

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA**

**INDEPENDIENTE**

**TEMA:**

---

**“ESTUDIO DE LA ALEACION DE ZnAl PARA DETERMINAR SU  
APLICACIÓN INDUSTRIAL.”**

---

**Trabajo de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero  
Mecánico**

**Autor:** Santiago Vladimir Santana Jácome

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

**AMBATO – ECUADOR**

**2015**

## **APROBACION DEL TUTOR**

En calidad de Tutor del trabajo de investigación: **“Estudio de la aleación de ZnAl para determinar su aplicación industrial”**, elaborado por el Señor Santiago Vladimir Santana Jácome, egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

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

Ambato, Febrero del 2015.

---

Ing. Segundo Manuel Espín Lagos. Mg.

**TUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

## **AUTORIA DE TESIS**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de investigación con el tema: **“ESTUDIO DE LA ALEACION DE ZnAl PARA DETERMINAR SU APLICACIÓN INDUSTRIAL”** nos corresponde exclusivamente a Santiago Vladimir Santana Jácome y al Ing. Segundo Manuel Espín Lagos. Mg. Tutor del Trabajo de Investigación; el Patrimonio Intelectual del mismo a la Universidad Técnica de Ambato.

---

Santiago Vladimir Santana Jácome

## **DEDICATORIA**

*A Dios, quien me ha bendecido cada instante de mi vida, y me ha dado la fuerza y voluntad necesaria para seguir adelante y mejorar cada día de mi vida.*

*A mis queridos padres Carlos y Mónica, quienes han sido mi mejor ejemplo a seguir, mi apoyo, mi bendición más grande, ya que gracias a su esfuerzo y sacrificio he logrado cumplir mis más anheladas metas.*

*A mi hermana Belén, quien siempre ha estado conmigo a pesar de las adversidades y siempre me brinda su apoyo.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A mis maestros, quienes en el transcurso de esta etapa de mi vida supieron guiarme y brindarme cada uno de sus valiosos conocimientos.*

*A mi tutor de tesis el Ing. Segundo Espín. Mg. quien con paciencia y dedicación me brindo su guía, conocimientos y apoyo para llevar a cabo esta investigación.*

*A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, por darme la oportunidad de formarme como un profesional.*

*A mis amigos y familiares, quienes siempre me brindaron su apoyo tanto en los buenos como en los malos momentos de mi vida he hicieron de esta etapa de mi vida una de las mejores que he tenido.*

## INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

### PAGINAS PRELIMINARES

TEMA: .....	I
APROBACION DEL TUTOR.....	II
AUTORIA DE TESIS .....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
RESUMEN EJECUTIVO .....	XVI

## ÍNDICE GENERAL

<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis crítico .....	2
1.2.3 Prognosis .....	3
1.2.4 Formulación del problema. ....	3
1.2.5 Preguntas Directrices .....	3
1.2.6 Delimitación del problema.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	4
1.4 OBJETIVOS .....	5
1.4.1 Objetivo General .....	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>6</b>
<b>2 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	6
2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.....	8
2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	8
2.4 RED DE CATEGORÍAS FUNDAMENTALES .....	9
2.4.1 Zinc y sus propiedades .....	10
2.4.2 Aluminio y sus propiedades .....	12
2.4.3 Aleaciones .....	14

2.4.4	Fundición .....	15
2.4.5	Tipos de hornos para materiales no ferrosos.....	21
2.4.6	Variable dependiente.....	26
2.4.7	Ensayo de tracción .....	27
2.4.8	Dureza .....	34
2.4.9	Impacto.....	37
2.4.10	Ensayos metalográficos.....	38
2.5	HIPÓTESIS .....	40
2.6	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS .....	40
	<b>CAPITULO III.....</b>	<b>41</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODOLOGÍA .....</b>	<b>41</b>
3.1	ENFOQUE .....	41
3.2	MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
3.3	NIVEL O TIPO DE LA INVESTIGACIÓN .....	41
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	42
	Población.....	42
	Muestra.....	42
3.5	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	43
3.5.1	Variable Independiente .....	43
3.5.2	Variable Dependiente.....	44
3.6	RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	45
3.7	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS .....	46
	<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>47</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.....</b>	<b>47</b>

