térmico realizado a la probeta:	Temple		
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	20/07/2014
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de ensayo de materiales- UTA		
Realizado por:	Santiago Ilbay y ayudante del laboratorio		
Método aplicado:	Deformación controlada		
Instrumento:	Máquina universal Tinius Olsen capacidad 30 toneladas		
Diámetro de la probeta:	1/2"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:



Carga máxima:	3234,6 kg	Carga de ruptura:	3234,6 kg
Cálculo del porcentaje de alargamiento			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \rightarrow \epsilon = \frac{52,82 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}} * 100 \rightarrow \epsilon = 3,98 \%$			
Cálculo del porcentaje de reducción de área			
$\% \text{reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = \frac{126,677 - 122,33}{126,677} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = 3,43\%$			
Cálculo de la resistencia última a la tracción			
$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \rightarrow S_{ut} = \frac{3234,6 \text{ kg}}{126,677 \text{ mm}^2} \rightarrow S_{ut} = 25,53 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$			

Observaciones: El tipo de falla es irregular

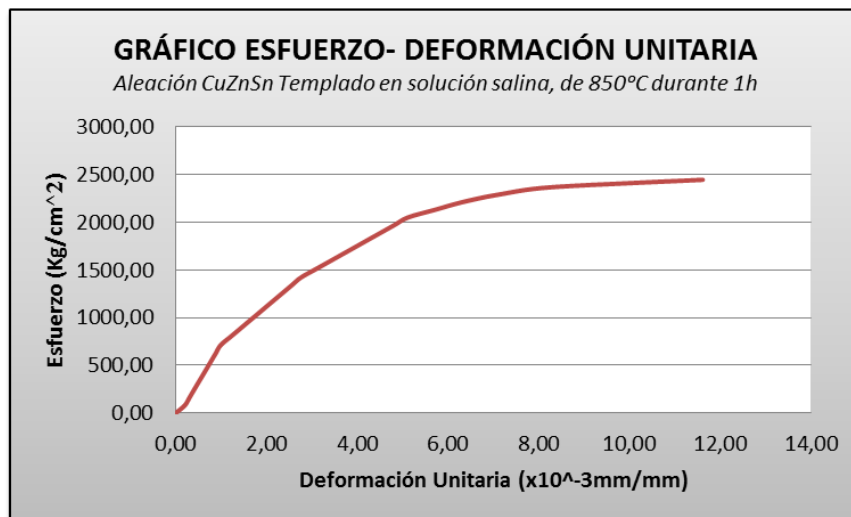


ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

<i>Tipo de estudio:</i>	<i>De laboratorio</i>	<i>Probeta N°:</i>	6-2
<i>Tratamiento térmico realizado a la probeta:</i>		<i>Temple</i>	
<i>Solicitado por:</i>	<i>Santiago Ilbay</i>	<i>Fecha:</i>	20/07/2014
<i>Centro de Estudio y Análisis:</i>		<i>Laboratorio de ensayo de materiales- UTA</i>	
<i>Realizado por:</i>	<i>Santiago Ilbay y ayudante del laboratorio</i>		
<i>Método aplicado:</i>	<i>Deformación controlada</i>		
<i>Instrumento:</i>	<i>Máquina universal Tinius Olsen capacidad 30 toneladas</i>		
<i>Diámetro de la probeta:</i>	<i>1/2"</i>	<i>Longitud de calibración</i>	<i>2"</i>

RESULTADOS:



<i>Carga máxima:</i>	3154,6 kg	<i>Carga de ruptura:</i>	3154,6 kg
<i>Cálculo del porcentaje de alargamiento</i>			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \rightarrow \epsilon = \frac{52,80 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}} * 100 \rightarrow \epsilon = 3,93 \%$			
<i>Cálculo del porcentaje de reducción de área</i>			
$\% \text{reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = \frac{126,677 - 122,72}{126,677} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = 3,12 \%$			
<i>Cálculo de la resistencia última a la tracción</i>			
$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \rightarrow S_{ut} = \frac{3154,6 \text{ kg}}{126,677 \text{ mm}^2} \rightarrow S_{ut} = 24,90 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$			

Observaciones: *El tipo de falla es irregular*

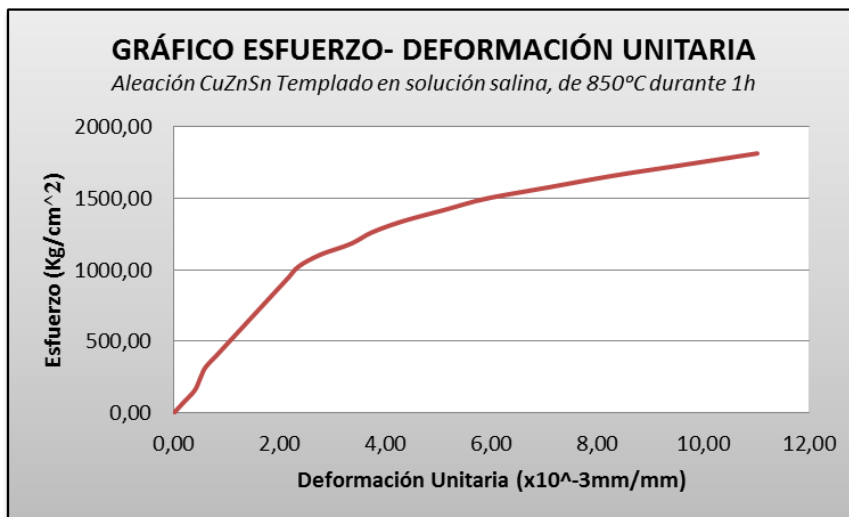


ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Probeta N°:	6-3
Tratamiento térmico realizado a la probeta:	Temple		
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	20/07/2014
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de ensayo de materiales- UTA		
Realizado por:	Santiago Ilbay y ayudante del laboratorio		
Método aplicado:	Deformación controlada		
Instrumento:	Máquina universal Tinius Olsen capacidad 30 toneladas		
Diámetro de la probeta:	1/2"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:



Carga máxima:	2358,3 kg	Carga de ruptura:	2358,3 kg
Cálculo del porcentaje de alargamiento			
$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{52,60 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}} * 100 \rightarrow \varepsilon = 3,54 \%$			
Cálculo del porcentaje de reducción de área			
$\% \text{reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = \frac{126,677 - 123,29}{126,677} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = 1,88 \%$			
Cálculo de la resistencia última a la tracción			
$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \rightarrow S_{ut} = \frac{2358,3 \text{ kg}}{126,677 \text{ mm}^2} \rightarrow S_{ut} = 18,62 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$			

Observaciones: El tipo de falla es irregular

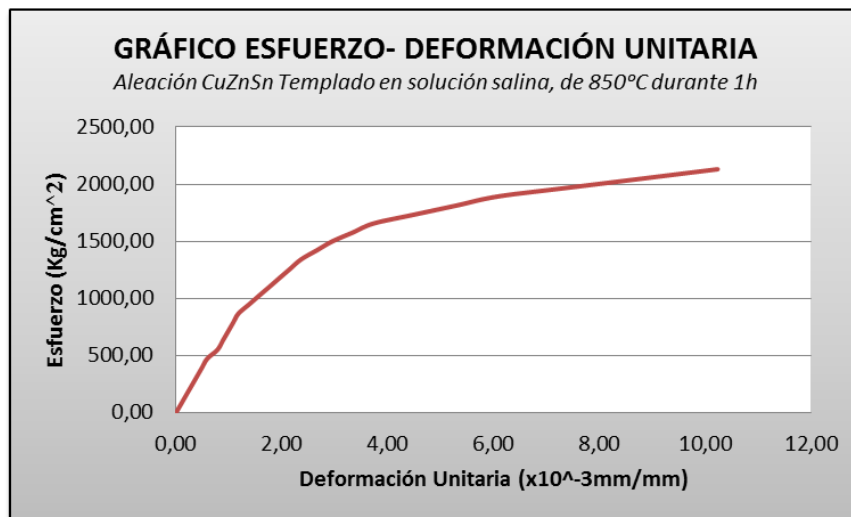


ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Probeta N°:	6-4
Tratamiento térmico realizado a la probeta:	Temple		
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	20/07/2014
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de ensayo de materiales- UTA		
Realizado por:	Santiago Ilbay y ayudante del laboratorio		
Método aplicado:	Deformación controlada		
Instrumento:	Máquina universal Tinius Olsen capacidad 30 toneladas		
Diámetro de la probeta:	1/2"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:



Carga máxima:	2768,9 kg	Carga de ruptura:	2768,9 kg
----------------------	-----------	--------------------------	-----------

Cálculo del porcentaje de alargamiento

$$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \quad \rightarrow \quad \epsilon = \frac{52,70 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}} * 100 \quad \rightarrow \quad \epsilon = 3,74\%$$

Cálculo del porcentaje de reducción de área

$$\% \text{reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = \frac{126,677 - 122,72}{126,677} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = 3,12 \%$$

Cálculo de la resistencia última a la tracción

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = \frac{2768,9 \text{ kg}}{126,677 \text{ mm}^2} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = 21,86 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Observaciones: El tipo de falla es irregular

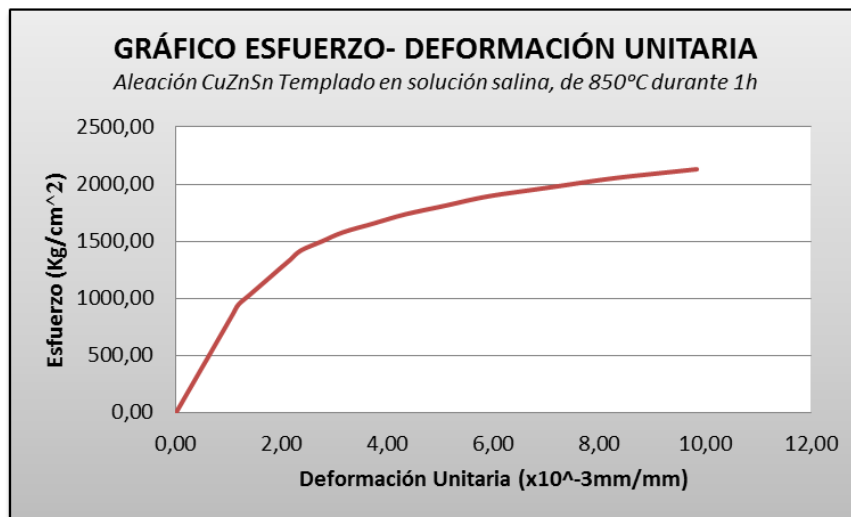


ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

<i>Tipo de estudio:</i>	<i>De laboratorio</i>	<i>Probeta N°:</i>	6-5
<i>Tratamiento térmico realizado a la probeta:</i>		<i>Temple</i>	
<i>Solicitado por:</i>	<i>Santiago Ilbay</i>	<i>Fecha:</i>	20/07/2014
<i>Centro de Estudio y Análisis:</i>		<i>Laboratorio de ensayo de materiales- UTA</i>	
<i>Realizado por:</i>	<i>Santiago Ilbay y ayudante del laboratorio</i>		
<i>Método aplicado:</i>	<i>Deformación controlada</i>		
<i>Instrumento:</i>	<i>Máquina universal Tinius Olsen capacidad 30 toneladas</i>		
<i>Diámetro de la probeta:</i>	<i>1/2"</i>	<i>Longitud de calibración</i>	<i>2"</i>



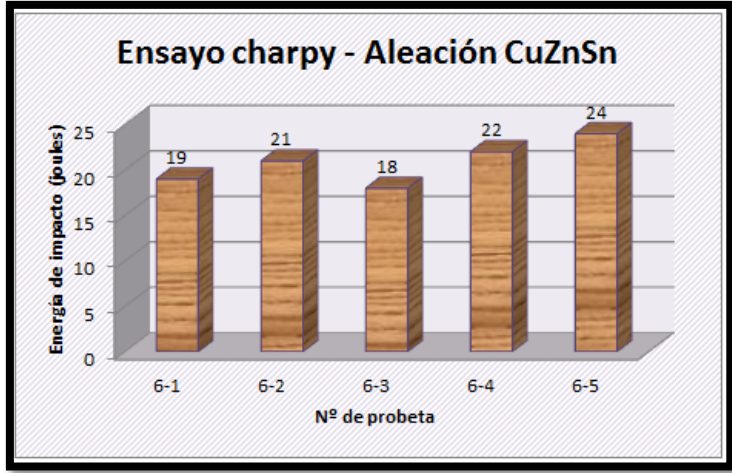
RESULTADOS:



<i>Carga máxima:</i>	2752,4 kg	<i>Carga de ruptura:</i>	2752,4 kg
<i>Cálculo del porcentaje de alargamiento</i>			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \rightarrow \epsilon = \frac{52,60 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}} * 100 \rightarrow \epsilon = 3,54\%$			
<i>Cálculo del porcentaje de reducción de área</i>			
$\% \text{reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = \frac{126,677 - 122,72}{126,677} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = 3,12 \%$			
<i>Cálculo de la resistencia última a la tracción</i>			
$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \rightarrow S_{ut} = \frac{2752,4 \text{ kg}}{126,677 \text{ mm}^2} \rightarrow S_{ut} = 21,73 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$			

Observaciones: *El tipo de falla es irregular*

4.1.6.7. Ensayo de impacto prueba 6

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE IMPACTO			
DATOS INFORMATIVOS:			
<i>Tipo de estudio:</i>	<i>De laboratorio</i>	<i>Probeta N°:</i>	6-1, 6-2, 6-3, 6-4, 6-5
<i>Tratamiento térmico:</i>	<i>Temple</i>	<i>Temperatura del TT:</i>	850°C
<i>Norma aplicada:</i>	<i>ASTM E 23</i>	<i>Fecha:</i>	14/07/2014
<i>Centro de Estudio y Análisis:</i>		<i>Laboratorio de materiales-UTA</i>	
<i>Realizado por:</i>	<i>Santiago Ilbay</i>		
<i>Método:</i>	<i>Ensayo Charpy</i>		
<i>Temperatura:</i>	<i>17°C</i>	<i>Tiempo del ensayo:</i>	<i>20min</i>
RESULTADOS:			
 <p style="text-align: center;"><i>Ensayo charpy de la aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%</i></p>			
N°	N° de probeta	Energía de impacto (joule)	Interpretación de resultados: Se ha ensayado con cinco probetas del cual el promedio de la energía de impacto es de 20,8 Joule
1	6-1	19	
2	6-2	21	
3	6-3	18	
4	6-4	22	
5	6-5	24	

4.1.6.8. Ensayo de la memoria de forma para la prueba 6.

Para el ensayo de la memoria de forma, con la ayuda de un torno se maquinó a una probeta templada de la prueba 6 con el objetivo de sacar virutas.

Criterio: A las virutas se las deforma en estado martensítico para luego aplicarlas calor, en el que las virutas deben recobrar su forma inicial antes de dicha deformación.

Realización de la prueba:



Figura 4-43: Viruta en su forma inicial

Fuente: (El Autor)



Figura 4-44: Viruta deformada

Fuente: (El Autor)



Figura 4-45: Viruta luego de aplicar calor

Fuente: (El Autor)

Resultado: La viruta de prueba 6 se deformó y luego se aplicó calor, donde la viruta recupero su forma inicial. Por lo tanto la aleación de la prueba 6 se considera como una aleación con memoria de forma.

Tabla 4-17: Resumen de los resultados del ensayo de dureza.

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA						
	Prueba 2		Prueba 3		Prueba 4	
Nº de medición	Dureza de las probetas sin templar (HRB)	Dureza de las probetas templadas (850 °C) (HRB)	Dureza de las probetas sin templar (HRB)	Dureza de las probetas templadas (850 °C) (HRB)	Dureza de las probetas sin templar (HRB)	Dureza de las probetas templadas (850 °C) (HRB)
1	81,5	82,0	74,4	84,0	81,5	91,0
2	78,5	85,5	78,5	87,0	79,0	90,0
3	83,5	84,0	74,0	90,5	80,5	90,5
4	82,0	87,0	74,5	89,0	78,0	91,5
5	84,5	85,5	77,0	89,5	81,5	89,5
6	81,5	87,0	77,5	83,0	81,5	89,0
7	82,0	84,0	78,0	89,5	78,0	87,5
8	85,0	80,0	73,0	89,0	78,5	88,5
9	80,0	82,0	72,5	86,0	80,5	86,0
10	84,0	80,5	74,9	87,0	79,0	88,0
PROMEDIO	82,0	83,8	75,4	87,5	79,8	89,2
	Prueba 5				Prueba 6	
Nº de medición	Dureza de las probetas sin templar (HRB)	Dureza de las probetas templadas (900 °C) (HRB)	Dureza de las probetas templadas (850 °C) (HRB)	Dureza de las probetas templadas (750 °C) (HRB)	Dureza de las probetas sin templar (HRB)	Dureza de las probetas templadas (850 °C) (HRB)
1	76,0	89,0	86,5	85,0	79,5	89,5
2	80,0	90,0	88,0	82,5	83,0	91,5
3	83,5	90,0	90,0	83,5	78,5	91,5
4	81,5	91,0	87,0	80,0	80,0	89,0
5	83,0	91,5	92,0	81,5	77,5	91,0
6	78,0	91,0	90,0	82,0	81,5	87,5
7	82,5	90,0	88,0	79,0	83,0	90,0
8	79,0	90,5	90,5	82,0	78,5	87,5
9	81,0	92,0	86,5	83,0	79,5	90,0
10	82,0	91,0	92,0	80,5	80,0	89,5
PROMEDIO	80,7	90,6	89,1	81,9	80,1	89,7
Nota: no se tiene resultados de la prueba 1 ya que no se alcanzó la fusión de los elementos						

Fuente: (El Autor).

Tabla 4-18: Resumen de los resultados del ensayo de tracción.