4.1	PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	47
4.1.1	Datos informativos para la fundición.....	48
4.1.2	Ensayo de Tracción .....	51
4.1.3	Ensayo de dureza.....	81
4.1.4	Ensayo de impacto .....	93
4.1.5	Ensayo metalográfico.....	99
4.1.6	Análisis con microscopio de barrido.....	111
4.2	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	117
4.2.1	Tracción.....	117
4.2.2	Dureza .....	121
4.2.3	Impacto.....	125
4.2.4	Metalográfico .....	127
4.3	Verificación de la hipótesis .....	128
	<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>145</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>145</b>
5.1	CONCLUSIONES .....	145
5.2	RECOMENDACIONES .....	146
	<b>CAPITULO VI.....</b>	<b>148</b>
<b>6</b>	<b>PROPUESTA .....</b>	<b>148</b>
6.1	DATOS INFORMATIVOS .....	148
6.2	ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA .....	148
6.3	JUSTIFICACIÓN .....	149
6.4	OBJETIVOS .....	149
6.4.1	Objetivo general .....	149

6.4.2	Objetivos específicos .....	149
6.5	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD .....	150
6.6	FUNDAMENTACIÓN .....	150
6.7	METODOLOGÍA .....	150
6.7.1	Adquisición del material .....	151
6.7.2	Preparación y fundición del material .....	152
6.7.3	Ensayo de tracción .....	155
6.7.4	Evaluación y resultado .....	155
6.7.5	Preparación de la superficie para el análisis metalográfico .....	158
6.7.6	Ataque químico .....	160
6.7.7	Observación microscópica de las probetas .....	160
6.7.8	Análisis de la microestructura mediante software .....	161
6.7.9	Realización del ensayo de dureza .....	162
6.7.10	Realización del ensayo de impacto .....	163
6.7.11	Determinación de la aplicación industrial.....	164
6.8	ADMINISTRACIÓN .....	166
6.9	PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN .....	167
6.10	BIBLIOGRAFÍA .....	168

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1 Categorías fundamentales.....	9
Gráfico 2-2 Variable Independiente.....	9
Gráfico 2-3 Variable dependiente .....	10
Gráfico 2-4 Zinc.....	10
Gráfico 2-5 Bancada de hierro .....	16
Gráfico 2-6 Accesorios .....	16
Gráfico 2-7 Acople de bronce .....	16
Gráfico 2-8 Pistón .....	17
Gráfico 2-9 Clasificación de la fundición según el criterio de tipo de molde.....	17
Gráfico 2-10 Clasificación de la fundición según el criterio de la forma de ingreso del metal al molde. ....	18
Gráfico 2-11 Horno de crisol .....	24
Gráfico 2-12 Producción ecuatoriana de metales de fundición .....	26
Gráfico 2-13 Maquina de ensayos Universal Tinius Olsen capacidad 30 ton, empleada en ensayos de tracción. ....	27
Gráfico 2-14 Curva esfuerzo deformación ingenieril para un material metálico. (Sánchez V y Campos S, 2010, p.142).....	28
Gráfico 2-15 Probeta cilíndrica para el ensayo de tracción con las dimensiones especificadas en la norma ASTM E-8.....	29
Gráfico 2-16 Parámetros mecánicos obtenidos en el ensayo de tracción .....	31
Gráfico 2-17 Comportamiento entre el esfuerzo ingenieril y la deformación ingenieril versus el esfuerzo real y la deformación real.....	33
Gráfico 2-18 Esquema y probetas del ensayo Charpy e Izod .....	38
Grafico 4-1 Cantidades de Zn-Al.....	49
Grafico 4-2 Porcentajes de la aleación Zn-Al .....	50

Gráfico 4-3 Comparación de la resistencia última a la tracción de la aleación Zn-Al por cada caso. ....	119
Gráfico 4-4 Comparación del porcentaje de elongación de la aleación Zn – Al por cada caso. ....	120
Gráfico 4-5 Comparación de la dureza en la aleación Zn – Al por cada caso. ...	124
Gráfico 4-6 Comparación de los resultados del ensayo de impacto en la aleación Zn – Al por cada caso. ....	126
Gráfico 4-7 Comparación de los resultados del ensayo metalográfico en la aleación Zn – Al por cada caso. ....	127
Gráfico 6-1. Zinc y aluminio.....	151
Gráfico 6-2 Preparación de probetas: a) corte del material, b) y c) pesaje de Al y Zn, d) molde para fundición, e) y f) lingotes de Zn – Al. ....	152
Gráfico 6-3 Lingotes fundidos de la aleación ZnAl.....	154
Gráfico 6-4 Probeta maquinada para ensayo de tracción.....	155
Gráfico 6-5 Corte de probeta ZnAl para análisis metalográfico .....	158
Gráfico 6-6 Desbaste de probeta en el banco de lijas .....	159
Gráfico 6-7 Pulido de probetas .....	159
Gráfico 6-8 Ataque químico y secado de probetas .....	160
Gráfico 6-9 Observación de la probeta en el microscopio FICM - UTA.....	161
Gráfico 6-10 Evaluación de la microestructura mediante software: a) Equipo de análisis metalográfico y b) Microscopio de barrido FICM –UTA.....	161
Gráfico 6-11 Microestructura de la aleación 76% Zn - 24% Al atacada a 7seg con el reactivo para aleaciones de zinc observamos las dos fases $\alpha$ = Matriz (Zn) fase $\beta$ = Presencia granular (Al); a) Microscopio metalográfico y b) Microscopio de barrido.....	162
Gráfico 6-12. Ensayo de dureza FICM - UTA.....	162
Gráfico 6-13. Péndulo para ensayo Charpy FICM - UTA.....	163
Gráfico 6-14 Simulación del análisis estático en un eje de 152x100x10mm de aluminio .....	165