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
PRUEBA 4			
Nº Probeta	ε (%)	% red. Área (%)	Sut (Kg/mm²)
4.1	1,14	1,57	19,75
4.2	1,18	1,58	18,07
4.3	0,99	1,26	18,77
4.4	0,79	0,63	14,8
4.5	0,74	0,63	17,41
PROMEDIO	0,968	1,134	17,76
PRUEBA 5			
Nº Probeta	ε (%)	% red. Área (%)	Sut (Kg/mm²)
4.1	3,14	2,5	23,82
4.2	3,05	1,25	25,04
4.3	2,85	1,88	22,39
4.4	2,16	1,88	24,25
4.5	2,85	1,88	21,87
PROMEDIO	2,81	1,878	23,474
PRUEBA 6			
Nº Probeta	ε (%)	% red. Área (%)	Sut (Kg/mm²)
4.1	3,98	3,43	25,53
4.2	3,93	3,12	24,9
4.3	3,54	1,88	18,62
4.4	3,74	3,12	21,86
4.5	3,54	3,12	21,73
PROMEDIO	3,746	2,934	22,528
<i>Nota: No se tiene resultados de las prueba ,2 y 3 ya que se obtuvo probetas defectuosas, mientras que en la prueba 1 no se alcanzó la fusión de los elementos</i>			

Fuente: (El Autor).

Tabla 4-19: Resumen de los resultados del ensayo charpy.

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO CHARPY					
Prueba 4		Prueba 5		Prueba 6	
Nº de probeta	Resultado de la resistencia al impacto (Joule)	Nº de probeta	Resultado de la resistencia al impacto (Joule)	Nº de probeta	Resultado de la resistencia al impacto (Joule)
4.1	18	5.1	15	6.1	19
4.2	15	5.2	23	6.2	21
4.3	11	5.3	21	6.3	18
4.4	18	5.4	25	6.4	22
4.5	16	5.5	19	6.5	24
PROMEDIO	15,6	PROMEDIO	20,6	PROMEDIO	20,8

Nota: No se tiene resultados de las prueba ,2 y 3 ya que se obtuvo probetas defectuosas, mientras que en la prueba 1 no se alcanzó la fusión de los elementos

Fuente: (El Autor).

4.2. INTERPRETACIÓN DE DATOS.

Análisis químico.

Tabla 4-20: Resumen de elementos aleantes.

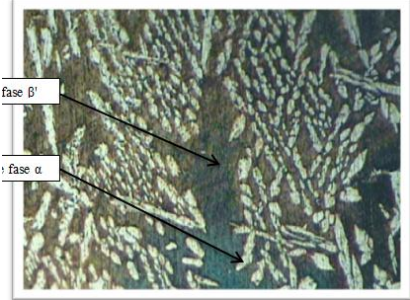

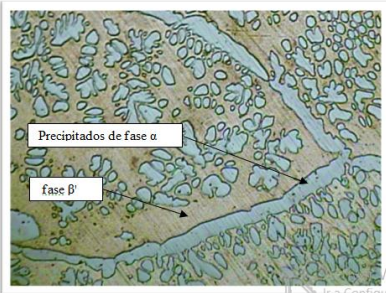
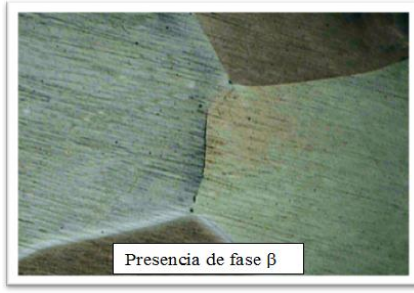
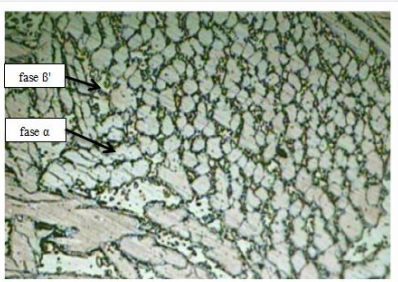

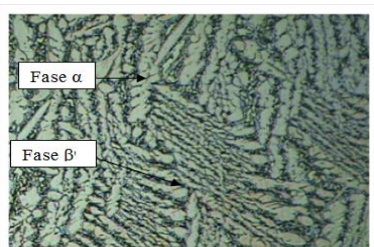
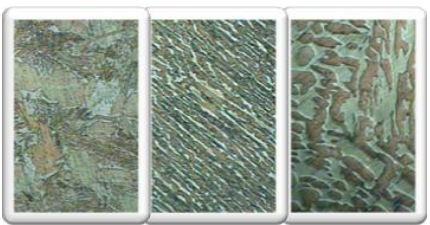
RESUMEN DE ELEMENTOS ALEANTES															
Antes de fundir (Elementos iniciales)	Después de fundir (Análisis químico)														
Prueba 1															
<i>No se alcanzó la fusión de los elementos</i>															
Prueba 2															
<table border="1"> <tr> <td>COBRE</td> <td>ZINC</td> <td>ESTAÑO</td> </tr> <tr> <td>64,0%</td> <td>54,0%</td> <td>2,0%</td> </tr> </table>	COBRE	ZINC	ESTAÑO	64,0%	54,0%	2,0%	<table border="1"> <tr> <td>COBRE</td> <td>ZINC</td> <td>ESTAÑO</td> <td>OTROS</td> </tr> <tr> <td>56,00%</td> <td>40,63%</td> <td>1,93%</td> <td>1,44%</td> </tr> </table>	COBRE	ZINC	ESTAÑO	OTROS	56,00%	40,63%	1,93%	1,44%
COBRE	ZINC	ESTAÑO													
64,0%	54,0%	2,0%													
COBRE	ZINC	ESTAÑO	OTROS												
56,00%	40,63%	1,93%	1,44%												
Prueba 3															
<table border="1"> <tr> <td>COBRE</td> <td>ZINC</td> <td>ESTAÑO</td> </tr> <tr> <td>64,0%</td> <td>49,0%</td> <td>2,0%</td> </tr> </table>	COBRE	ZINC	ESTAÑO	64,0%	49,0%	2,0%	<table border="1"> <tr> <td>COBRE</td> <td>ZINC</td> <td>ESTAÑO</td> <td>OTROS</td> </tr> <tr> <td>52,99%</td> <td>42,82%</td> <td>3,86%</td> <td>0,27%</td> </tr> </table>	COBRE	ZINC	ESTAÑO	OTROS	52,99%	42,82%	3,86%	0,27%
COBRE	ZINC	ESTAÑO													
64,0%	49,0%	2,0%													
COBRE	ZINC	ESTAÑO	OTROS												
52,99%	42,82%	3,86%	0,27%												
Prueba 4															
<table border="1"> <tr> <td>COBRE</td> <td>ZINC</td> <td>ESTAÑO</td> </tr> <tr> <td>62,3%</td> <td>44,7%</td> <td>3,0%</td> </tr> </table>	COBRE	ZINC	ESTAÑO	62,3%	44,7%	3,0%	<table border="1"> <tr> <td>COBRE</td> <td>ZINC</td> <td>ESTAÑO</td> <td>OTROS</td> </tr> <tr> <td>58,88%</td> <td>37,66%</td> <td>3,25%</td> <td>0,30%</td> </tr> </table>	COBRE	ZINC	ESTAÑO	OTROS	58,88%	37,66%	3,25%	0,30%
COBRE	ZINC	ESTAÑO													
62,3%	44,7%	3,0%													
COBRE	ZINC	ESTAÑO	OTROS												
58,88%	37,66%	3,25%	0,30%												
Prueba 5															
<table border="1"> <tr> <td>COBRE</td> <td>ZINC</td> <td>ESTAÑO</td> </tr> <tr> <td>62,3%</td> <td>40,0%</td> <td>3,0%</td> </tr> </table>	COBRE	ZINC	ESTAÑO	62,3%	40,0%	3,0%	<table border="1"> <tr> <td>COBRE</td> <td>ZINC</td> <td>ESTAÑO</td> <td>OTROS</td> </tr> <tr> <td>63,71%</td> <td>31,99%</td> <td>3,99%</td> <td>0,31%</td> </tr> </table>	COBRE	ZINC	ESTAÑO	OTROS	63,71%	31,99%	3,99%	0,31%
COBRE	ZINC	ESTAÑO													
62,3%	40,0%	3,0%													
COBRE	ZINC	ESTAÑO	OTROS												
63,71%	31,99%	3,99%	0,31%												
Prueba 6															
<table border="1"> <tr> <td>COBRE</td> <td>ZINC</td> <td>ESTAÑO</td> </tr> <tr> <td>62,3%</td> <td>40,8%</td> <td>2,8%</td> </tr> </table>	COBRE	ZINC	ESTAÑO	62,3%	40,8%	2,8%	<table border="1"> <tr> <td>COBRE</td> <td>ZINC</td> <td>ESTAÑO</td> <td>OTROS</td> </tr> <tr> <td>63,21%</td> <td>32,60%</td> <td>3,83%</td> <td>0,36%</td> </tr> </table>	COBRE	ZINC	ESTAÑO	OTROS	63,21%	32,60%	3,83%	0,36%
COBRE	ZINC	ESTAÑO													
62,3%	40,8%	2,8%													
COBRE	ZINC	ESTAÑO	OTROS												
63,21%	32,60%	3,83%	0,36%												

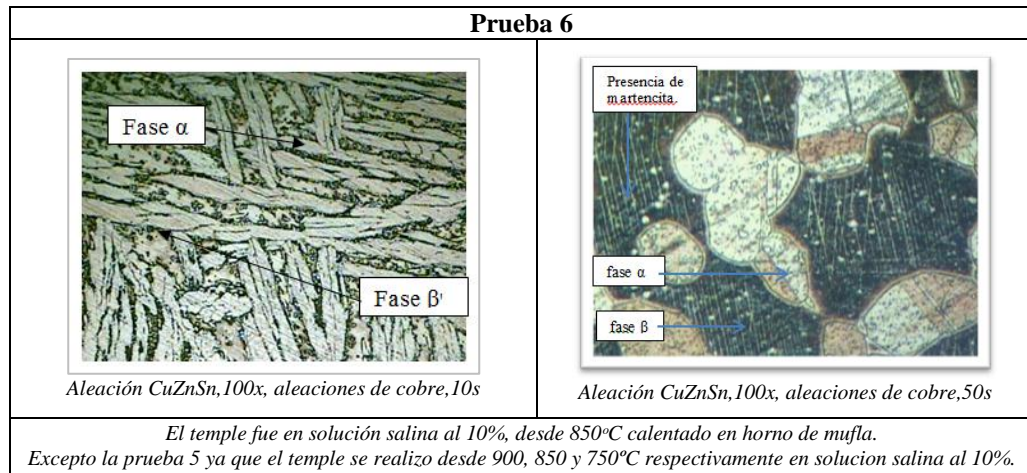
Fuente: (El Autor).

En la tabla 4-20 se puede observar el resumen de los elementos antes y después de fundir, donde en la prueba 1 no se obtuvo la fusión de los elementos puesto que el crisol no era adecuado para el horno de inducción empleado por lo que para la prueba 2 se utilizó otro tipo de crisol en la cual se empleó como elementos iniciales 64% Cu - 34%Zn - 2%Sn en la cual se adicionó un 20% más de Zn para compensar pérdidas de evaporación y oxidación, el resultado del análisis químico fue 56%Cu - 40,63%Zn - 1,93%Sn - 1,44% Otros; donde existe una excedencia de zinc y además 1,44% de otros elementos lo cual es demasiado. Prueba 3 se empleó como elementos iniciales 64% Cu - 34%Zn - 2%Sn en la cual se adicionó un 15% más de Zn para compensar pérdidas de evaporación y oxidación, el resultado del análisis químico fue 52,99%Cu - 42,82%Zn - 3,86%Sn - 0,27% Otros. Para la prueba 4 se empleó como elementos iniciales 62,3% Cu - 34,7%Zn - 3%Sn en la cual se adicionó un 10% más de Zn para compensar pérdidas de evaporación y oxidación, el resultado del análisis químico fue 58,88%Cu - 37,66%Zn - 3,25%Sn - 0,30%Otros. Para la prueba 5 se empleó como elementos iniciales 62,3% Cu - 34,7%Zn - 3%Sn en la cual se adicionó un 5,3% más de Zn para compensar pérdidas de evaporación y oxidación, el resultado del análisis químico fue 63,71%Cu - 31,99%Zn - 3,99%Sn - 0,31 Otros. La prueba 6 se realizó para afinar los resultados en la que se empleó como elementos iniciales 62,3% Cu - 34,7%Zn - 2,8%Sn en la cual se adicionó un 6,14% más de Zn para compensar pérdidas de evaporación y oxidación, el resultado del análisis químico fue 63,21%Cu - 32,6%Zn - 3,83%Sn - 0,36%.

Análisis metalográfico.

Tabla 4-21: Resumen de microestructuras metalográficas.

RESUMEN DE MICROESTRUCTURAS METALGRÁFICAS	
Prueba 1 (No se alcanzó la temperatura de fusión del material)	
Sin templar	Templada
Prueba 2	
 <p>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 5s</p>	 <p>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 3s</p>
Prueba 3	
 <p>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 3s</p>	 <p>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 5s</p>
Prueba 4	
 <p>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 10s</p>	 <p>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 6s</p>
Prueba 5	
 <p>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 10s</p>	 <p>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 10s</p>



Fuente: (El Autor).

En la tabla 4-21 podemos observar el resumen de microestructuras metalográficas en donde:

En la prueba 1 no se alcanzó la fusión del material.

En la prueba 2 se puede observar la microestructura sin templar en la cual se observa la presencia de fase β' y fase α , mientras que en la microestructura templada se puede observar presencia de fase β .

En la prueba 3 se puede observar la microestructura sin templar en la cual se observa la presencia de fase β' y precipitados de fase α , mientras que en la microestructura templada se puede observar presencia de fase β .

En la prueba 4 se puede observar la microestructura sin templar en la cual se observa la presencia de fase β' y fase α más uniforme, mientras que en la microestructura templada se puede observar presencia de fase β .

En la prueba 5 se puede observar la microestructura sin templar en la cual se observa la presencia de fase β' y fase α más uniforme, mientras que en la microestructura templada a 900°C se puede observar presencia de fase β y precipitados de fase α ; en la microestructura templada a 850°C se puede observar

presencia de fase β , fase α alargada con presencia de martensita; en la microestructura templada a 750°C se puede observar presencia de fase β y fase α circular; siendo el temple más óptimo a 850°C enfriado en solución salina.

En la prueba 6 se puede observar la microestructura sin templar en la cual se observa la presencia de fase β' y fase α alargada, mientras que en la microestructura templada se puede observar presencia de fase β , fase α y martensita.

Análisis de dureza.

Tabla 4-22: Resumen de los promedios de las mediciones de dureza.

RESUMEN DE LOS PROMEDIOS DE LAS MEDICIONES DE DUREZA			
Nº de prueba	Probetas sin templar	Probetas templada (850°C)	Unidad
Prueba 2	82,3	83,8	HRB
Prueba 3	75,4	87,5	HRB
Prueba 4	79,8	89,2	HRB
Prueba 5	80,7	89,1	HRB
Prueba 6	80,1	89,7	HRB

Fuente: (El Autor).

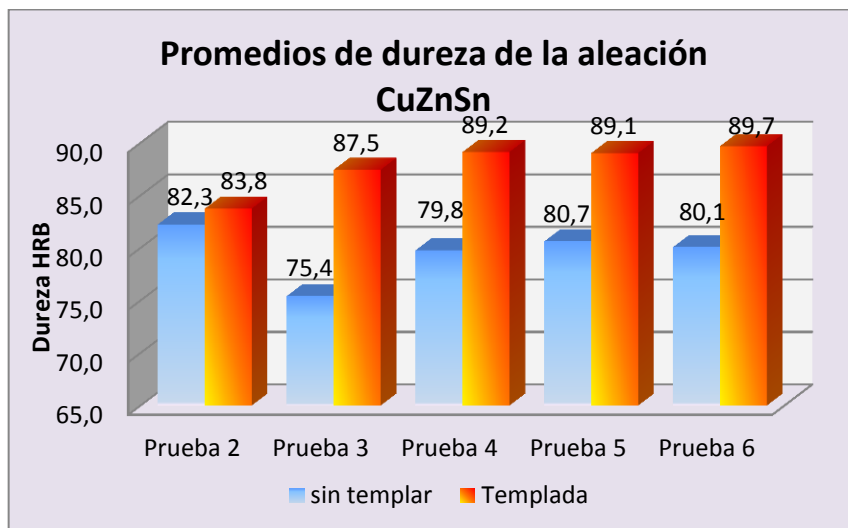


Figura 4-46: Comparación de los promedios de dureza de la aleación CuZnSn.

Fuente: (El Autor)

En la figura 4-46 se observa la comparación de los promedios de las mediciones de dureza donde:

En la prueba 2 la dureza sin templar es de 82,3HRB mientras que la dureza templada es de 83,8HRB siendo la diferencia de 1,5HRB.

En la prueba 3 la dureza sin templar es de 75,4HRB mientras que la dureza templada es de 87,5HRB siendo la diferencia de 12,1HRB.

En la prueba 4 la dureza sin templar es de 79,8HRB mientras que la dureza templada es de 89,2HRB siendo la diferencia de 9,4HRB.

En la prueba 5 la dureza sin templar es de 80,7HRB mientras que la dureza templada es de 89,1HRB siendo la diferencia de 8,4HRB.

En la prueba 6 la dureza sin templar es de 80,1HRB mientras que la dureza templada es de 89,7HRB siendo la diferencia 9,6HRB.

Análisis del ensayo de tracción.

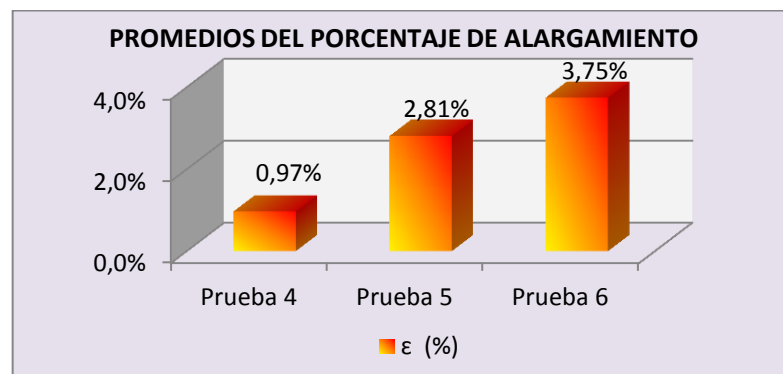


Figura 4-47: Comparación de los promedios del porcentaje de alargamiento.

Fuente: (El Autor)

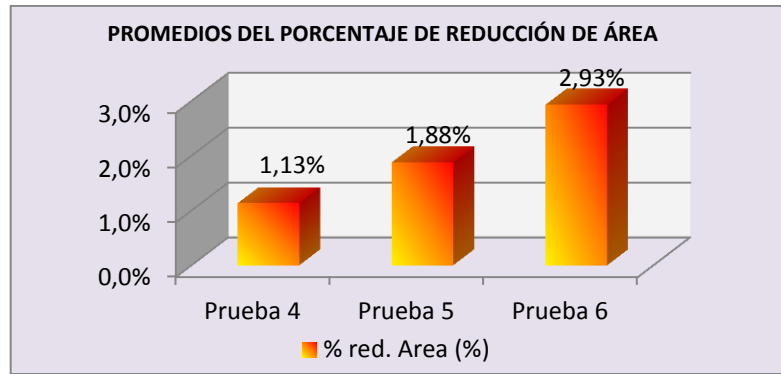


Figura 4-48: Comparación de los promedios del porcentaje de reducción de área.

Fuente: (El Autor)

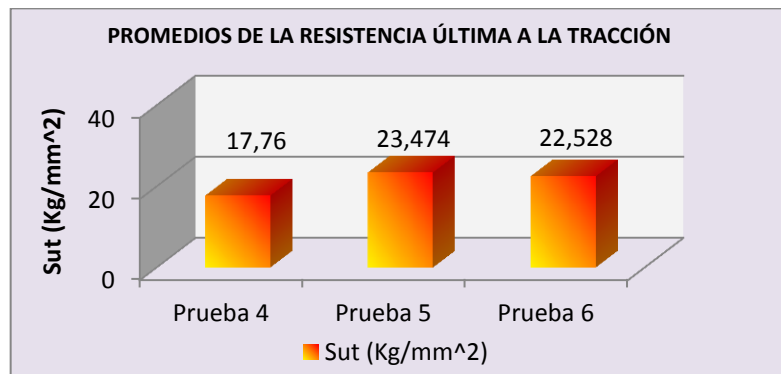


Figura 4-49: Comparación de los promedios de la resistencia última a la tracción.

Fuente: (El Autor)

Como se puede observar en la figura 4-47, 4-48 y 4-49 los resultados calculados del ensayo de tracción son:

La prueba 4 tiene un porcentaje de alargamiento de (0,97%), un porcentaje de reducción de área de (1,13%) y resistencia ultima a la tracción de (17,76 Kg/mm²) siendo los resultados más bajos de las tres pruebas en comparación. La prueba 5 tiene un porcentaje de alargamiento de (2,81%), un porcentaje de reducción de área de (1,88%) y resistencia ultima a la tracción de (23,47 Kg/mm²). La prueba 6 tiene un porcentaje de alargamiento de (3,75%), un porcentaje de reducción de área de (2,93%) y resistencia ultima a la tracción de (22,53 Kg/mm²).

Análisis de ensayo charpy

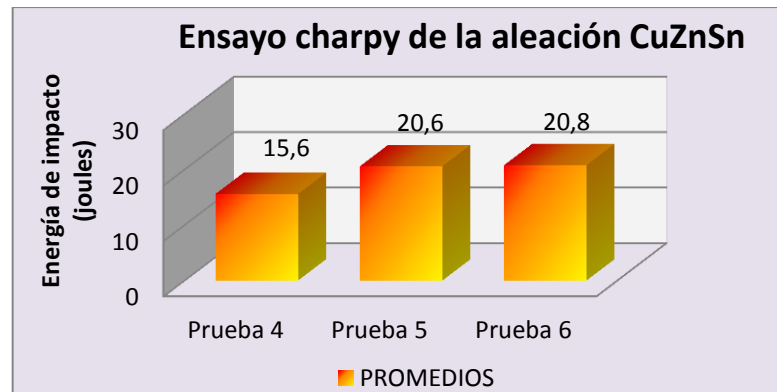


Figura 4-50: Comparación de los resultados del ensayo charpy (temple a 850°C).














Fuente: (El Autor)

En la figura 4-50 se puede observar la comparación de los resultados del ensayo charpy donde la prueba 4 tiene el menor valor que es 15,6 joule; la prueba 5 y 6 tienen valores similares con una diferencia de 0,2 joules siendo 20,6 y 20,8 joules respectivamente.

Denotando la prueba 6 con el resultado más alto de resistencia al impacto (20,8 joules).

Análisis del ensayo de memoria de forma.

Tabla 4-23: Resumen del ensayo de memoria de forma.

RESUMEN DEL ENSAYO DE MEMORIA DE FORMA		
Prueba 1 <i>(No se obtuvo muestras)</i>		
Prueba 2		
		
<i>Viruta en su forma inicial</i>		<i>Viruta deformada</i>
Prueba 3		
		
<i>Viruta en su forma inicial</i>		<i>Viruta deformada</i>
Prueba 4		
		
<i>Viruta en su forma inicial</i>	<i>Viruta deformada</i>	<i>Viruta luego de aplicar calor</i>
Prueba 5		
		
<i>Viruta en su forma inicial</i>	<i>Viruta deformada</i>	<i>Viruta luego de aplicar calor</i>
Prueba 6		
		
<i>Viruta en su forma inicial</i>	<i>Viruta deformada</i>	<i>Viruta luego de aplicar calor</i>

Fuente: (El Autor)

Criterio: A las virutas se las deforma en estado martensítico para luego aplicarlas calor, en el que las virutas deben recobrar su forma inicial antes de dicha deformación.

La viruta de prueba 2 al deformarla se rompió por lo que no cumple el criterio antes mencionado.

La viruta de prueba 3 al deformarla se rompió por lo que no cumple el criterio antes mencionado.

La viruta de prueba 4 se deformó y sufrió un desgarre y al aplicar calor no recupero su forma inicial.

La viruta de prueba 5 se deformó y luego se aplicó calor, en donde la viruta está próxima a recuperar su forma inicial.

La viruta de prueba 6 se deformó y luego se aplicó calor, donde la viruta recupero su forma inicial. **Por lo tanto la aleación de la prueba 6 se considera como una aleación con memoria de forma.**

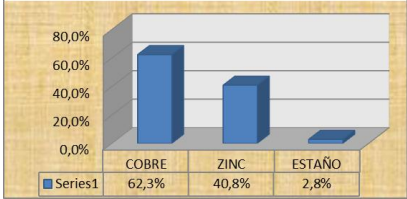
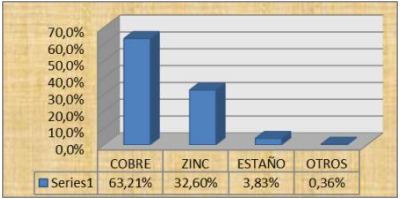
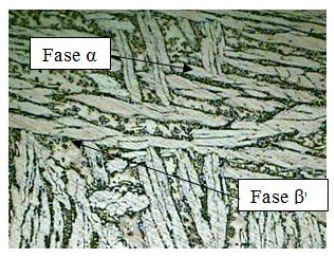
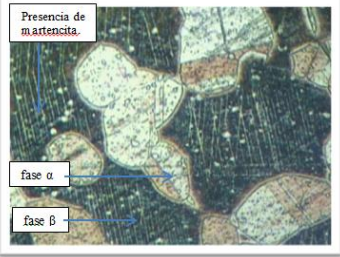



4.3. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

H₀: La caracterización de la aleación CuZnSn no permitirá desarrollar productos para la industria.

H₁: La caracterización de la aleación CuZnSn permitirá desarrollar productos para la industria.

En la tabla 4-24 se muestra un resumen de la prueba 6 en la consta el resultado del análisis químico, análisis metalográfico, análisis de dureza, análisis de tracción, ensayo charpy y el ensayo de memoria de forma.

Tabla 4-24: Resumen prueba 6.

RESUMEN PRUEBA 6																
ELEMENTOS DE FUNDICIÓN																
Antes de fundir (Elementos iniciales)	Después de fundir (Análisis químico)															
 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>COBRE</td> <td>ZINC</td> <td>ESTAÑO</td> </tr> <tr> <td>62,3%</td> <td>40,8%</td> <td>2,8%</td> </tr> </table>	COBRE	ZINC	ESTAÑO	62,3%	40,8%	2,8%	 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>COBRE</td> <td>ZINC</td> <td>ESTAÑO</td> <td>OTROS</td> </tr> <tr> <td>63,21%</td> <td>32,60%</td> <td>3,83%</td> <td>0,36%</td> </tr> </table>		COBRE	ZINC	ESTAÑO	OTROS	63,21%	32,60%	3,83%	0,36%
COBRE	ZINC	ESTAÑO														
62,3%	40,8%	2,8%														
COBRE	ZINC	ESTAÑO	OTROS													
63,21%	32,60%	3,83%	0,36%													
ANÁLISIS METALOGRAFICO																
Sin templar	Templada (850°C)															
 <p style="text-align: center;"><i>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 10s</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>Aleación CuZnSn, 100x, aleaciones de cobre, 50s</i></p>															
ANÁLISIS DE DUREZA																
Sin templar	Templada (850°C)															
80,1HRB	89,7HRB															
ANÁLISIS DE TRACCIÓN																
ϵ (%)	% red. Área (%)	Sut (Kg/mm ²)														
3,746	2,934	22,528														
ENSAYO CHARPY																
Resistencia al impacto: 20,8 joules																
ENSAYO DE MEMORIA DE FORMA																
 <p style="text-align: center;"><i>Viruta en su forma inicial</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>Viruta deformada</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>Viruta luego de aplicar calor</i></p>														
A la viruta se deformó y luego se aplicó calor en el cual la viruta recupera su forma inicial.																

Fuente: (El Autor).

Tomando en cuenta los resultados de los ensayos químicos, análisis metalográficos, análisis de dureza, análisis de tracción, ensayo charpy, ensayo de la memoria de forma se ha determinado que la aleación **63,21% Cu – 32,6% Zn – 3,83% Sn. La cual se comporta como una aleación inteligente con memoria de forma que al deformarlo y aplicar calor recupera su forma original.**

Planteamiento de un aplicación para la aleación 63,21%Cu – 32,6%Zn – 3,83%Sn.

La aleación inteligente con memoria de forma CuZnSn con la composición 63,214%Cu - 32,598%Zn - 3,832%Sn, que al deformarlo y aplicar calor recupera su forma original, es apta para algunas aplicaciones.

Se optó por realizar un acople para tubería de cobre de ½ in de diámetro, lo cual funcionara de la siguiente manera:

Primeramente se debe mecanizar una manga con un diámetro interno aproximadamente el 3% menor al diámetro externo de la tubería, luego se enfría hasta la temperatura de transformación martensítica y se expande radialmente 7% aproximadamente, lo suficiente para insertar los dos tubos en los dos extremos del acoplamiento. En el momento que se sube la temperatura a unos 150°C aproximadamente su diámetro interior vuelve al tamaño antes de la expansión, y los extremos de los dos tubos están fuertemente unidos.

Procedimiento:

1. Con la ayuda de un torno mecanizamos el acople (*plano en el anexo F*), el cual tiene un diámetro interior de 3% menos que el diámetro exterior de la tubería de cobre (D.E:12,7mm) y un tapón con un diámetro de 7% más grande que el diámetro interior del acople.



Figura 4-51: Acople (SMA base cobre) y tapón.

Fuente: (El Autor)

2. Realizar el tratamiento térmico de temple al acople.



Figura 4-52: Temple del acople.

Fuente: (El Autor)

3. A la temperatura de temple (-2°C) proceder a expandir radialmente los dos extremos del acople con la ayuda del tapón, para ejercer presión se utilizó una entenalla.



Figura 4-53: Expansión del acople.

Fuente: (El Autor)

4. Introducir la tubería en los dos extremos del acople.



Figura 4-54: Introducción de la tubería en el acople.

Fuente: (El Autor)

5. Calentar el acople aproximadamente a 150°C, en el cual el diámetro interior vuelve al tamaño antes de la expansión, y los extremos de los dos tubos están fuertemente unidos.



Figura 4-55: Calentamiento del acople.

Fuente: (El Autor)



Figura 4-56: Tubería de cobre unida por medio del acople (SMA base cobre).

Fuente: (El Autor)

6. Para verificar el acoplamiento se probó con fluido (aire) a las siguientes presiones 30, 40, 50, 60 psi. El acople soportó perfectamente dichas presiones.



Figura 4-57: Prueba del acople a diferentes presiones

Fuente: (El Autor)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Para el análisis estadístico se empleara la **distribución t** (de student), ya que surge del problema de estimar la media de una población cuando el tamaño es pequeño (población pequeña < 30 sujetos).

Distribución t para el porcentaje de elongación de la prueba 6.

Se realizó el análisis estadístico del porcentaje de elongación ya que es una propiedad importante que caracteriza a las aleaciones con memoria de forma.

Ensayo de hipótesis.

Según (Fanakubo, 1987), la comparación de la aleación NiTi/CuZnAl, la aleación NiTi tiene un porcentaje de alargamiento máximo de 8% y mientras que la aleación CuZnAl tiene un porcentaje de alargamiento máximo de 4%.

Según (Espín, 2012), en la aleación CuZnAl en la prueba 4.1 templada el porcentaje de alargamiento es de 4,23% y en la prueba 5 templada el porcentaje de alargamiento es de 3,65%.

Al comparar la aleación (63,21%Cu – 32,6%Zn – 3,83%Sn) obtenida en este estudio tiene un porcentaje de alargamiento de 3,75% el cual se encuentra aproximadamente cercano a los valores mencionados en las referencias anteriores para lo cual se lo compara estadísticamente.

Para lo cual se ha tomado un porcentaje de alargamiento de: $\mu = 4\%$

Valores del porcentaje de elongación: 3,98; 3,93; 3,54; 3,74; 3,54; 3,75.

$$H_1; \mu = 4\%$$

$$H_0; \mu \neq 4\%$$

Regla de decisión.

$\alpha = 0,05\%$, grado de libertad = 4.

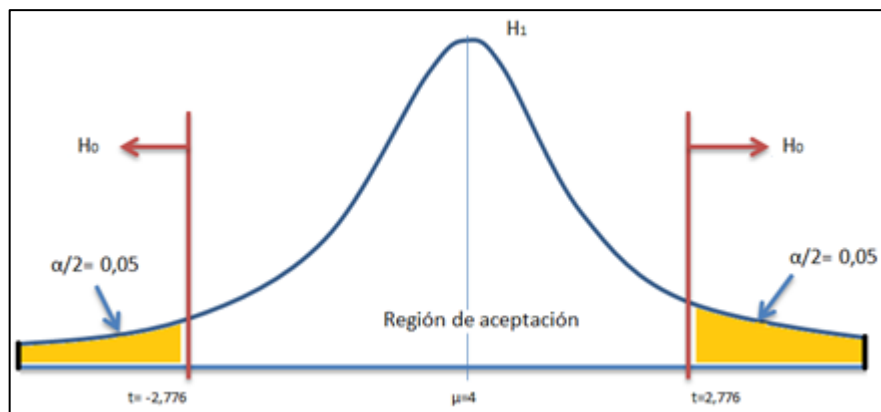
Si $-2,776 \leq t \leq 2,776$ No se rechaza H_1

Si $t < -2,776$ o $t > 2,776$ No se rechaza H_0

Cálculos. $\bar{x} = 3,75$ $S = 0,2074$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} = 0,043$$

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}} = -2,69$$



Como Si $-2,776 \leq -2,69 \leq 2,776$ por lo tanto, no se rechaza H_1 y se concluye con un nivel de significancia del 0,05.

Por lo mencionado anteriormente queda demostrada la hipótesis H_1 .

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

- En la prueba 1, con 2000 gramos de cobre cargados en el crisol no se alcanzó la temperatura de fusión del metal base (el cobre) cuya temperatura de fusión es de 1084,62°C, debido a que el crisol fabricado artesanalmente no permitía alcanzar el poder calorífico necesario para la fundición, por consiguiente no se realizó la aleación de la prueba 1.
- En la prueba 2, como elementos aleantes se utilizó 1920g de cobre, 1620g de zinc, 60g estaño, con lo que se obtuvo la aleación CuZnSn con la siguiente composición 56%Cu - 40,63%Zn - 1,93%Sn, en la cual adicionalmente está la presencia de 1,44% de otros elementos lo cual es demasiada impureza para la aleación.
- En lo que respecta a la microestructura metalográfica y la dureza de la prueba 2 (aleación 56%Cu - 40,63%Zn - 1,93%Sn - 1,44%Otros), la muestra sin templar presenta una microestructura metalográfica con presencia de fase β' (matriz) y fase α con dureza de 82,3HRB, mientras que en la muestra templada la microestructura metalográfica presenta fase β con dureza de 83,8HRB.
- En la prueba 3, como elementos aleantes se utilizó 1920g de cobre, 1470g de zinc, 60g de estaño, en donde la aleación obtenida tiene la siguiente composición 52,99%Cu - 42,82%Zn - 3,86%Sn, la cual tiene una excedencia de zinc, en la cual al observar la microestructura metalográfica sin templar se tiene presencia de fase β' (matriz) y precipitados de fase α ,

mientras que en la microestructura templada se puede observar presencia de fase β .

- En el ensayo de dureza de la prueba 3 (aleación 52,99%Cu – 42,82%Zn – 3,86%Sn), la muestra templada tuvo un incremento en la dureza de 12,1HRB con respecto a la muestra sin templar.
- En lo que respecta la prueba 4, como elementos aleantes se utilizó 1869g de cobre, 1341g de zinc y 90g de estaño, obteniendo una aleación con la siguiente composición 58,88%Cu – 37,66%Zn – 3,25%Sn, teniendo una microestructura metalográfica sin templar en la que se observa la presencia de fase β' (matriz) y fase α , y en la microestructura templada se puede observar presencia de fase β . La dureza sin templar es de 79,8HRB mientras que la dureza templada es de 89,2HRB incrementándose al templar en 9,4HRB.
- Para el ensayo de tracción de la prueba 4 (aleación 58,88%Cu – 37,66%Zn – 3,25%Sn) se utilizaron muestras templadas donde se obtuvo los siguientes resultados: un porcentaje de alargamiento de (0,97%), un porcentaje de reducción de área de (1,13%) y resistencia última a la tracción de (17,76 Kg/mm²).
- En la prueba 5, como elementos aleantes se utilizó 1869g de cobre, 1200g de zinc, 90g de estaño, obteniendo la aleación con una composición de 63,71%Cu – 31,99%Zn – 3,99%Sn, donde la microestructura sin templar tiene presencia de fase β' (matriz) y fase α , mientras que en la microestructura templada a 900°C se puede observar presencia de fase β y precipitados de fase α ; en la microestructura templada a 850°C se puede observar presencia de fase β , fase α alargada con presencia de martensita; en la microestructura templada a 750°C se puede observar presencia de fase β y fase α circular; siendo el temple más óptimo a 850°C enfriado en solución salina al 10%.