Gráfico 6-15 Simulación del análisis estático en un eje de 152x100x10mm de 76% Zn y 24% Al.....	165
Gráfico 6-16 Eje tubular.....	166

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Propiedades del Zinc.....	11
Tabla 2-2 Características generales de los procesos de fundición .....	19
Tabla 2-3 Ventajas y limitaciones de los procesos de fundición .....	20
Tabla 2-4 Tipos de hornos.....	21
Tabla 2-5 Tipos de Hornos.....	22
Tabla 2-6 Horno de crisol fijo y basculante .....	24
Tabla 2-7 Producción ecuatoriana de metales en tonelada por fundición en el 2008 .....	25
Tabla 2-8 Dimensiones Generales .....	29
Tabla 2-9 Parámetros mecánicos que se obtienen por medio del ensayo de tracción, usos y aplicaciones .....	30
Tabla 2-10 Técnicas de ensayo de dureza.....	35
Tabla 2-11 Comparación de ensayos de dureza típicos. ....	36
Tabla 3-23-1 Análisis de la aleación ZnAl. ....	43
Tabla 4-1 Denominación de probetas para cada ensayo .....	47
Tabla 4-2 Datos informativos previos a la fundición.....	48
Tabla 4-3 Cantidades de Zinc y Aluminio .....	49
Tabla 4-4 Porcentajes de Zinc Aluminio .....	49
Tabla 4-5 Resultados del ensayo de tracción y su promedio total por caso.....	117
Tabla 4-6 Resultados del ensayo de tracción y su promedio total por caso.....	117

Tabla 4-7 Resultados del ensayo de tracción y su promedio total por caso.....	117
Tabla 4-8 Resultados del ensayo de tracción y su promedio total por caso.....	118
Tabla 4-9 Resultados del ensayo de tracción y su promedio total por caso.....	118
Tabla 4-10 Resultados del ensayo de tracción y su promedio total por caso.....	118
Tabla 4-11 Resultados del ensayo de dureza y su promedio total por caso.....	121
Tabla 4-12 Resultados del ensayo de dureza y su promedio total por caso.....	121
Tabla 4-13 Resultados del ensayo de dureza y su promedio total por caso.....	122
Tabla 4-14 Resultados del ensayo de dureza y su promedio total por caso.....	122
Tabla 4-15 Resultados del ensayo de dureza y su promedio total por caso.....	123
Tabla 4-16 Resultados del ensayo de dureza y su promedio total por caso.....	123
Tabla 4-17 Resultados del ensayo de impacto y su promedio total por caso.....	125
Tabla 4-18 Resultados del ensayo de impacto y su promedio total por caso.....	125
Tabla 4-19 Resultados del ensayo metalográfico (tamaño de grano) .....	127
Tabla 4-20 Comparación 1 de valores de resistencia a la tracción (Sut) .....	129
Tabla 4-21 Prueba 1 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	129
Tabla 4-22 Comparación 2 de valores de resistencia a la tracción (Sut) .....	130
Tabla 4-23 Prueba 2 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	130
Tabla 4-24 Comparación 3 de valores de resistencia a la tracción (Sut) .....	131
Tabla 4-25 Prueba 3 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	131
Tabla 4-26 Comparación 4 de valores de resistencia a la tracción (Sut) .....	132
Tabla 4-27 Prueba 4 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	132
Tabla 4-28 Comparación 5 de valores de resistencia a la tracción (Sut) .....	133
Tabla 4-29 Prueba 5 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	133
Tabla 4-30 Comparación 1 de valores de dureza (HRA).....	134