- La prueba 5 (aleación 63,71%Cu – 31,99%Zn – 3,99%Sn), en el ensayo de tracción con muestras templadas a 850°C enfriado en solución salina se obtuvo como resultado un porcentaje de alargamiento de (2,81%), un porcentaje de reducción de área de (1,88%) y resistencia última a la tracción de (23,47 Kg/mm²).

- En la prueba 6, como elementos aleantes se utilizó 1869g de cobre, 1225,2g de zinc, 84,5g de estaño, de la cual se presenta los siguientes resultados:
 - Aleación Cu-Zn-Sn con composición química de 63,21%Cu – 32,6%Zn – 3,83%Sn.
 - La pérdida de zinc por evaporación y oxidación es 6,14% aproximadamente.
 - La microestructura sin templar tiene la presencia de fase β' (matriz) y fase α alargada, mientras que en la microestructura templada se tiene la presencia de fase β, fase α y martensita.
 - Tiene un porcentaje de alargamiento de (3,75%), un porcentaje de reducción de área de (2,93%) y resistencia última a la tracción de (22,53 Kg/mm²).
 - Es una aleación inteligente con memoria de forma que al deformarlo y aplicar calor recupera su forma original.

- En el ensayo Charpy la prueba 4 (aleación 58,88%Cu – 37,66%Zn – 3,25%Sn), se alcanzó una resistencia al impacto de 15,6 joules; mientras que la prueba 5 (aleación 63,71%Cu – 31,99%Zn – 3,99%Sn) y la prueba 6 (aleación 63,21%Cu – 32,6%Zn – 3,83%Sn) tienen valores similares con una diferencia de 0,2 joules siendo 20,6 y 20,8 joules respectivamente.

- Para realizar la aleación se tomó en cuenta el punto de fusión y evaporación de los elementos a fundir, para lo cual se empezó fundiendo en primer lugar el elemento que tenía el punto más alto de fusión en este caso el cobre (punto de fusión 1084,62°C), luego el zinc (punto de fusión

420°C) y por último el estaño (punto de fusión 232°C), y para disminuir el choque térmico el zinc se precalentó a 350°C.

- Se recubrió con manta cerámica no combustible la parte externa del crisol logrando aumentar la eficiencia y disminuyendo las pérdidas de colada por adhesión a la pared del crisol.
- Según la caracterización de la aleación (63,21%Cu – 32,6%Zn – 3,83%Sn) se podría dar algunas utilidades, como puede ser accesorios de lámparas, cerrojos, uniones de tubería, fusibles, sensores térmicos.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Verificar que los equipos del laboratorio que se vaya a utilizar se encuentren en buen estado y debidamente calibrados, para evitar resultados erróneos.
- Se debe utilizar el adecuado equipo de protección personal (guantes, mandil, calzado de cuero, casco, gafas oscuras) para realizar la fundición, para evitar quemaduras, deslumbramientos, aspirar gases, etc.
- Preparar la superficie de las probetas correctamente de tal manera que no exista rayones en la superficie a analizar para los ensayos metalográficos, de dureza y químico. Para tener una mejor apreciación de los resultados.
- Para el análisis metalográfico durante el pulido se debe mantener una corriente de agua permanente, para evitar que se caliente la superficie de la probeta en estudio.
- Al realizar el corte de las probetas se debe tratar que no se recaliente la superficie, ya que al calentarse la superficie de la probeta puede variar las propiedades e incurrir en resultados erróneos.

- El Cu, Zn y Sn deben ser de un alto grado de pureza para obtener un material aleado de alta calidad.
- Es importante comenzar a fundir primero el metal que tenga el más alto punto de fusión.
- Para evitar que se adhiera el metal en las paredes del crisol se debe aislar la parte externa del crisol con manta cerámica no combustible.
- En el momento que se añade el zinc simultáneamente se debe tapar el crisol que estaba previamente con cobre en estado líquido para evitar salpicaduras del metal líquido.
- Es importante precalentar el zinc a unos 300°C para que no exista un elevado choque térmico.
- Se debe tener en cuenta las pérdidas de zinc por oxidación y evaporación para obtener la aleación con los porcentajes deseados.

CAPÍTULO VI

6. PROPUESTA

Elaborar un procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn-Sn (63,214%Cu - 32,598%Zn - 3,832%Sn).

6.1. DATOS INFORMATIVOS.

El estudio de la aleación con memoria de forma CuZnSn, se realizó en la provincia de Tungurahua, en el cantón Ambato, en la Universidad Técnica de Ambato, en el campus de Huachi Chico, en los laboratorios de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

La aleación con memoria de forma CuZnSn por tratarse de un material del cual se tiene muy pocos datos de su proceso de fabricación y como también de sus propiedades, por lo que el estudio se ha centrado en obtener la aleación inteligente CuZnSn en el cual se analiza sus propiedades.

La aleación con las mejores propiedades que se obtuvo es (63,214%Cu - 32,598%Zn - 3,832%Sn). La cual es una aleación inteligente con memoria de forma que al deformarlo y aplicar calor recupera su forma original.

6.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.

En investigaciones anteriores se ha realizado estudios de aleaciones similares con las combinaciones de elementos como CuZnAl, CuAlNi, CuZn, etc. Pero es complicado encontrar investigaciones con la combinación CuZnSn donde detallen sus propiedades, además existe variantes en la composición y el tipo de tratamiento térmico para obtener la aleación con memoria de forma.

6.3. JUSTIFICACIÓN.

El presente trabajo investigativo está enfocado a definir un procedimiento en el cual se detalle paso a paso de cómo se elabora la aleación inteligente con memoria de forma CuZnSn (63,214%Cu - 32,598%Zn - 3,832%Sn en peso) que al deformarlo y aplicar calor recupera su forma original, con el fin de garantizar su fabricación manteniendo su composición y propiedades.

Por otro lado es importante implementar información con datos reales de algunas propiedades acerca del material inteligente con memoria de forma CuZnSn, como las que se obtienen del ensayo de dureza, tracción, impacto y metalográfico.

6.4. OBJETIVOS.

6.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Elaborar un procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma CuZnSn (63,214%Cu - 32,598%Zn - 3,832%Sn).

6.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir los pasos a seguir para la preparación de la aleación inteligente con memoria de forma 63,214%Cu - 32,598%Zn - 3,832%Sn.
- Realizar los procedimientos para el ensayo de tracción, ensayo de dureza, ensayo de impacto y análisis metalográfico.

6.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.

La propuesta es factible realizarlo ya que se encuentra dentro del área de ingeniería de materiales, la cual es complementada con los ensayos realizados en el capítulo IV.

Al analizar que se cuenta con los equipos y herramientas necesarias en la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi, en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, se determinó que es viable poder ejecutar la propuesta.

Los laboratorios cuentan con los siguientes equipos que son fundamentales para ejecutar la propuesta como son: horno de inducción, equipo para análisis metalográfico, durómetro, torno, horno de mufla, máquina universal, entre otros.

El recurso humano como el autor y los ayudantes de laboratorio aportaron para la culminación de los ensayos que son de vital importancia para la propuesta.

6.6. FUNDAMENTACIÓN.

La información necesaria para la elaboración de la propuesta se encuentra detallada en los capítulos: II (Marco teórico) y IV (Análisis e interpretación de resultados).

El análisis e interpretación de resultados ha sido de gran importancia ya que mediante los ensayos realizados se ha ido recolectando apuntes, fotografías, etc; de los procedimientos realizados que ha sido de vital importancia para la elaboración de la propuesta.

6.7. METODOLOGÍA.

Para llevar a cabo el estudio se desarrolló varios procesos los cuales se describen a continuación:



Procedimiento para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma CuZnSn.

1. Objetivo:

Establecer los distintos procedimientos a realizarse para la obtención de la aleación inteligente con memoria de forma 63,214%Cu 32,598%Zn 3,832%Sn para estudiar sus propiedades.

2. Alcance:

Este procedimiento está desarrollado para la elaboración de la aleación inteligente con memoria de forma 63,214%Cu 32,598%Zn 3,832%Sn y para el estudio de sus propiedades.

3. Documentación de referencia:

El desarrollo del presente procedimiento se encuentra sustentado en parte en el capítulo II y IV.

4. Generalización:

La industria demanda día a día productos para el desarrollo tecnológico, en este caso tenemos los materiales inteligentes del cual la presente investigación se ha centrado en la aleación CuZnSn (63,214%Cu 32,598%Zn 3,832%Sn en peso) que al deformarlo y aplicar calor recupera su forma original. De la cual se estudió algunas propiedades.

5. Realización:

El proceso para la elaboración de la aleación se ha centrado en los siguientes ítems:

- Moldeo en arena.
- Preparación de la materia prima.
- Equipo de seguridad.
- Preparación y configuración del horno de inducción.
- Preparación y colocación del aislamiento térmico del crisol.
- Carga del horno (con: cobre, zinc, estaño.)
- Homogenización de la colada.
- Vaciado de la colada en el molde.
- Desmolde.
- Mecanizado de probeta.
- Tratamiento térmico.
- Ensayo químico.
- Ensayo de tracción.
- Ensayo de dureza.
- Ensayo charpy (de impacto).
- Ensayo metalográfico.

5.1. Moldeo en arena.

1. Construir un modelo de la pieza que se desea obtener el molde, en este caso son dos ejes de 1 pulgada de diámetro por 12 pulgadas del largo. Los cuales tienen un corte longitudinal y se les une por medio de tornillos.



Figura 6-1: Modelos de madera (tipo eje).

Fuente: (El Autor)

2. Construir una caja de moldeo, de las siguientes dimensiones básicas (ancho: 14in, profundidad: 14in, alto: 10in). Tanto para el molde macho como para el molde hembra.



Figura 6-2: Caja de moldeo.

Fuente: (El Autor)

3. Colocar la caja de moldeo hembra con las ranuras u orejas hacia abajo en una superficie lisa.



Figura 6-3: Modelos de madera (tipo eje).

Fuente: (El Autor)

- Colocar el modelo en el centro de la caja de moldeo, con una inclinación de 45° grados.



Figura 6-4: Colocación de los modelos en la caja de moldeo hembra.

Fuente: (El Autor)

- Agregar una fina capa de polvo separador o de arena seca.



Figura 6-5: Colocación de una capa fina de arena.

Fuente: (El Autor)

6. Desmenuzar la arena.



Figura 6-6: Desmenuzado de la arena.

Fuente: (El Autor)

7. Preparar la arena con un contenido de humedad de (7%) o se debe aplicar el método del puño para determinar la humedad adecuada de la arena de moldeo.



Figura 6-7: Aplicación del método del puño.

Fuente: (El Autor)

8. Agregar arena cernida sobre el modelo. (se lo debe cernir en una criba fina para separar los grumos).



Figura 6-8: Colocación de una capa de arena de moldeo sobre los modelos.

Fuente: (El Autor)

9. Una vez que se haya añadido una capa de ± 5 centímetros, se debe comprimir la arena alrededor de la caja utilizando una paleta y luego se lo va comprimiendo hacia el centro.



Figura 6-9: Compactación de la arena de moldeo.

Fuente: (El Autor)

10. Completar la caja con arena cernida en una criba más gruesa, la arena añadida debe sobrepasar ± 5 centímetros de los bordes, la cual se debe comprimir desde los alrededores hacia el centro.

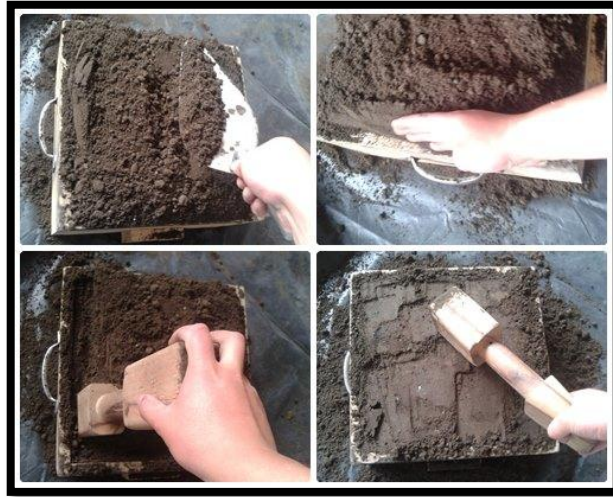


Figura 6-10: Llenado y compactado de la arena de moldeo.

Fuente: (El Autor)

11. Aplanar la superficie de la caja de moldeo sacando la arena sobrante con un perfil plano.



Figura 6-11: Sacado de la arena sobrante.

Fuente: (El Autor)

12. Dar vuelta la caja de moldeo tratando de que no se caiga el modelo y completar la otra parte del modelo.



Figura 6-12: Colocación de la segunda parte de los modelos.

Fuente: (El Autor)

13. Colocar la caja de moldeo macho sobre la caja de moldeo hembra.



Figura 6-13: Colocación de la caja de moldeo macho.

Fuente: (El Autor)

- Colocar una fina capa de polvo separador o arena seca.



Figura 6-14: Colocación de una fina capa de arena seca.

Fuente: (El Autor)

- Colocar los bebederos distribuidos uniformemente, por cada capa de arena que se agregue se debe ir apisonando alrededor de los bebederos.



Figura 6-15: Colocación de los bebederos y una capa de arena de moldeo.

Fuente: (El Autor)

16. Repetir los pasos 8, 9, 10, 11.
17. Dando unos pequeños golpes alrededor de los bebederos se los afloja para sacarlos.



Figura 6-16: Sacando los bebederos.

Fuente: (El Autor)

18. Levantar suavemente la parte superior de la caja y sacar el modelo dando unos pequeños golpes.

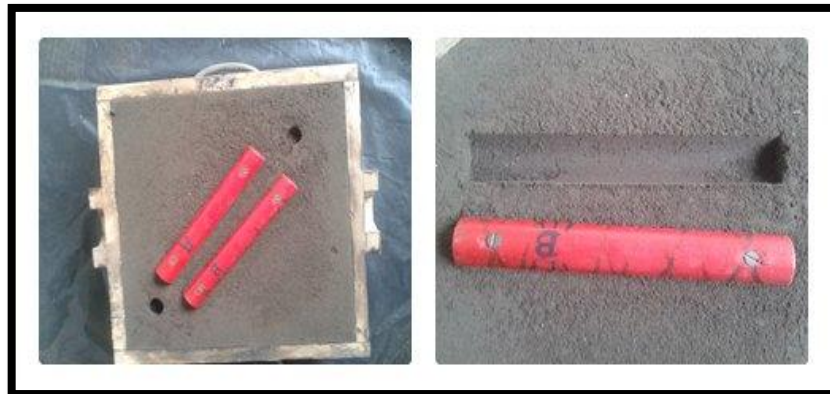


Figura 6-17: Sacando los modelos.

Fuente: (El Autor)

19. Con una espátula realizar los canales de comunicación entre los bebederos y el modelo, todo este proceso se debe hacer con el mayor cuidado posible tratando de no dañar el molde.



Figura 6-18: Realizando los canales para los bebederos.

Fuente: (El Autor)

20. Con un soplador o con aire comprimido a una presión baja se debe retirar todas las partículas de arena que se encuentran sueltas en el molde.
21. Con un quemador se seca y se calienta las caras del molde aproximadamente unos 5 minutos.

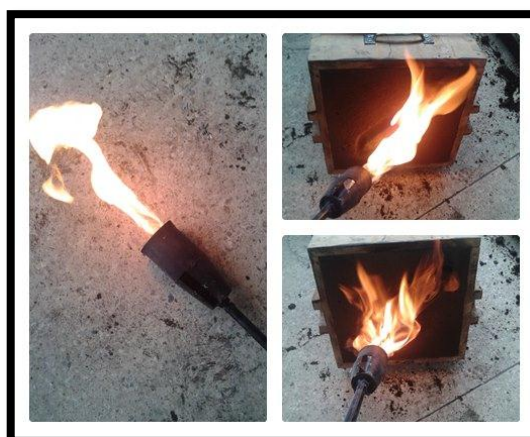


Figura 6-19: Secado y calentado de molde de arena.

Fuente: (El Autor)

22. Se ensamblan nuevamente los moldes y está listo.



Figura 6-20: Molde de arena terminado.

Fuente: (El Autor)

5.2. Preparación de la materia prima.

Los materiales utilizados son de alta pureza.

1. Cortar el cobre, el zinc, el estaño en pequeños pedazos de manera que quepa en el crisol de tamaño A6.
2. Pesar cada uno de los elementos con la cantidad especificada en la tabla 6-1 para la aleación (63,214% Cu 32,598% Zn 3,832% Sn).



Figura 6-21: Pesado de elementos.

Fuente: (El Autor)

Tabla 6-1: Elementos aleantes para obtener la aleación (63,214%Cu - 32,598% - Zn 3,832%Sn).

ELEMENTOS	CANTIDAD EN GRAMOS
COBRE	1869 g
ZINC	1225,2 g
ESTAÑO	84,5 g

Fuente: (El Autor).

5.3. Preparación del equipo de seguridad.

1. Verificar que todo el equipo de seguridad personal este en perfecto estado (casco, gafas, guantes, mandil, calzado).
2. Verificar que no exista elementos combustibles cerca del horno de inducción.
3. Verificar que los extintores estén cargados y funcionando perfectamente para cualesquier necesidad (extintor para fuegos de clase ABC y clase D).

5.4. Preparación y configuración del horno de inducción.

1. Verificar las conexiones eléctricas estén en buen estado.
2. Prender la bomba para que circule el agua y verificar que la presión y el caudal sea el adecuado y también se debe verificar que no exista fugas de agua. (caudal: 6LPM, presión: 2MPa).