Tabla 4-31 Prueba 1 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	134
Tabla 4-32 Comparación 2 de valores de dureza (HRA).....	135
Tabla 4-33 Prueba 2 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	135
Tabla 4-34 Comparación 3 de valores de dureza (HRA).....	136
Tabla 4-35 Prueba 3 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	136
Tabla 4-36 Comparación 4 de valores de dureza (HRA).....	137
Tabla 4-37 Prueba 4 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	137
Tabla 4-38 Comparación 5 de valores de dureza (HRA).....	138
Tabla 4-39 Prueba 5 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	138
Tabla 4-40 Comparación 1 de valores de impacto (Joules).....	139
Tabla 4-41 Prueba 1 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	139
Tabla 4-42 Comparación 2 de valores de impacto (Joules).....	140
Tabla 4-43 Prueba 2 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	140
Tabla 4-44 Comparación 3 de valores de impacto (Joules).....	141
Tabla 4-45 Prueba 3 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	141
Tabla 4-46 Comparación 4 de valores de impacto (Joules).....	142
Tabla 4-47 Prueba 4 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	142
Tabla 4-48 Comparación 5 de valores de impacto (Joules).....	143
Tabla 4-49 Prueba 5 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	143
Tabla 6-1 Valores de dureza HR Aleación 76% Zn – 24% Al .....	163
Tabla 6-2 Desglose económico de la investigación .....	166

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

**Autor:** Santiago Vladimir Santana Jácome

**Tutor:** Ing. Segundo Espín. Mg.

**Fecha:** Febrero de 2015

**RESUMEN EJECUTIVO**

El presente trabajo muestra la investigación que se realizó al fundir materiales no ferrosos como el zinc y aluminio, para dicho análisis se analizaron 6 casos con diversos porcentajes de zinc y aluminio (base zinc), así se pudo comparar sus diferentes propiedades, gracias a lo cual se logró determinar una aplicación industrial para la aleación obtenida.

Se realizaron los diferentes tipos de ensayos tales como: tracción, dureza, análisis metalográfico, impacto y análisis químico en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, con los cuales se pudo determinar los diferentes valores de propiedades mecánicas por cada caso mismos que fueron tabulados y analizados.

Se obtuvieron conclusiones y recomendaciones en base a los resultados obtenidos, mismos que contribuyeron a determinar una aleación con propiedades que permiten su utilización en la industria.

## **CAPITULO I**

### **1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN**

“ESTUDIO DE LA ALEACIÓN DE ZnAl PARA DETERMINAR SU APLICACIÓN INDUSTRIAL”

#### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

##### **1.2.1 Contextualización**

En la actualidad, a nivel mundial la principal aplicación del zinc es el galvanizado del acero para protegerlo de la corrosión, el óxido de zinc es el más conocido y utilizado industrialmente, especialmente como base de pigmentos blancos para pintura, existiendo muy poca información sobre su uso como componente principal de una aleación, que potencialice su cualidad para evitar el deterioro de los metales propensos a sustancias y medios oxidantes.

El uso del aluminio ha venido creciendo en gran cantidad con el pasar del tiempo en 1900 la producción era de 7300 toneladas, en 1938 era de 598000 toneladas y en 1998 su producción fue de unos 22700 millones de toneladas. Los principales países productores son Estados Unidos con 39%, Rusia con el 15%, Canadá con el 8%, China y Australia.

Como se deduce de lo antes mencionado, una aleación entre zinc y aluminio proporcionaría un material con características altamente ventajosas en la industria metalmecánica, por lo que es necesario que instituciones calificadas realicen investigaciones que determinaran el grado de importancia que pudiera llegar a tener dicha aleación. En el país las empresas fundidoras han desarrollado diversas aplicaciones, métodos para satisfacer las necesidades de los consumidores en

cuanto a aluminio se refiere, por lo que han descuidado algo fundamental como es la investigación para la obtención de nuevas aleaciones que puedan cumplir con los actuales requerimientos del mercado metalmeccánico para aplicaciones en las cuales se necesita alta resistencia a la corrosividad, bajo peso específico, su fácil manipulación y mecanizado.

Factores que determinan la aceptación de las posibles aplicaciones que se puedan dar de la aleación de zinc y aluminio, ya que en el país existen varias fundidoras que poseen las características necesarias para poder realizar esta aleación, pero que carecen de la información necesaria para obtenerla de manera adecuada, para así poder aprovechar las propiedades que se podrán conseguir al fundir estos dos metales en porcentajes apropiados.

En la ciudad de Ambato la utilización de fundiciones para diversas aplicaciones es relativamente alta no obstante el desconocimiento de las propiedades que presenta la aleación de zinc y aluminio es totalmente ignorada en el medio debido al poco interés en mejorar los materiales ya existentes.