Si esta todo de acuerdo a lo indicado anteriormente se procede al siguiente paso.

3. Encender el horno de inducción y verificar que no se active ninguna alarma.
4. Configurar los tiempos de calentamiento, permanencia y enfriamiento en el horno de inducción.

Tiempo de calentamiento: 20 (s)

Tiempo de permanencia: 20 (s)

Tiempo de enfriamiento: 10 (s)

Nota: Estos tiempos es de acuerdo al material que se va a fundir.

5.5. Preparación y colocación del aislamiento térmico del crisol.

1. Si es un crisol nuevo para preparar se debe seguir las recomendaciones del fabricante (*preparación del crisol A6 revisar el anexo D*).
2. Una vez preparado el crisol se le aísla con manta cerámica no combustible, como se indica en la figura. (el aislamiento es para mantener una temperatura más uniforme en el crisol).



Figura 6-22: Crisol forrado con manta cerámica.

Fuente: (El Autor)

3. Se procede a colocar el crisol en la bobina.



Figura 6-23: Colocación del crisol en la bobina.

Fuente: (El Autor)

5.6. Carga del horno de inducción.

1. A continuación se procede a poner en marcha el horno de inducción en potencia media (700- 800 Amperios) para precalentar el crisol.
2. Una vez precalentado el crisol (de 700-800 Amperios) aproximadamente de 2-4 minutos, se realiza la primera carga del crisol y se procede a incrementar la potencia del horno para alcanzar una temperatura de 1083°C para lograr la fusión del cobre.
3. Esperar unos minutos para que baje la carga conforme se va fundiendo para continuar cargando el crisol con cobre hasta completar la cantidad especificada.



Figura 6-24: Crisol en la bobina con cobre fundido.

Fuente: (El Autor)

4. Luego de que el cobre este fundido completamente proceder a colocar el zinc. (el zinc debe estar precalentado previamente aprox. a 300°C).



Figura 6-25: Adición de zinc en el cobre previamente fundido.

Fuente: (El Autor)

Nota: El zinc se debe añadir con precaución puesto que tiene un bajo punto de fusión (419,5°C) y al entrar en contacto con el cobre una parte de zinc se evapora formando una nube de vapor y óxido de zinc.

Para disminuir un poco dicha reacción se debe colocar una tapa de grafito sobre el crisol.

5. Por ultimo añadir el estaño.



Figura 6-26: Adición de estaño para completar la aleación CuZnSn.

Fuente: (El Autor)

5.7. Homogenización de la colada.

1. Se debe verificar que los tres elementos se encuentren fundidos en su totalidad.
2. Con una barra de grafito se agita la colada para asegurar que se mezcle bien los elementos.



Figura 6-27: Agitado de la colada.

Fuente: (El Autor)

5.8. Vaciado de la colada en el molde.

1. El vaciado se lo hace directo del crisol a las cajas que están con los moldes de arena.



Figura 6-28: Vaciado de la colada en los moldes.

Fuente: (El Autor)

2. Una vez vaciado el crisol se procede a apagar el horno pero sin interrumpir la circulación del agua durante unos 15 minutos.

5.9. Desmoldeo

1. Con un poco de cuidado separar las cajas de moldeo y sacamos las probetas.



Figura 6-29: Desmolde.

Fuente: (El Autor)

5.10. Mecanizado de las probetas

1. Para la elaboración de las probetas para el ensayo de tracción se utilizó las especificaciones de la norma ASTM-E8 (*Anexo E1*).

Probeta en su estado inicial antes de mecanizar.



Figura 6-30: Ejes de la Aleación CuZnSn.

Fuente: (El Autor)

El mecanizado de la probeta se realiza siguiendo las especificaciones de la norma ASTM-E8.

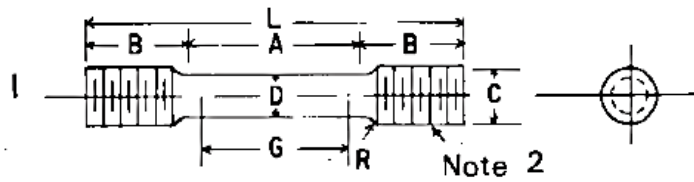


Figura 6-31: Dimensiones de las probetas para el Ensayo de Tracción espécimen 1 según la Norma ASTM E8-01.

Fuente: Norma ASTM E8-01, pág. 7

Tabla 6-2: Dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción espécimen 1.

Designación	Sección	Dimensión (pulgadas)
G	Longitud de calibre	2,00 +/-0,005
D	Diámetro	0,500 +/-0,010
R	Radio del filete, mínimo	3/8
A	Longitud de la sección reducida	2 ¼ , min
L	Longitud total, aproximada	5
B	Longitud del fin de sección	1 3/8, aproximadamente
C	Diámetro del fin de sección	3/4

Fuente: Norma ASTM E8-01, pág. 7

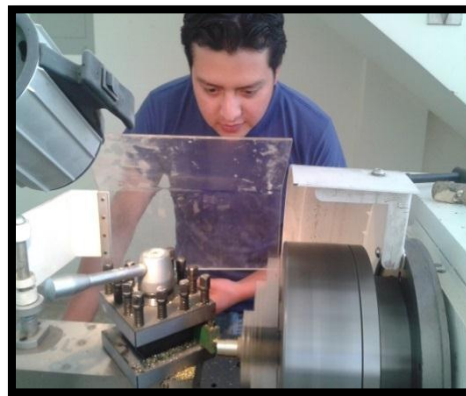


Figura 6-32: Elaboración de probetas de tracción.

Fuente: (El Autor)



Figura 6-33: Probeta maquinada para el ensayo de tracción.

Fuente: (El Autor)

2. Para la elaboración de las probetas del ensayo charpy se utiliza las especificaciones de la norma ASTM-E23 (Anexo E2).

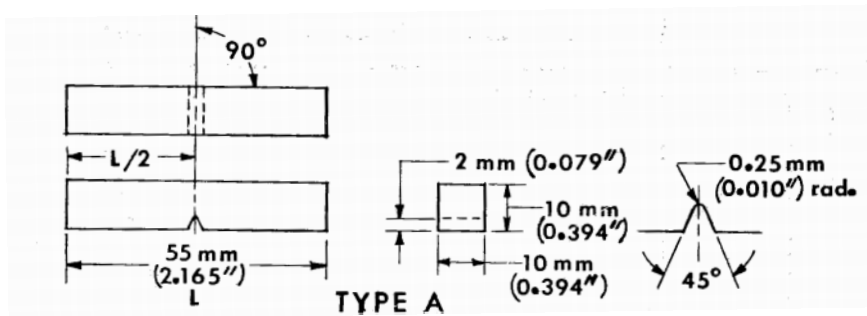


Figura 6-34: Dimensiones de las probetas para el Ensayo charpy - tipo A, según la Norma ASTM E23-00

Fuente: Norma ASTM E23-00, pág. 2

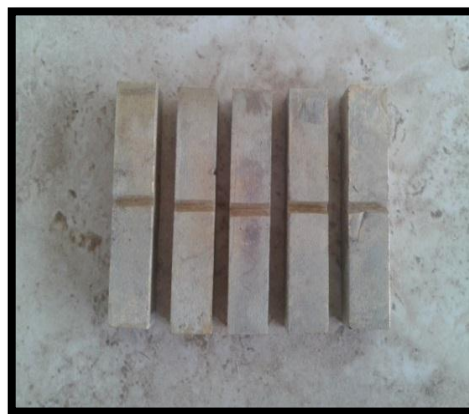


Figura 6-35: Probetas para el ensayo charpy.

Fuente: (El Autor)

5.11. Tratamiento térmico.

1. Para que la aleación 63,214%Cu - 32,598%Zn - 3,832%Sn se comporte como un material inteligente es necesario realizar el temple el cual se realiza en tres pasos: calentamiento controlado a la temperatura del temple, permanencia a esa temperatura, enfriamiento rápido.
2. Ya que no se posee un diagrama ternario Cu-Zn-Sn, se procede a calcular el zinc equivalente para determinar la temperatura de temple mediante el diagrama binario Cu-Zn. En el diagrama binario entramos con el porcentaje de zinc equivalente (39,12), trazamos una línea vertical y luego dos líneas horizontales la primera línea se traza desde que la línea vertical se interseca con las líneas del diagrama (800°C) y la segunda línea vertical a (900°C). Para una correcta transformación se escogió la temperatura de 850°C la cual se encuentra dentro de los límites marcados en el diagrama.

Cálculo del zinc equivalente:

$$Zn_{equiv} = 100\% - Cu\% * \frac{100}{100 + X\% * (k - 1)}$$

$$Zn_{equiv} = 100\% - 63,21\% * \frac{100}{100 + 3,83\% * (2 - 1)}$$

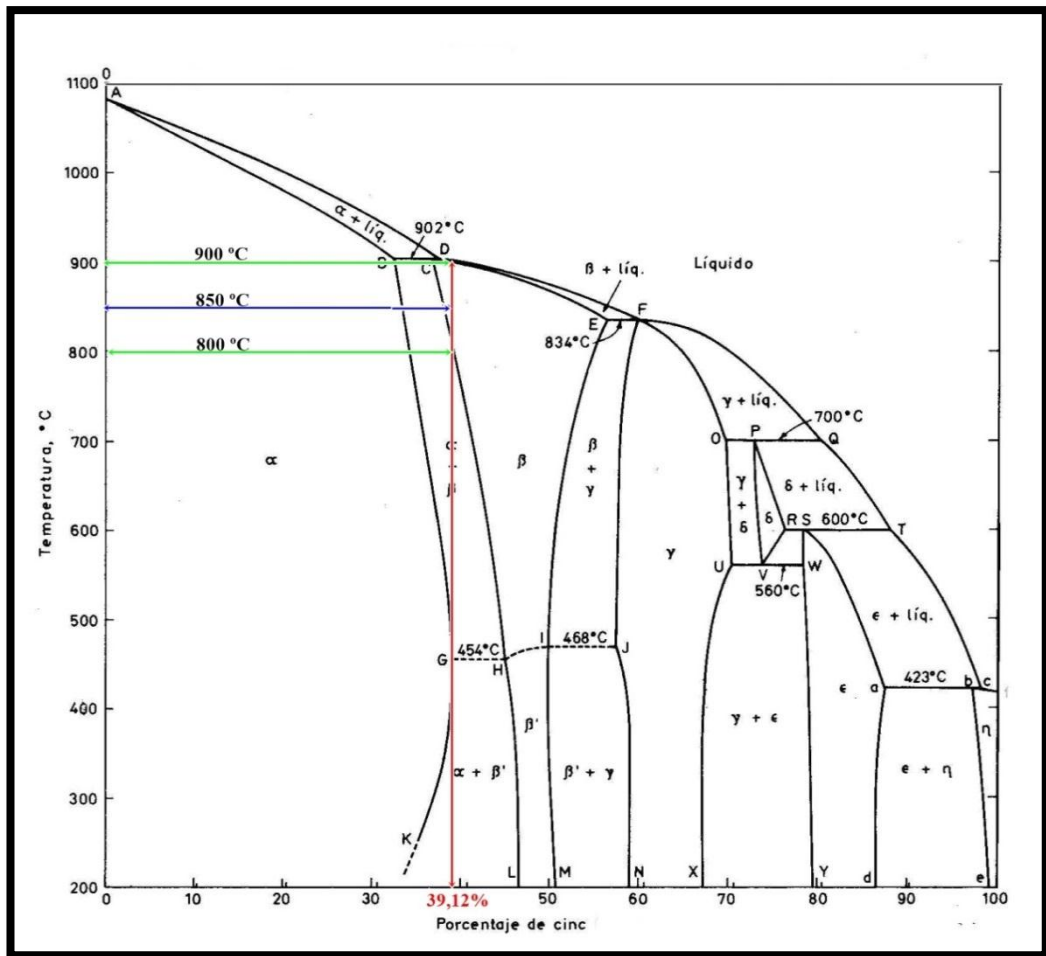
$$Zn_{equiv} = 39,12\%$$

Dónde: X: Es el porcentaje del elemento de adición (3,83 %).

k: Coeficiente de equivalencia en Zn (k para el estaño es: 2).

Cu: 63,21%

Representación del zinc equivalentes en el diagrama binario Cu-Zn.



3. Una vez encontrado la temperatura de temple se procede a calentar las probetas a temperatura controlada en un horno de mufla hasta los 850°C.



Figura 6-36: Probetas en el horno de mufla.

Fuente: (El Autor)

4. Al llegar el horno de mufla a los 850°C entramos a la etapa de permanencia para lo cual por cada pulgada de diámetro debe permanecer una 1 hora a dicha temperatura.
5. A continuación proceder a realizar el proceso de enfriamiento en solución salina al 10% a -2°C de temperatura. (utilizando cubos de hielo)



Figura 6-37: Temple de probetas.

Fuente: (El Autor)

5.12. Ensayo químico.

1. El ensayo se puede realizar en un ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720.



Figura 6-38: Probeta para el análisis químico.

Fuente: (El Autor)

Tabla 6-3: Resultado del análisis químico de la aleación.

ELEMENTOS	CANTIDAD EN PORCENTAJE
Cu	63,214%
Zn	32,598%
Sn	3,832%
Otros	0,356%

Fuente: (El Autor)

5.13. Ensayo de tracción.

Con las probetas preparadas con las dimensiones especificadas de la norma ASTM-E8 y con su respectivo tratamiento térmico se procede a realizar el ensayo de tracción.

1. Realizar la calibración de las probetas, las probetas deben estar calibradas con una longitud de 2 pulgadas para poder ubicar el deformimetro.
2. Luego proceder a colocar la probeta en la máquina universal Tinius Olsen enroscando los extremos de la probeta a los acoples de la máquina universal.



Figura 6-39: Enroscado de los extremos de la probeta a los acoples de la máquina universal.

Fuente: (El Autor)

3. A continuación colocar el deformímetro haciendo coincidir las patas del mecanismo con los puntos de calibración de 2 pulgadas.



Figura 6-40: Colocación del deformímetro haciendo coincidir las patas del mecanismo con los puntos de calibración de 2 pulgadas.

Fuente: (El Autor)



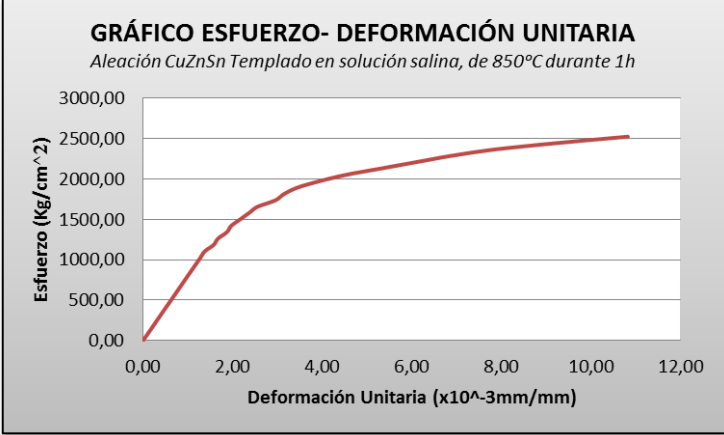
4. Luego aplicar carga hasta que la probeta se rompa, durante el ensayo se toma nota de las mediciones de carga-deformación, los cuales se utiliza para realizar el gráfico esfuerzo-deformación y para realizar los cálculos pertinentes.



Figura 6-41: Probeta rota luego del ensayo en la máquina universal.

Fuente: (El Autor)

MODELO DE FORMATO LLENADO PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
DATOS INFORMATIVOS:			
<i>Tipo de estudio:</i>	<i>De laboratorio</i>	<i>Probeta N°:</i>	<i>6-1</i>
<i>Tratamiento térmico realizado a la probeta:</i>		<i>Temple</i>	
<i>Solicitado por:</i>	<i>Santiago Ilbay</i>	<i>Fecha:</i>	<i>20/07/2014</i>
<i>Centro de Estudio y Análisis:</i>		<i>Laboratorio de ensayo de materiales- UTA</i>	
<i>Realizado por:</i>	<i>Santiago Ilbay y ayudante del laboratorio</i>		
<i>Método aplicado:</i>	<i>Deformación controlada</i>		
<i>Instrumento:</i>	<i>Máquina universal Tinius Olsen capacidad 30 toneladas</i>		
<i>Diámetro de la probeta:</i>	<i>½"</i>	<i>Longitud de calibración</i>	<i>2"</i>
RESULTADOS:			
			
<i>Carga máxima:</i>	<i>3234,6 kg</i>	<i>Carga de ruptura:</i>	<i>3234,6 kg</i>
<i>Cálculo del porcentaje de alargamiento</i>			
$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{52,82 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}} * 100 \rightarrow \varepsilon = 3,98 \%$			
<i>Cálculo del porcentaje de reducción de área</i>			
$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = \frac{126,677 - 122,33}{126,677} * 100 \rightarrow \% \text{reducción} = 3,43\%$			
<i>Cálculo de la resistencia última a la tracción</i>			
$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} \rightarrow S_{ut} = \frac{3234,6 \text{ kg}}{126,677 \text{ mm}^2} \rightarrow S_{ut} = 25,53 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$			
Observaciones: <i>El tipo de falla es irregular</i>			

5.14. Ensayo de dureza.

1. La probeta debe estar lijada y pulida.



Figura 6-42: Probeta pulida.

Fuente: (El Autor)

2. Calibrar el durómetro antes de realizar el ensayo (con penetrador de esfera de 1/16”).
3. Colocar la probeta en el centro de la base del durómetro y calibrar la escala.



Figura 6-43: Probeta colocada en la base del durómetro.

Fuente: (El Autor)

4. Aplicar la carga, para medir dureza rockwell b. (la carga aplicada es 980N).

HRC	1471N	HRB	980N
HRD	980N	HRF	588N
HRA	588N		


Figura 6-44: Dureza Rockwell y su respectiva carga.

Fuente: (El Autor)

5. Esperar que se estabilice la escala de lectura y quitar la carga aplicada.
6. Leer el valor de la dureza (realizar 10 mediciones) y se tabula los datos.