Por lo tanto la investigación de las propiedades de esta aleación no ferrosa es indispensable para que su aprovechamiento sea el apropiado tanto en el proceso de obtención como en su posterior utilización en elementos cuyas necesidades sean totalmente satisfechas en cualquiera que sea su aplicación en la industria metalmeccánica.

### **1.2.2 Análisis crítico**

En la producción de elementos fundidos existen diversos tipos de aleaciones creadas para satisfacer las exigencias del consumidor, sin embargo la falta de investigación de aleaciones nuevas como es el caso de la aleación de zinc y aluminio limita un avance tecnológico en la industria metalmeccánica ya que con la determinación de sus propiedades mecánicas y una adecuada utilización permitirá que las aplicaciones para este tipo de fundiciones puedan crecer y cumplir con ciertos requerimientos que algunos consumidores buscan en materiales ya existentes en el mercado.

Para la realización de este estudio, la ingeniería de materiales es indispensable ya que provee las herramientas y métodos necesarios para llevar a cabo el análisis de la aleación a obtenerse, definiendo así la factibilidad de su producción y utilización en las industrias del medio en que se realiza la presente investigación.

### **1.2.3 Prognosis**

Al no determinar los parámetros adecuados con los cuales realizar la fundición de zinc y aluminio así como sus propiedades mecánicas, la producción del mismo resultaría con un alto grado de incertidumbre respecto a los porcentajes utilizados para fundir cada uno de los elementos de la aleación, factor fundamental que determinará sus características y posterior aplicación.

Además que la aleación zinc y aluminio requiere de materiales con cierto nivel de pureza para que su fusión sea óptima, por lo que requiere un especial cuidado al momento de la adquisición del cada uno de los elementos a fundirse para evitar los defectos que puedan producirse por la inclusión de partículas extrañas a las propias del material a utilizarse.

### **1.2.4 Formulación del problema.**

¿Cuál será la aplicación industrial de la aleación ZnAl?

### **1.2.5 Preguntas Directrices**

- ¿Qué proceso se utilizara para obtener la aleación ZnAl?
- ¿Qué propiedades mecánicas tendrá la aleación de ZnAl?
- ¿Qué propiedades metalográficas tendrá la aleación ZnAl?

## **1.2.6 Delimitación del problema**

### **1.2.6.1 De Contenido**

Ingeniería de Materiales

Fundición

Aleaciones no ferrosas

### **1.2.6.2 Espacial**

El presente estudio se realizara en la Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica dentro de los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica para realizar los ensayos necesarios, en colaboración de la Siderúrgica Tungurahua quien proveerá del material Aluminio.

### **1.2.6.3 Temporal**

Octubre de 2013 – Febrero de 2015.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

La industria dedicada a la fabricación de elementos de máquinas mediante un proceso de fundición en diferentes metales tales como el hierro, aluminio, bronce han venido realizando esta actividad por largo tiempo sin contemplar la actual necesidad de mejorar en cuanto a procesos y materiales se refiere manteniendo su producción con materiales y métodos tradicionales, pero esto va cambiando debido a las altas exigencias para fabricar piezas que puedan cumplir con los amplios requisitos de las industrias más modernas, fomentando así el desarrollo de aleaciones nunca antes utilizadas en el medio.

Razón por la cual instituciones como la Universidad Técnica de Ambato tiene como misión el ayudar a dichas empresas a potenciar sus procesos así como también diversificar su mercado, por medio del talento humano así como también poniendo

a disposición los equipos que permitirán la determinación de todo cuanto sea necesario facilitar, en función de un beneficio mutuo.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General**

Determinar la aplicación industrial para la aleación de ZnAl.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar el procedimiento adecuado para obtener la aleación ZnAl.
- Caracterización de la aleación ZnAl.
- Determinar la composición química de la aleación ZnAl.
- Determinar las propiedades metalográficas de la aleación ZnAl.

## CAPITULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

**Autor:** Ingrid Teresa Flor Cadena

**Tema:** Evaluación de la Corrosividad del agua potable y agua salada en aleaciones ZnAl.

**Universidad:** Repositorio Digital Escuela Superior Politécnica del Litoral

**Lugar:** Guayaquil

**Año:** 1993

**Conclusiones:**

- La corrosión es extremadamente sensible a la composición química de la aleación y a las propiedades o características del medio electrolítico, se comprueba que las aleaciones sumergidas en medios electrolíticos a altas temperaturas se activan más rápidamente que las sumergidas en soluciones a temperatura ambiental. De manera que, la selección de las aleaciones dependerá del lugar donde se empleen.
- Mientras mayor sea el porcentaje de aluminio en la aleación, se observará que mayor es la sensibilidad que presentan estas para provocar un drenaje de electrones más elevado, lo cual indica que el mismo se inicia con perturbaciones más pequeñas.