MODELO DE FORMATO LLENADO PARA EL ENSAYO DE DUREZA

Dureza probeta sin templar.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE DUREZA			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	6.1
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	11/07/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	18,5 °C	Radiación:	0,65 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0,12m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA:			
Método:		Rockwell B	
Tipo de penetrador		esfera de 1/16"	
Cantidad de carga aplicada:	980N	Tiempo del ensayo:	15min.
RESULTADO:			
N° de mediciones	Valores	Dureza promedio: 80,1 HRB	
1	79,5		
2	83,0		
3	78,5		
4	80,0		
5	77,5		
6	81,5		
7	83,0		
8	78,5		
9	79,5		
10	80,0		

Dureza probeta templada.

Aleación CuZnSn – templada a 900°C en solución salina al 10%

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO DE DUREZA			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	6.2
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	12/07/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	18,5 °C	Radiación:	0,7 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0,12m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA:			
Método:	Rockwell B		
Tipo de penetrador	esfera de 1/16"		
Cantidad de carga aplicada:	980N	Tiempo del ensayo:	15min.
RESULTADO:			
N° de mediciones	Valores	Dureza promedio: 89,7 HRB	
1	89,5		
2	91,5		
3	91,5		
4	89,0		
5	91,0		
6	87,5		
7	90,0		
8	87,5		
9	90,0		
10	89,5		

5.15. Ensayo charpy.

1. La probeta maquinada de acuerdo a la norma ASTM E-23 colocar en la base del péndulo charpy, la misma que debe quedar anclada en los soportes de la base.



Figura 6-45: Probeta colocada en la base del péndulo charpy.

Fuente: (El Autor)

2. Cuando la probeta está anclada al péndulo Charpy se suelta el martillo en el que se transforma la energía potencial en energía cinética, golpeando la probeta y rompiéndola. En ese instante se toma la medida que se indica en el visor de la máquina.



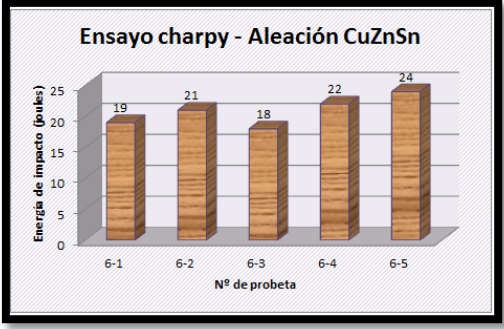


Figura 6-46: Soltando el martillo

Fuente: (El Autor)

3. Se tabula los datos.

MODELO DE FORMATO LLENADO PARA EL ENSAYO DE IMPACTO (CHARPY)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO DE IMPACTO			
DATOS INFORMATIVOS:			
<i>Tipo de estudio:</i>	<i>De laboratorio</i>	<i>Probeta N°:</i>	6-1, 6-2, 6-3, 6-4, 6-5
<i>Tratamiento térmico:</i>	<i>Temple</i>	<i>Temperatura del TT:</i>	850°C
<i>Norma aplicada:</i>	<i>ASTM E 23</i>	<i>Fecha:</i>	14/07/2014
<i>Centro de Estudio y Análisis:</i>		<i>Laboratorio de materiales-UTA</i>	
<i>Realizado por:</i>	<i>Santiago Ilbay</i>		
<i>Método:</i>	<i>Ensayo Charpy</i>		
<i>Temperatura:</i>	<i>17°C</i>	<i>Tiempo del ensayo:</i>	<i>20min</i>
RESULTADOS:			
			
<p><i>Ensayo charpy de la aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%</i></p>			
N°	N° de probeta	Energía de impacto (joule)	Interpretación de resultados: Se ha ensayado con cinco probetas del cual el promedio de la energía de impacto es de 20,8 Joule
1	6-1	19	
2	6-2	21	
3	6-3	18	
4	6-4	22	
5	6-5	24	

4.16. Ensayo metalográfico.

Se prepara una muestra sin tratamiento térmico y con tratamiento térmico.

1. Corte de la probeta, se debe realizar de una forma cuidadosa tratando que no se caliente la muestra durante el corte, ya que el calentamiento cambia las propiedades del material.



Figura 6-47: Corte de probetas para el análisis metalográfico.

Fuente: (El Autor)

2. Luego proceder a acondicionar los bancos de lijas que van desde la siguiente numeración 240-320-400-600-1000-1500-2000 granos por pulgada cuadrada.



Figura 6-48: Preparación del banco de lijas.

Fuente: (El Autor)

3. Luego se acondiciona la superficie de la probeta, la cual se debe ir deslizando sobre las lijas empezando en la lija 240 hasta finalizar en la lija número 2000.

NOTA: *La probeta se debe ir deslizando de arriba hacia abajo y girando periódicamente 90° hasta completar los 360° con un suministro constante de agua.*

- Una vez finalizado el lijado proceder a pulir la probeta para la cual se emplea la pulidora de paño empezando a 350 RPM con un abrasivo de alúmina de $0.5\mu\text{m}$ en suspensión en agua.



Figura 6-49: Pulido de la muestra en pulidora de paño.

Fuente: (El Autor)

- Luego bajar las revoluciones de la pulidora de paño a una velocidad de (200-250RPM). Con el objetivo de borrar las líneas que no se borraron en el paso anterior.

NOTA: *Se debe ir girando la probeta 90° periódicamente para evitar que se formen rabos de cometa y no aplicar mucha fuerza sobre la probeta durante el pulido.*

- Una vez que la superficie de la probeta este tipo espejo proceder a secar la probeta.



Figura 6-50: Secado de las muestras mediante una corriente de aire.

Fuente: (El Autor)

7. A continuación se realiza el ataque químico, para poder observar en el microscopio metalográfico. El reactivo a utilizado es para aleaciones de cobre (20g de FeCl_3 , 5 ml de HCl , 1 g de CrO_2 y 100ml de H_2O destilada), el cual con un gotero se coloca unas gotas sobre la cara de la probeta que se preparó anteriormente por un tiempo 10s hasta que apenas se oscurezca la superficie de la probeta e inmediatamente se le hecha agua para suspender la reacción.



Figura 6-51: Proceso del ataque químico.

Fuente: (El Autor)

8. Proceder a secar la probeta en un secador de aire sin tocar la superficie en la que se realizó el ataque químico.



Figura 6-52: Secado de las muestras mediante una corriente de aire.

Fuente: (El Autor)

9. Colocar la probeta en el microscopio y evaluar el resultado.



Figura 6-53: Probeta en el microscopio.



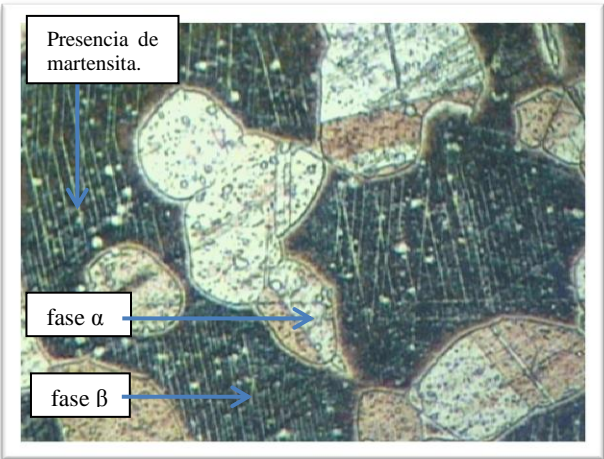
Fuente: (El Autor)

MODELO DE FORMATO LLENADO PARA EL ENSAYO METALOGRAFICO.

Resultado del ensayo metalográfico, probeta sin templar.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRAFICO					
DATOS INFORMATIVOS:					
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	6.1		
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	04/07/2014		
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM			
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.		
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:					
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA				
Temperatura ambiente:	17° C	Radiación:	0,65 W/m ²		
Velocidad del aire:	0,12 m/s	Otros:			
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO:					
Acondicionamiento de la superficie:		Lijado, pulido mecánico			
Temperatura de pulido:	24 ° C	Superficie óptima en:	120 min		
Ataque químico:	Aleaciones de cobre	Durante:	10s.		
RESULTADO:					
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA (100X)					
					
<i>Aleación 63,214%Cu - 32,598%Zn - 3,832%Sn, 100x, aleaciones de cobre, 10s</i>					

Resultado del ensayo metalográfico, probeta templada.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
	ENSAYO METALOGRAFICO		
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Muestra N°:	6.2
Solicitado por:	Santiago Ilbay	Fecha:	05/07/2014
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Santiago Ilbay	Supervisado por:	Ing. Espín S.
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	18,5° C	Radiación:	0,65 W/m ²
Velocidad del aire:	0,12 m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO:			
Acondicionamiento de la superficie:		Lijado, pulido mecánico	
Temperatura de pulido:	24 ° C	Superficie óptima en:	150 min
Ataque químico:	Aleaciones de cobre	Durante:	50s.
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA (100X)			
<p><i>Aleación CuZnSn – templada a 850°C en solución salina al 10%</i></p>			
			
<p><i>Aleación 63,214%Cu - 32,598%Zn - 3,832%Sn, 100x, aleaciones de cobre, 50s</i></p>			

Elaborado por:	Santiago Ilbay	Fecha de elaboración:	12/09/2014
Revisado por:	Ing. Segundo Espín	Fecha de revisión:	26/09/2014
Aprobado por:	Ing. Segundo Espín	Fecha de aprobación:	26/09/2014

6.8. ADMINISTRACIÓN.

A continuación se detalla los costos realizados para el desarrollo del estudio.

Tabla 6-4: Costos de recursos materiales.

RECURSOS MATERIALES				
CANTIDAD	DETALLE	UNIDAD	PRECIO	Valor (USD)
1	Crisol de grafito	u	55,00	55,00
4	Estaño	lb	55,00	220,00
20	Zinc	Kg	5,37	107,40
50	Chatarra de cobre	Kg	2,50	125,00
2	Pliego de lija N° 320	u	0,75	1,50
2	Pliego de lija N° 400	u	0,75	1,50
2	Pliego de lija N° 600	u	0,75	1,50
2	Pliego de lija N° 1500	u	0,75	1,50
2	Pliego de lija N° 2000	u	0,75	1,50
1	Mascarilla protectora de gases	u	30,00	30,00
2	Mandil de cuero	u	7,50	15,00
1	Par de guantes de cuero	u	8,00	8,00
1	Reactivo Químico	frasco	20,00	20,00
½	Alúmina	lb	160,00	80,00
1	Maquinado de probeta de tracción	u	200,00	200,00
1	Ensayos de tracción de probetas	u	160,00	160,00
1	Maquinado de probeta ensayo Charpy	u	40,00	40,00
1	Análisis Químicos	u	250,00	250,00
1	Cuchilla para mecanizar	u	10,00	10,00
1	Sierra truper	u	1,00	1,00
1	Manta cerámica	u	100,00	100,00
			TOTAL 1	1428,90

Fuente: (El Autor).

Tabla 6-5: Costos de recursos humanos.

RECURSOS HUMANOS			
CANTIDAD	DETALLE	PRECIO (Unit)	VALOR (USD)
1	Recolector de Información	70,00	70,00
1	Ayudante para la preparación de la fundición	70,00	70,00
		TOTAL 2	140,00

(Fuente: El Autor).

Tabla 6-6: Costos de recursos varios.

RECURSOS VARIOS			
CANTIDAD	DETALLE	PRECIO (Unit)	Valor (USD)
500	Copias	0,05	25,00
1500	Impresiones	0,10	150,00
2	CD	1,00	2,00
6	Anillados	1,00	6,00
3	Empastados	15,00	45,00
200	Horas de Internet	0,80	160,00
	Transporte	200,00	200,00
6	Comunicación (recargas móviles)	5,00	30,00
2	Caja para almacenamiento de probeta	5,00	10,00
		TOTAL 3	428,00

(Fuente: El Autor).

Tabla 6-7: Costos de recursos económicos totales.

RECURSOS ECONÓMICOS TOTALES	
DETALLE	VALOS (USD)
TOTAL 1	1428,90
TOTAL 2	140,00
TOTAL 3	428,00
SUMATORIA T1+T2+T3	1996,90
IMPREVISTOS 10%	199,69
TOTAL	2196,59

Fuente: (El Autor).

6.9. PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.

Una vez culminado el presente trabajo de investigación se ha determinado que la aleación 63,214%Cu - 32,598%Zn - 3,832%Sn presenta efecto de memoria de forma que al deformarlo y aplicar calor recupera su forma original, el cual debe estar sujeto a un plan de evaluación para mejorar o mantener la caracterización obtenida, también se puede realizar un tratamiento térmico de temple a diferentes temperaturas para estudiar el comportamiento de la aleación mencionada.

Se sugiere tomar en cuenta las conclusiones y recomendaciones presentes en este trabajo para posteriores investigaciones.

Es importante destacar que el trabajo investigativo se realizó en la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi, en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Civil y Mecánica.

6.10. BIBLIOGRAFÍA.

1. Appold, H., Feiler, K., Reinhard, A., & Schmidt, P. (1985). *Tecnología de los metales*. Barcelona: Reverté S.A.
2. Askeland, D. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los materiales*. México: Thomson.
3. ASM Metals Handbook, A. I. (1998). *Volumen 2 Properties and selection: nonferrous alloys and special-purpose materials*. ASM Internacional.
4. Depool, R., & Monasterio, D. (2013). *Probabilidad y estadística*. Recuperado de <http://www.bqto.unexpo.edu.ve/>
5. Donázar, P. (2012). *Estudio de los procesos de ordenamiento en las aleaciones con memoria de forma de Ni₅₀Mn₃₄In₁₆. Analisis de su influencia en las transformaciones magneticas y estructurales y determinación de las energías de activación*. (Tesis de fin de carrera, Universidad Pública de Navarra). Recuperado de <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/6405/577898.pdf?sequence=1>
6. Espín, S. M. (2012). *Estudio de la aleación inteligente con memoria de forma CuZnAl para determinar su aplicación industrial*. (Tesis inédita de maestría).Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
7. Flor, S. (2005). *Simulación numérica y correlación experimental de las propiedades mecánicas en las aleaciones con memoria de forma*. (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña). Recuperado de <http://www.tdx.cat/handle/10803/6863>
8. Gibson Torres, P. C. (2008). *Fabricación y caracterización de una aleacion con memoria de forma CuZnAl para disipadores sísmicos*. (Tesis

de ingeniería, Universidad de Chile). Recuperado de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/gibson_pt/html/index-frames.html

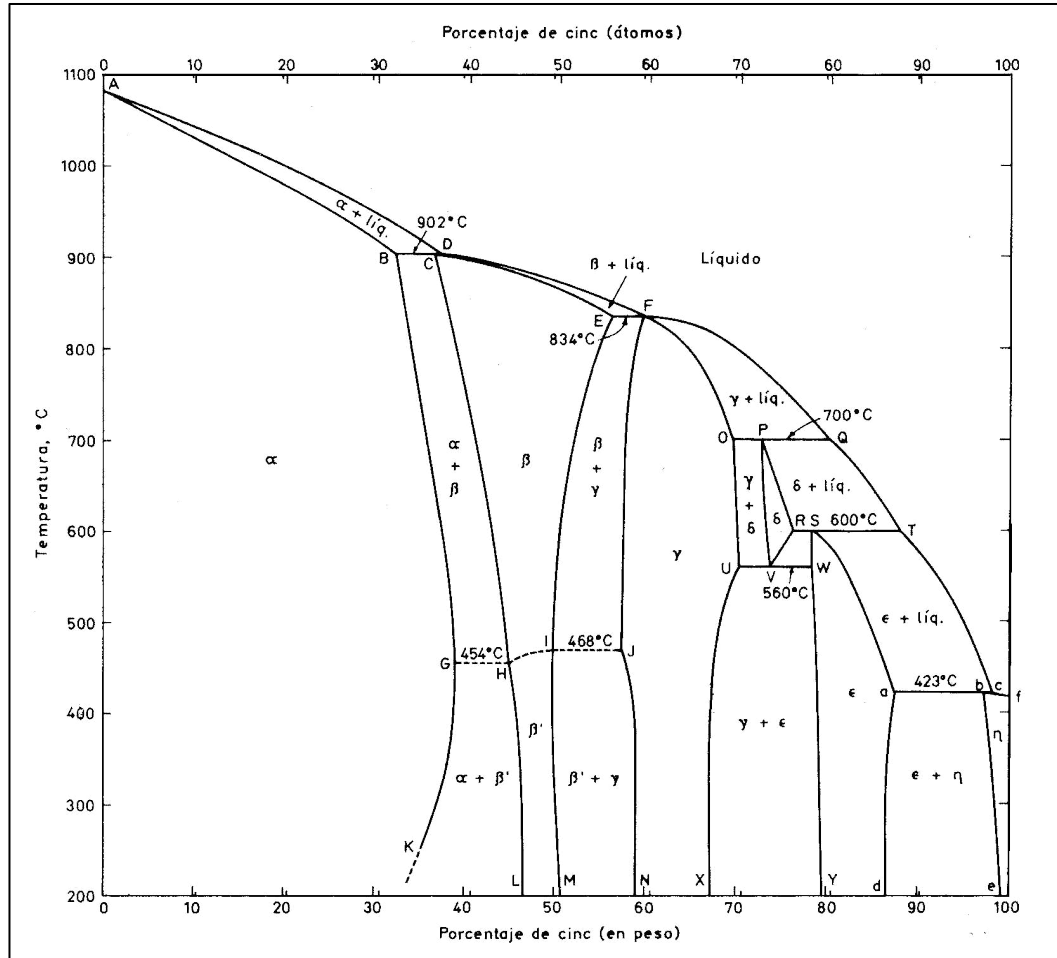
9. Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2002). *Manufactura Ingeniería y Tecnología*. México: Prentice Hall.
10. Moreno, S. (2012). *Cinéticas de ordenamiento atómico en aleaciones con memoria de forma Ni-Mn-Ga. Influencia en la transformación martensítica*. (Tesis de ingeniería, Escuela Técnica Superior de Ingeniero Industriales y de Telecomunicación). Recuperado de <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/6404/577897.pdf?sequence=1>
11. Peña Andrés, F. J. (2000). *Caracterización de la cinética de crecimiento de grano, desgaste y corrosión en aleaciones inteligentes con memoria de forma base cobre para aplicaciones tecnológicas*. (Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña). Recuperado de <http://www.tdx.cat/handle/10803/6065>
12. Ren, X., & Otsuka, K. (1997). *Origin of rubber-like behaviour in metal alloys*. Recuperado de http://www.researchgate.net/publication/242879513_Origin_of_rubber-like_behaviour_in_metal_alloys
13. Smith, W. F. (1999). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*. España: Mc Graw-Hill.
14. Strandberg, E. (2006). *Caracterización de aleaciones de titanio con bajo módulo elástico y memoria de forma para aplicaciones biomédicas*. (Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Catalunya). Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3223/1/52129-1.pdf>

15. Wayman, C. (1992). *Shape memory alloys and related phenomena. Prog materials*. Recuperado de [http://books.google.com.ec/books?id=DvItE9XUIN8C&pg=PA132&lpg=PA132&dq=15.+Wayman,+C.+\(1992&source=bl&ots=xja1G7hb4O&sig=-FeoL_jpFVgEIRvy7nBgKfMyen8&hl=es&sa=X&ei=POhsVKGVFIWbgwTNqYSAAQ&ved=0CCkQ6AEwAQ#v=onepage&q=15.%20Wayman%2C%20C.%20\(1992&f=false](http://books.google.com.ec/books?id=DvItE9XUIN8C&pg=PA132&lpg=PA132&dq=15.+Wayman,+C.+(1992&source=bl&ots=xja1G7hb4O&sig=-FeoL_jpFVgEIRvy7nBgKfMyen8&hl=es&sa=X&ei=POhsVKGVFIWbgwTNqYSAAQ&ved=0CCkQ6AEwAQ#v=onepage&q=15.%20Wayman%2C%20C.%20(1992&f=false)
16. Wijst, M. v. (1992). *Shape memory alloys featuring nitinol*. (Tesis doctoral, Faculteit der Werktuigbouwkunde Vakgroep WFW). Recuperado de <http://www.mate.tue.nl/~piet/dat/lit1/WIJ1992a.pdf>

ANEXOS

ANEXO A1: Diagrama de fases binario Cu-Zn.