- Estas aleaciones en agua de mar presentan características tales que muestran un excelente comportamiento al ser acoplados en forma galvánica con materiales como el acero.
- Un material (en este caso la aleación ILZRO) al estar sometido a un voltaje cuando se encuentra sumergido en agua de mar, adquiere características anódicas.
- El incremento en la temperatura del medio en el cual se encuentra una aleación donde el zinc está en mayor porcentaje, indica un cambio en su polaridad convirtiéndolo en menos electronegativo.

**Autor:** G. Torres Villaseñor, J. Negrete y L. Valdés

**Tema:** Propiedades y Usos del Zinalco

**Universidad:** Revista Mexicana de Física N° 3 (Instituto de Investigaciones en Materiales Universidad Autónoma de México).

**Lugar:** México DF

**Año:** (1985)

**Conclusiones:**

- Entre los resultados más relevantes obtenidos en este estudio, se encuentra el hecho de que el Zinalco con cualquiera de sus microestructuras tiende a formar una capa de óxido protector al someterlo al vapor de agua, como se puede inferir de las curvas de ganancia en peso contra tiempo de exposición.
- El material deformado presenta una mayor ganancia en peso, posiblemente debido a que, la deformación produce levantamiento de los granos (relieve superficial); esto implica un aumento de la superficie efectiva reflejándose en una mayor cantidad de óxido protector formado.

- La maquinabilidad del Zinalco es excelente, muy parecida a la del latón para maquinado rápido (Cu-33Zn-3.2Pb); esta propiedad le permite encontrar una gran variedad de aplicaciones.
- Los tornillos fabricados con esta aleación tendrían la propiedad de tener alta resistencia a la corrosión y no formar par eléctrico ni con aluminio ni con el acero, pudiéndose usar tanto en torres eléctricas como en el ensamblaje de ventanas.

## **2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA**

La investigación se basa en un paradigma neopositivista porque con este estudio lo que se pretende es obtener las diferentes propiedades mecánicas que presentaran la aleación de ZnAl datos que podrán ser determinados por medio de ensayos, estudios debido a que toda esta realidad existe independientemente del sujeto ilustrado. Por lo que las leyes y verdades son absolutas, eternas, fijas e inmutables.

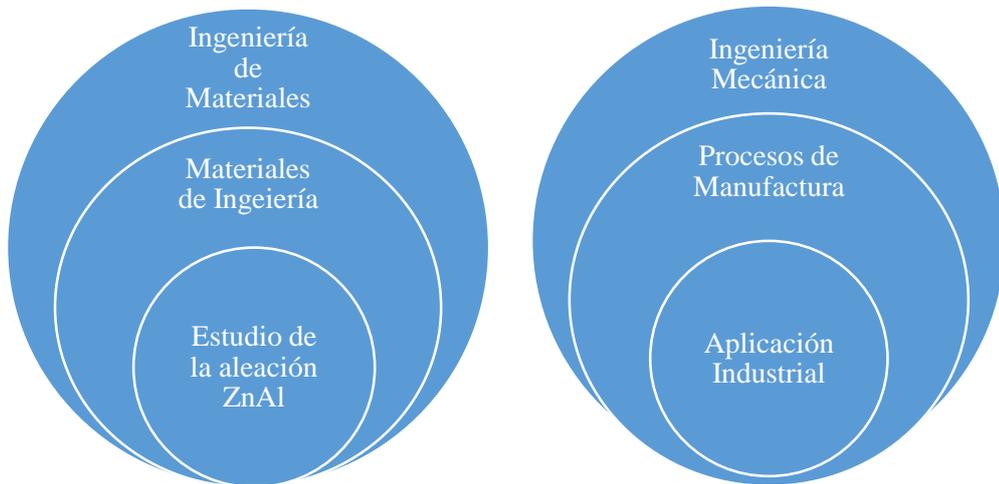
## **2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

La presente investigación se desarrollará basada en las normas técnicas ASTM:

- ASTM E-8.- Especificación Estándar para ensayos de Tracción en materiales metálicos. (Anexo A1)
- ASTM E-18 Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials<sup>1,2</sup> (Anexo A2)
- ASTM E-10 Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials<sup>1</sup>. (Anexo A3)
- ASTM E-3 Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens<sup>1</sup>. (Anexo A4)
- ASTM E140 - 12b Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness. (Anexo A5)
- ASTM E-23. Standard Test Method for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. (Anexo A6)

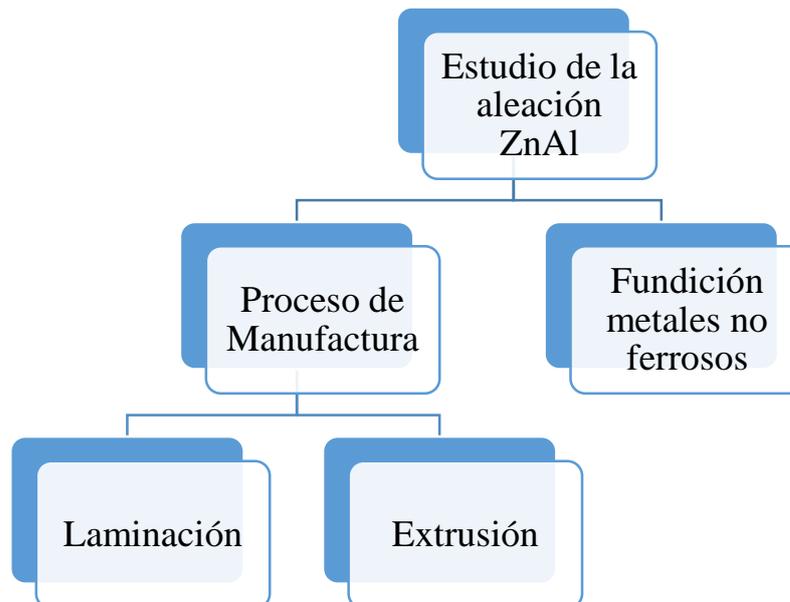
- ASTM E-112 - 96. Standard Test Methods for Determining Average Grain Size. (Anexo A7)

## 2.4 RED DE CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



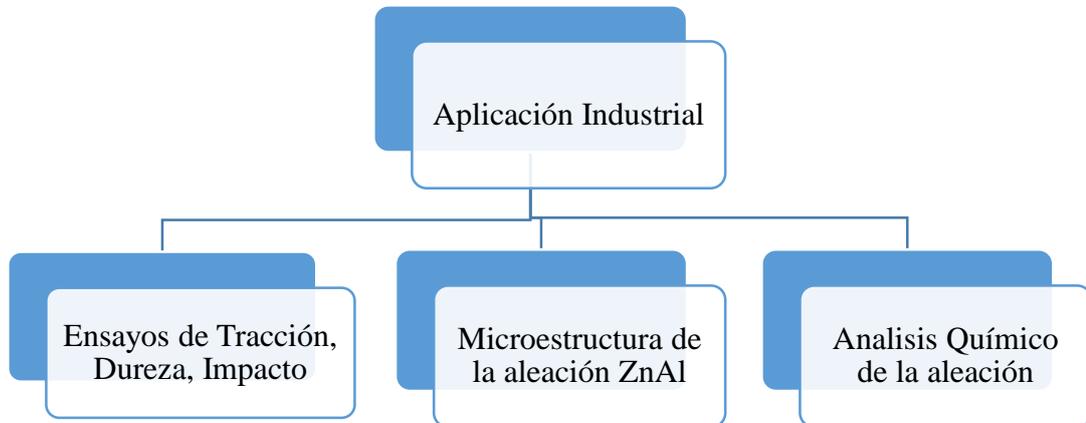
**Gráfico 2-1** Categorías fundamentales  
(Fuente: Autor)

### Variable Independiente



**Gráfico 2-2** Variable Independiente  
(Fuente: Autor)

## Variable Dependiente



**Gráfico 2-3** Variable dependiente  
(Fuente: Autor)

### 2.4.1 Zinc y sus propiedades



**Gráfico 2-4** Zinc  
(Recuperado de <http://en.wikipedia.org/wiki/Zinc>)

Elemento cuyo símbolo es Zn, su número atómico igual a 30, peso atómico 65,37 g/mol. Maleable, dúctil y de color gris. Se conocen 15 isótopos, cinco de estos son estables con masas atómicas de 64, 66, 67, 68 y 70 (g/mol). Casi la mitad del zinc se encuentra como isótopo cuya masa atómica es igual a 64 g/mol.

Las aplicaciones principales del zinc son las aleaciones y el recubrimiento protector de otros metales. El hierro que se encuentra recubierto con zinc es nombrado como galvanizados, y lo cual se puede realizar por medio de inmersión en zinc fundido (hot-dip), aportando zinc electrolíticamente sobre el material, como un baño chapeado (electro galvanizado), colocando al material en zinc en polvo, cerca de su punto de fusión o esparciendo zinc fundido sobre el mismo (metalizado).