DIAGRAMA DE FASES BINARIO Cu-Zn



(Fuente: <http://www.esi2.us.es/IMM2/Pract-html/cu-zn.html>).

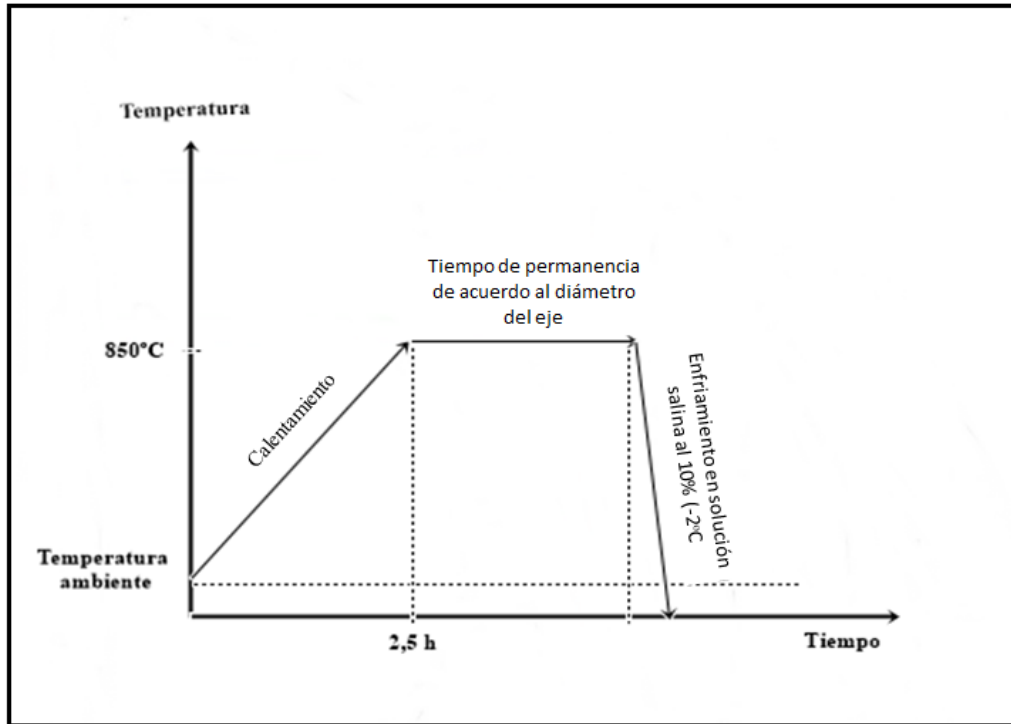
ANEXO A2: Cu-Zn datos cristalográficos.

Cu-Zn crystallographic data

Phase	Composition, wt% Zn	Pearson symbol	Space group
α or (Cu)	0 to 38.95	<i>cF4</i>	<i>Fm$\bar{3}m$</i>
β	36.8 to 56.5	<i>cI2</i>	<i>Im$\bar{3}m$</i>
β_1	45.5 to 50.7	<i>cP2</i>	<i>Pm$\bar{3}m$</i>
γ	57.7 to 70.6	<i>cI52</i>	<i>I$\bar{4}3m$</i>
δ	73.02 to 76.5	<i>hP3</i>	<i>P$\bar{6}$</i>
ϵ	78.5 to 88.3	<i>hP2</i>	<i>P6$_3$/mmc</i>
η or (Zn)	97.25 to 100	<i>hP2</i>	<i>P6$_3$/mmc</i>

(Fuente: ASM Metals HandBook Volume 03 Alloy Phase Diagrams).

ANEXO A3: Diagrama del proceso de temple aplicado a las pruebas de la presente investigación.



(Fuente: El Autor)

ANEXO B1: Composición química prueba 2.

EL ACERO DEL FUTURO NOVACERO		LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD			
INFORME DEL ENSAYO DE COMPOSICION QUÍMICA DE MUESTRAS					
FECHA:	12/11/2013				
OPERADOR:	EDUARDO VILLEGAS				
MAQUINA:	ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720				
CANAL DE ENSAYO:	ENERGY TEST				
RESULTADOS:					
QUANTITATIVE RESULT					
ANALYTE	RESULT	(STD.DEV.)	PROC. CALC.	LINE	
Cu	56,003%	0,054	QUAN-FP	CuKa	
Zn	40,626%	0,045	QUAN-FP	ZnKa	
Sn	1,925%	0,023	QUAN-FP	SnKa	
Si	1,091%	0,094	QUAN-FP	SiKa	
Ca	0,346%	0,01	QUAN-FP	CaKa	

(Fuente: NOVACERO)

ANEXO B2: Composición química prueba 3.

EL ACERO DEL FUTURO NOVACERO		LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD			
INFORME DEL ENSAYO DE COMPOSICION QUÍMICA DE MUESTRAS					
FECHA:	15/01/2014				
OPERADOR:	Miguel Lomas				
MAQUINA:	ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720				
CANAL DE ENSAYO:	ENERGY TEST				
MUESTRA:	M3				
RESULTADOS:					
QUANTITATIVE RESULT					
ANALYTE	RESULT	(STD.DEV.)	PROC. CALC.	LINE	
Cu	52,398%	0,053	QUAN-FP	CuKa	
Zn	42,819%	0,050	QUAN-FP	ZnKa	
Sn	3,859%	0,033	QUAN-FP	SnKa	
Sb	0,203%	0,011	QUAN-FP	SbKa	
Ho	0,051%	0,013	QUAN-FP	HoKa	
Si	0,019%	0,014	QUAN-FP	SiKa	

(Fuente: NOVACERO)

ANEXO B3: Composición química prueba 4.

NOVACERO		LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD			
INFORME DEL ENSAYO DE COMPOSICION QUÍMICA DE MUESTRAS					
FECHA:	27/02/2014				
OPERADOR:	EDUARDO VILLEGAS				
MAQUINA:	ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720				
CANAL DE ENSAYO:	ENERGY TEST				
MUESTRA:	M4				
RESULTADOS:	QUANTITATIVE RESULT				
ANALYTE	RESULT	(STD.DEV.)	PROC. CALC.	LINE	
Cu	58,879%	0,056	QUAN-FP	CuKa	
Zn	37,656%	0,043	QUAN-FP	ZnKa	
Sn	3,246%	0,029	QUAN-FP	SnKa	
Si	0,208%	0,008	QUAN-FP	SiKa	
Mo	0,056%	0,003	QUAN-FP	MoKa	
Ca	0,035%	0,001	QUAN-FP	CaKa	


(Fuente: NOVACERO)

ANEXO B4: Composición química prueba 5.

NOVACERO		LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD			
INFORME DEL ENSAYO DE COMPOSICION QUÍMICA DE MUESTRAS					
FECHA:	24/04/2014				
OPERADOR:	EDUARDO VILLEGAS				
MAQUINA:	ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720				
CANAL DE ENSAYO:	ENERGY TEST				
MUESTRA:	M5				
RESULTADOS:	QUANTITATIVE RESULT				
ANALYTE	RESULT	(STD.DEV.)	PROC. CALC.	LINE	
Cu	63,707%	0,057	QUAN-FP	CuKa	
Zn	31,993%	0,040	QUAN-FP	ZnKa	
Sn	3,985%	0,032	QUAN-FP	SnKa	
Sb	0,254%	0,011	QUAN-FP	SbKa	
Ca	0,030%	0,002	QUAN-FP	CaKa	
Si	0,021%	0,001	QUAN-FP	SiKa	
Sc	0,009%	0,000	QUAN-FP	ScKa	

(Fuente: NOVACERO)

ANEXO B5: Composición química prueba 6.

		LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD			
INFORME DEL ENSAYO DE COMPOSICION QUÍMICA DE MUESTRAS					
FECHA: 27/06/2014					
OPERADOR: ML					
MAQUINA: ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720					
CANAL DE ENSAYO: ENERGY TEST					
MUESTRA: M6					
RESULTADOS:					
QUANTITATIVE RESULT					
ANALYTE	RESULT	(STD.DEV.)	PROC. CALC.	LINE	
Cu	63,214%	0,054	QUAN-FP	CuKa	
Zn	32,398%	0,050	QUAN-FP	ZnKa	
Sn	3,832%	0,030	QUAN-FP	SnKa	
Sb	0,197%	0,010	QUAN-FP	SbKa	
Ca	0,073%	0,004	QUAN-FP	CaKa	
Mo	0,054%	0,003	QUAN-FP	MoKa	
Al	0,029%	0,001	QUAN-FP	AlKa	
Sc	0,003%	0,000	QUAN-FP	ScKa	

(Fuente: NOVACERO)

ANEXO C: Valores críticos de la distribución t de student.

VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN t DE STUDENT

α v	0,10	0,05	0,025	0,010	0,005
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
Inf	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

(Fuente: Depool, R., & Monasterio, D (2013). *Probabilidad y estadística*.

UNEXPO. Pág: 290 y 291).

ANEXO D: Preparación del crisol (primer uso).

PRECALENTAMIENTO / PRIMER USO

LOS HORNOS ELÉCTRICOS: Los hornos eléctricos : crisol debe ser precalentado vacío y poder el máximo para lograr un color uniforme rojo (900 °C) y debe permanecer así durante 30 minutos esta es una condición previa para el recubrimiento. El crisol se puede cargar y luego se ajusta a la temperatura de funcionamiento.

HORNOS PETRÓLEO Y GAS: crisol debe ser precalentado vacío hasta un color rojo uniforme (alrededor de 900 °C) y debe permanecer así durante 30 minutos esta es una condición previa para el barniz. El crisol se puede cargar y luego se ajusta a la temperatura de funcionamiento.

El tiempo de calentamiento depende del tamaño del crisol. En el caso de los grandes crisoles y hornos con quemadores de gran alcance del aumento de la temperatura debe ser controlada en las primeras fases para minimizar los cambios bruscos de temperatura antes de aplicar la máxima potencia. Evite el contacto directo de la llama en la pared del crisol.

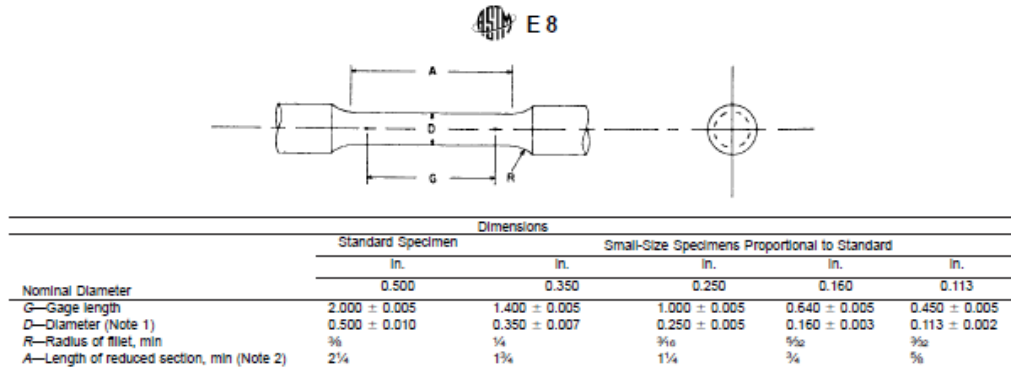
Con este procedimiento se llevó toda la humedad absorbida en el transporte, el almacenamiento y garantizar un esmalte con la máxima resistencia a la oxidación. Si el material refractario del horno fue reparado y no hay riesgo de cualquier crisol de absorber la humedad del horno debe calentarse lentamente a 200 °C para permanecer en esta temperatura para quitar toda la humedad.

En el caso de los crisoles que reciben carga neta es importante que la temperatura del crisol es igual o mayor que la carga para evitar cambios bruscos de temperatura

HORNOS DE INDUCCIÓN: El proceso de calentamiento depende de la frecuencia del horno, las dimensiones de la bobina y la resistencia del metal a ser fundido. Se recomienda siempre que sea posible para precalentar el crisol vacío. El horno debe estar vinculado inicialmente con el 20% de la potencia máxima hasta que lo crisol se convierte en rojo. Después de 30 minutos, el poder puede ser aumentado a 50% máximo. Carge suavemente con lo crisol de metal y mantener el poder en un 50% hasta el crisol está medio lleno de metal fundido. El poder puede ser aumentado hasta el máximo.

(Fuente: Catálogo MAQUINARIA HENRIQUES C.A)

ANEXO E1: Fragmento de la norma ASTM E8 - 01 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials 1.



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 (controlling dimension).

NOTE 2—If desired, the length of the reduced section may be increased to accommodate an extensometer of any convenient gage length. Reference marks for the measurement of elongation should, nevertheless, be spaced at the indicated gage length.

NOTE 3—The gage length and fillets may be as shown, but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the load shall be axial (see Fig. 9). If the ends are to be held in wedge grips 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—On the round specimens in Figs. 8 and 9, the gage lengths are equal to four times the nominal diameter. In some product specifications other specimens may be provided for, but unless the 4-to-1 ratio is maintained within dimensional tolerances, the elongation values may not be comparable with those obtained from the standard test specimen.

NOTE 5—The use of specimens smaller than 0.250-in. diameter shall be restricted to cases when the material to be tested is of insufficient size to obtain larger specimens or when all parties agree to their use for acceptance testing. Smaller specimens require suitable equipment and greater skill in both machining and testing.

NOTE 6—Five sizes of specimens often used have diameters of approximately 0.505, 0.357, 0.252, 0.160, and 0.113 in., the reason being to permit easy calculations of stress from loads, since the corresponding cross-sectional areas are equal or close to 0.200, 0.100, 0.0500, 0.0200, and 0.0100 in.², respectively. Thus, when the actual diameters agree with these values, the stresses (or strengths) may be computed using the simple multiplying factors 5, 10, 20, 50, and 100, respectively. (The metric equivalents of these five diameters do not result in correspondingly convenient cross-sectional areas and multiplying factors.)

FIG. 8 Standard 0.500-in. Round Tension Test Specimen with 2-in. Gage Length and Examples of Small-Size Specimens Proportional to the Standard Specimen

6.6 Specimens for Wire, Rod, and Bar:

6.6.1 For round wire, rod, and bar, test specimens having the full cross-sectional area of the wire, rod, or bar shall be used wherever practicable. The gage length for the measurement of elongation of wire less than 1/8 in. in diameter shall be as prescribed in product specifications. In testing wire, rod, or bar that has a 1/8-in. or larger diameter, unless otherwise specified, a gage length equal to four times the diameter shall be used. The total length of the specimens shall be at least equal to the gage length plus the length of material required for the full use of the grips employed.

6.6.2 For wire of octagonal, hexagonal, or square cross section, for rod or bar of round cross section where the specimen required in 6.6.1 is not practicable, and for rod or bar of octagonal, hexagonal, or square cross section, one of the following types of specimens shall be used:

6.6.2.1 Full Cross Section (Note 11)—It is permissible to reduce the test section slightly with abrasive cloth or paper, or machine it sufficiently to ensure fracture within the gage marks. For material not exceeding 0.188 in. in diameter or distance between flats, the cross-sectional area may be reduced to not less than 90 % of the original area without changing the shape of the cross section. For material over 0.188 in. in diameter or distance between flats, the diameter or distance between flats may be reduced by not more than 0.010 in.

without changing the shape of the cross section. Square, hexagonal, or octagonal wire or rod not exceeding 0.188 in. between flats may be turned to a round having a cross-sectional area not smaller than 90 % of the area of the maximum inscribed circle. Fillets, preferably with a radius of 3/8 in., but not less than 1/8 in., shall be used at the ends of the reduced sections. Square, hexagonal, or octagonal rod over 0.188 in. between flats may be turned to a round having a diameter no smaller than 0.010 in. less than the original distance between flats.

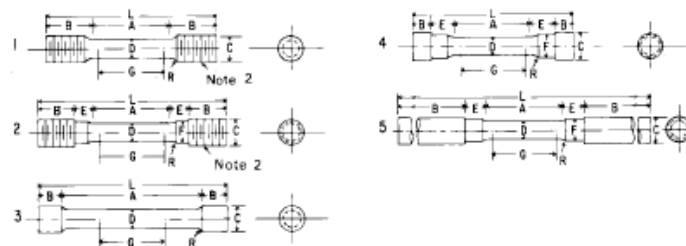
NOTE 11—The ends of copper or copper alloy specimens may be flattened 10 to 50 % from the original dimension in a jig similar to that shown in Fig. 10, to facilitate fracture within the gage marks. In flattening the opposite ends of the test specimen, care shall be taken to ensure that the four flattened surfaces are parallel and that the two parallel surfaces on the same side of the axis of the test specimen lie in the same plane.

6.6.2.2 For rod and bar, the largest practical size of round specimen as described in 6.4 may be used in place of a test specimen of full cross section. Unless otherwise specified in the product specification, specimens shall be parallel to the direction of rolling or extrusion.

6.7 Specimens for Rectangular Bar— In testing rectangular bar one of the following types of specimens shall be used:

6.7.1 Full Cross Section—It is permissible to reduce the width of the specimen throughout the test section with abrasive

E 8



	Dimensions				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gage length	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005
D—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010
R—Radius of fillet, min	3/8	3/8	1/8	3/8	3/8
A—Length of reduced section	2 1/4, min	2 1/4, min	4, approximately	2 1/4, min	2 1/4, min
L—Over-all length, approximate	5	5 1/2	5 1/2	4 3/4	9 1/2
B—Length of end section (Note 3)	1 3/8, approximately	1, approximately	3/4, approximately	1/2, approximately	3, min
C—Diameter of end section	3/4	3/4	29/32	7/8	3/4
E—Length of shoulder and fillet section, approximate	—	5/8	—	3/4	5/8
F—Diameter of shoulder	—	5/8	—	5/8	19/32

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center with the ends not more than 0.005 in. 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.

FIG. 9 Various Types of Ends for Standard Round Tension Test Specimens

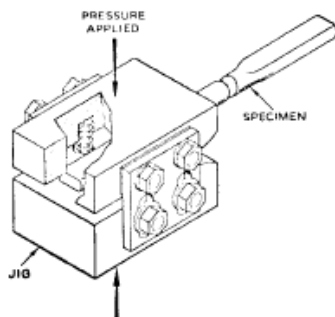


FIG. 10 Squeezing Jig for Flattening Ends of Full-Size Tension Test Specimens

cloth or paper, or by machining sufficiently to facilitate fracture within the gage marks, but in no case shall the reduced width be less than 90 % of the original. The edges of the midlength of the reduced section not less than 3/4 in. in length shall be parallel to each other and to the longitudinal axis of the specimen within 0.002 in. Fillets, preferably with a radius of 3/8 in. but not less than 1/8 in. shall be used at the ends of the reduced sections.

6.7.2 Rectangular bar of thickness small enough to fit the grips of the testing machine but of too great width may be reduced in width by cutting to fit the grips, after which the cut surfaces shall be machined or cut and smoothed to ensure

failure within the desired section. The reduced width shall be not less than the original bar thickness. Also, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 may be used.

6.8 Shapes, Structural and Other—In testing shapes other than those covered by the preceding sections, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 shall be used.

6.9 Specimens for Pipe and Tube (Note 12):

6.9.1 For all small tube (Note 12), particularly sizes 1 in. and under in nominal outside diameter, and frequently for larger sizes, except as limited by the testing equipment, it is standard practice to use tension test specimens of full-size tubular sections. Snug-fitting metal plugs shall be inserted far enough into the ends of such tubular specimens to permit the testing machine jaws to grip the specimens properly. The plugs shall not extend into that part of the specimen on which the elongation is measured. Elongation is measured over a length of 4D unless otherwise stated in the product specification. Fig. 11 shows a suitable form of plug, the location of the plugs in the specimen, and the location of the specimen in the grips of the testing machine.

NOTE 12—The term "tube" is used to indicate tubular products in general, and includes pipe, tube, and tubing.

6.9.2 For large-diameter tube that cannot be tested in full section, longitudinal tension test specimens shall be cut as indicated in Fig. 12. Specimens from welded tube shall be located approximately 90° from the weld. If the tube-wall thickness is under 3/4 in., either a specimen of the form and

(Fuente: Norma ASTM E8 - 01 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials1)

ANEXO E2: Fragmento de la norma ASTM E 23 - 00 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials I.



Designation: E 23 – 00

Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E 23; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods describe notched-bar impact testing of metallic materials by the Charpy (simple-beam) test and the Izod (cantilever-beam) test. They give the requirements for: test specimens, test procedures, test reports, test machines (see Annex A1) verifying Charpy impact machines (see Annex A2), optional test specimen configurations (see Annex A3), precracking Charpy V-notch specimens (see Annex A4), designation of test specimen orientation (see Annex A5), and determining the percent of shear fracture on the surface of broken impact specimens (see Annex A6). In addition, information is provided on the significance of notched-bar impact testing (see Appendix X1), methods of measuring the center of strike (see Appendix X2), and the availability of Charpy V-notch verification specimens (see Appendix X3).

1.2 These test methods do not address the problems associated with impact testing at temperatures below $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-320\text{ }^{\circ}\text{F}$, $77\text{ }^{\circ}\text{K}$).

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. Inch-pound units are provided for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. Specific precautionary statements are given in Section 5.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods²

E 399 Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials³

E 604 Test Method for Dynamic Tear Energy of Metallic Materials³

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method²

E 1271 Practice for Qualifying Charpy Verification Specimens of Heat-treated Steel³

E 1313 Guide for Recommended Formats for Data Records Used in Computerization of Mechanical Test Data for Metals⁴

3. Summary of Test Method

3.1 The essential features of an impact test are: a suitable specimen (specimens of several different types are recognized), an anvil or support on which the test specimen is placed to receive the blow of the moving mass, a moving mass that has sufficient energy to break the specimen placed in its path, and a device for measuring the energy absorbed by the broken specimen.

4. Significance and Use

4.1 These test methods of impact testing relate specifically to the behavior of metal when subjected to a single application of a force resulting in multi-axial stresses associated with a notch, coupled with high rates of loading and in some cases with high or low temperatures. For some materials and temperatures the results of impact tests on notched specimens, when correlated with service experience, have been found to predict the likelihood of brittle fracture accurately. Further information on significance appears in Appendix X1.

5. Precautions in Operation of Machine

5.1 Safety precautions should be taken to protect personnel from the swinging pendulum, flying broken specimens, and hazards associated with specimen warming and cooling media.

6. Apparatus

6.1 General Requirements:

6.1.1 The testing machine shall be a pendulum type of rigid construction.

6.1.2 The testing machine shall be designed and built to conform with the requirements given in Annex A1.

6.2 Inspection and Verification

6.2.1 Inspection procedures to verify impact machines directly are provided in A2.2 and A2.3. The items listed in A2.2 must be inspected annually.

6.2.2 The procedures to verify Charpy V-notch machines

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E-28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28-07 on impact testing.

Current edition approved May 10, 2000. Published August 2000. Originally published as E 23 – 33 T. Last previous edition E 23 – 98.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.01.

indirectly, using verification specimens, are given in A2.4. Charpy impact machines must be verified annually.

7. Test Specimens

7.1 Configuration and Orientation:

7.1.1 Specimens shall be taken from the material as specified by the applicable specification. Specimen orientation should be designated according to the terminology given in Annex A5.

7.1.2 The type of specimen chosen depends largely upon the characteristics of the material to be tested. A given specimen may not be equally satisfactory for soft nonferrous metals and hardened steels; therefore, many types of specimens are recognized. In general, sharper and deeper notches are required to distinguish differences in very ductile materials or when using low testing velocities.

7.1.3 The specimens shown in Figs. 1 and 2 are those most widely used and most generally satisfactory. They are particularly suitable for ferrous metals, excepting cast iron.⁵

7.1.4 The specimen commonly found suitable for die-cast alloys is shown in Fig. 3.

7.1.5 The specimens commonly found suitable for powdered metals (P/M) are shown in Figs. 4 and 5. The specimen

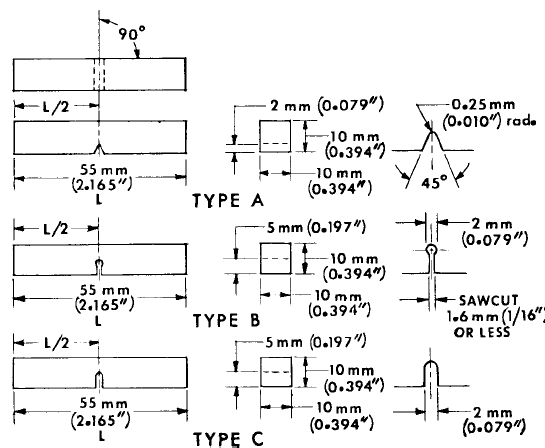
surface may be in the as-produced condition or smoothly machined, but polishing has proven generally unnecessary. Unnotched specimens are used with P/M materials. In P/M materials, the impact test results are affected by specimen orientation. Therefore, unless otherwise specified, the position of the specimen in the machine shall be such that the pendulum will strike a surface that is parallel to the compacting direction.

7.1.6 Sub-size and supplementary specimen recommendations are given in Annex A3.

7.2 Specimen Machining:

7.2.1 When heat-treated materials are being evaluated, the specimen shall be finish machined, including notching, after the final heat treatment, unless it can be demonstrated that the impact properties of specimens machined before heat treatment are identical to those machined after heat treatment.

7.2.2 Notches shall be smoothly machined but polishing has proven generally unnecessary. However, since variations in notch dimensions will seriously affect the results of the tests, adhering to the tolerances given in Fig. 1 is necessary (Appendix X1.2 illustrates the effects from varying notch dimensions on Type A specimens). In keyhole specimens, the round hole shall be carefully drilled with a slow feed rate. The slot may be cut by any feasible method, but care must be exercised in cutting the slot to ensure that the surface of the drilled hole opposite the slot is not damaged.



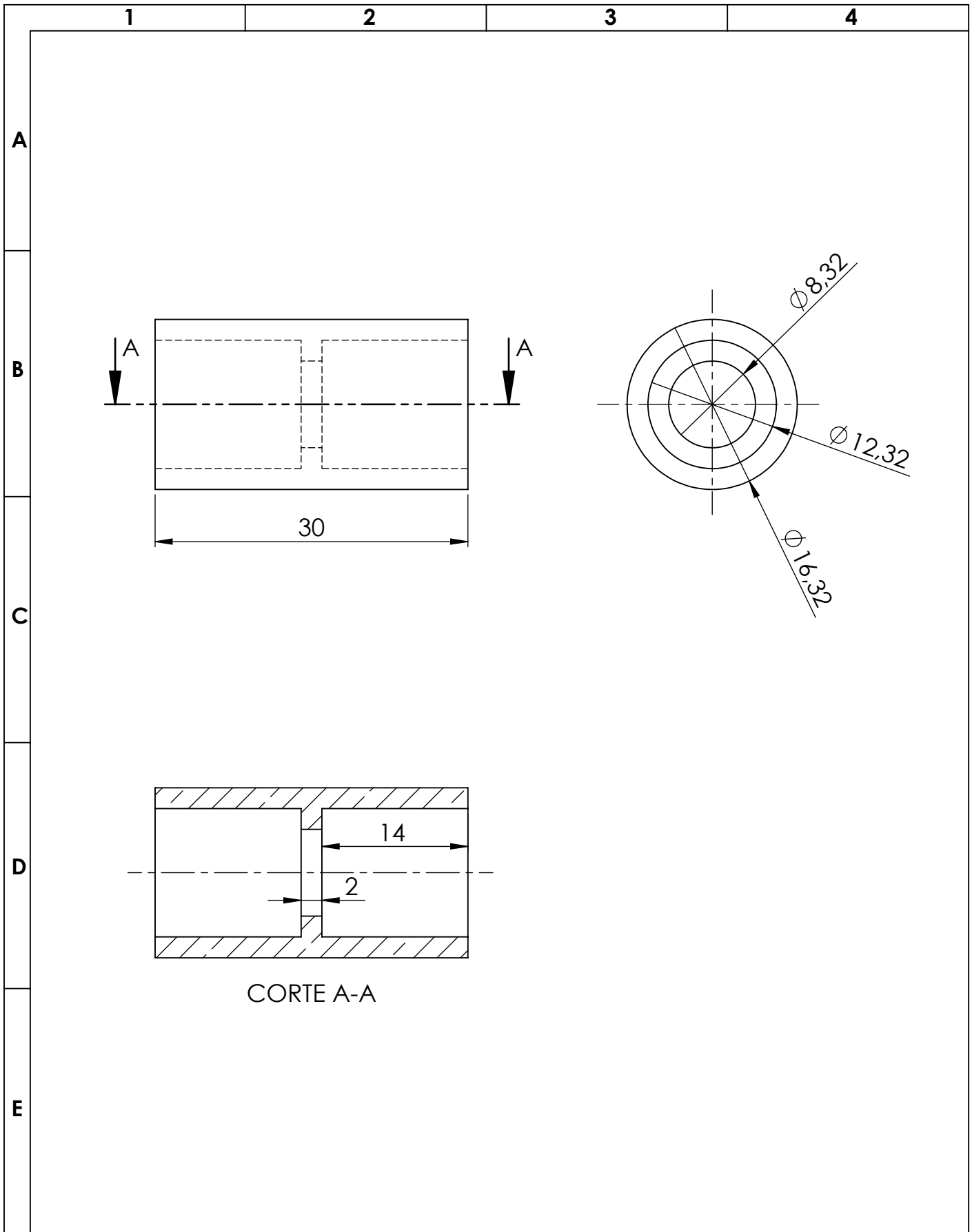
NOTE 1—Permissible variations shall be as follows:

Notch length to edge	$90 \pm 2^\circ$
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. 1 Charpy (Simple-Beam) Impact Test Specimens, Types A, B, and C

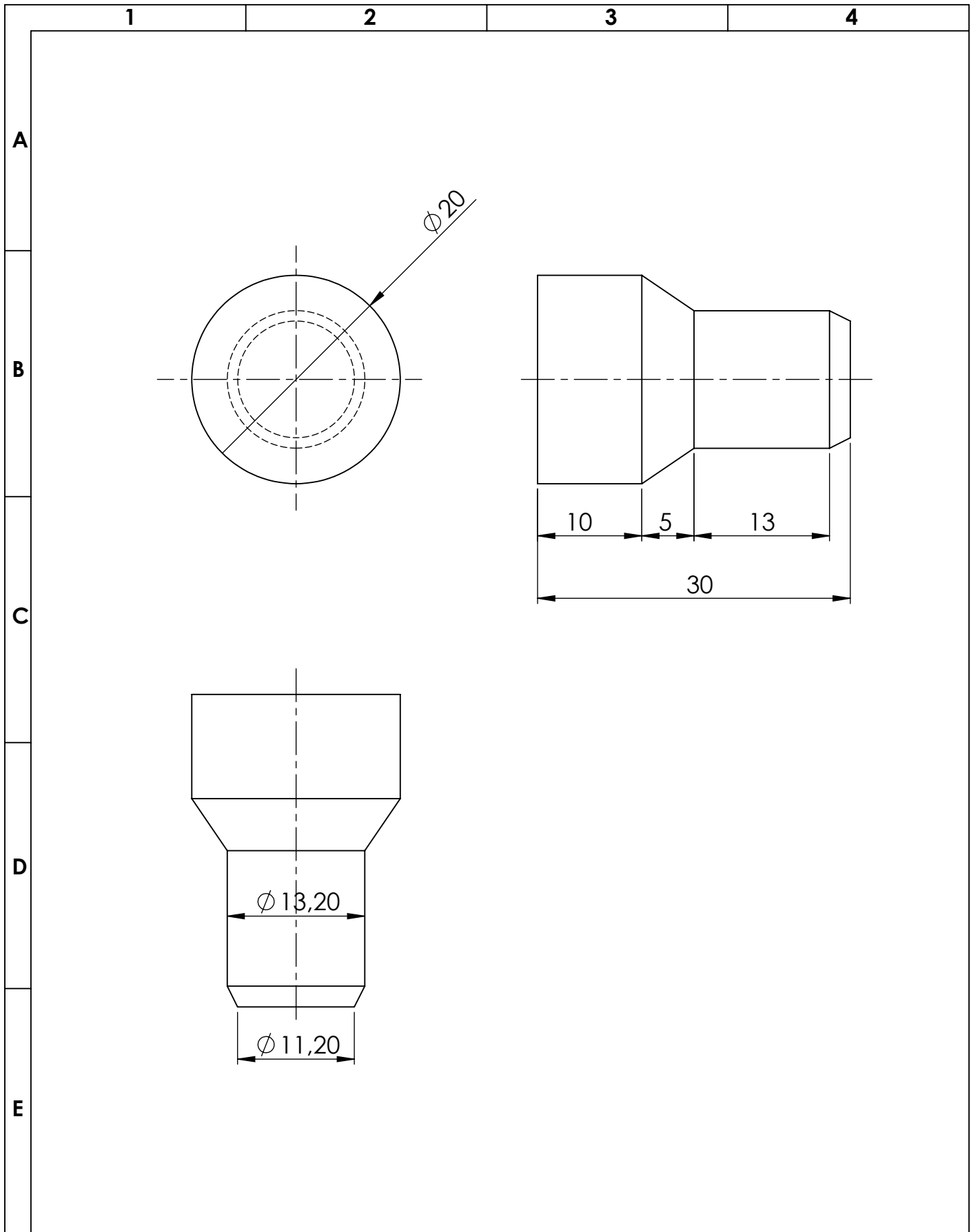
(Fuente: Norma ASTM E 23 - 00 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials1)

ANEXO F: Plano (acople y tapón).



CORTE A-A

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: SMA Cu-Zn-Sn	
				±0,1	0,03 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: ACOPLE	Escala: 2:1
			Dib.	25/08/14	Ilbay S.		
			Rev.	28/08/14	Ing. Espín S.		
			Apro.	28/08/14	Ing. Espín S.		
				UTA Ing. Mecánica		Número de dibujo: 01	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO 1020	
				$\pm 0,1$	0,05 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: TAPÓN	Escala: 2:1
			Dib.	25/08/14	Ilbay S.		
			Rev.	28/08/14	Ing. Espín S.		
				Apro.	28/08/14	Ing. Espín S.	
				UTA Ing. Mecánica		Número de dibujo: 02	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	