El zinc es uno de los elementos menos comunes; se sabe que forma parte de la del globo terráqueo en un 0.0005-0.02%. Ocupa el puesto número 25 en orden de abundancia entre los elementos. Su mineral primordial es la blenda, marmatita o esfalerita de zinc, ZnS. Es un elemento muy importante para poder desarrollar algunas clases de organismos vegetales y animales.

El color del zinc puro es blanco azulado, lustroso y moderadamente duro (2.5 en la escala de Mohs). Su color gris se debe a que el aire produce un empañamiento sobre su superficie. El zinc puro suele ser dúctil y maleable logrando enrollarlo y tensarlo, en cantidades pequeñas. Se funde a 420°C (788°F) y hierve a 907°C (1665°F). Su densidad es 7.13 veces mayor que la del agua, ya que pesa un pie cúbico (0.028m<sup>3</sup>) pesa 445 lb (200 Kg).<sup>[8]</sup>

**Tabla 2-1** Propiedades del Zinc

<b>Nombre</b>	Zinc
<b>Número atómico</b>	30
<b>Valencia</b>	2
<b>Estado de oxidación</b>	+2

<b>Electronegatividad</b>	1,6
<b>Radio covalente (Å)</b>	1,31
<b>Radio iónico (Å)</b>	0,74
<b>Radio atómico (Å)</b>	1,38
<b>Configuración electrónica</b>	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>
<b>Primer potencial de ionización (eV)</b>	9,42
<b>Masa atómica (g/mol)</b>	65,37
<b>Densidad (g/ml)</b>	7,14
<b>Punto de ebullición (°C)</b>	906
<b>Punto de fusión (°C)</b>	419,5

(Recuperado de <http://en.wikipedia.org/wiki/Zinc>)

#### 2.4.2 Aluminio y sus propiedades

Las aleaciones no ferrosas a diferencia de las aleaciones ferrosas, son las que no tienen como principal metal de aleación al hierro, sino un metal distinto a este como por ejemplo el aluminio.

Las aleaciones de aluminio son las más importantes entre las no ferrosas, principalmente por su ligereza, endurecibilidad mediante deformación, resistencia a la corrosión y su precio relativamente bajo en comparación con los metales ferrosos.

Dependiendo de su densidad, los metales no férricos se pueden clasificar en:

- Metales pesados: Su densidad es igual o mayor a  $5 \text{ kg/dm}^3$ , entre ellos están: el cobre, el plomo, el zinc, el cromo, el estaño, el níquel, el mercurio, el wolframio, etc.
- Metales ligeros: Su densidad varía entre 2 y  $5 \text{ kg/dm}^3$ , siendo los más empleados el aluminio y el titanio.
- Metales ultraligeros: Su densidad es menor de  $2 \text{ kg/dm}^3$ , siendo el magnesio el más utilizado en la industria.<sup>[4]</sup>

#### **2.4.2.1 Datos generales del aluminio**

El aluminio es un elemento químico, de símbolo Al y número atómico 13. El Aluminio es un metal no ferroso. Es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre. Los compuestos de aluminio forman el 8% de la corteza de la tierra y se encuentran presentes en la mayoría de las rocas, de la vegetación y de los animales.

En estado natural se encuentra en muchos silicatos (feldespatos, plagioclasas y micas). Como metal se extrae del mineral conocido con el nombre de bauxita, por transformación primero en alúmina mediante el proceso Bayer y a continuación en aluminio mediante electrólisis. Este metal posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería mecánica, tales como su baja densidad ( $2700$

$\text{kg/m}^3$ ) y su alta resistencia a la corrosión. Mediante aleaciones adecuadas se puede aumentar sensiblemente su resistencia mecánica (hasta los 690 MPa). Es buen conductor de la electricidad, se mecaniza con facilidad y es relativamente barato. Por todo ello es el metal que más se utiliza después del acero.

Fue aislado por primera vez en 1825 por el físico danés H. C. Oersted. El principal inconveniente para su obtención reside en la elevada cantidad de energía eléctrica que requiere su producción. Este problema se compensa por su bajo coste de reciclado, su dilatada vida útil y la estabilidad de su precio.<sup>[4]</sup>

#### **2.4.2.2 Características físicas:**

- Es un metal ligero, cuya densidad o peso específico es de  $2700 \text{ kg/m}^3$  (2,7 veces la densidad del agua).
- Tiene un punto de fusión bajo:  $660^\circ\text{C}$  ( $933 \text{ K}$ ).
- El peso atómico del aluminio es de  $26,9815 \text{ g/mol}$ .
- Es de color blanco brillante.
- Buen conductor del calor y de la electricidad.
- Resistente a la corrosión.
- Abundante en la naturaleza.
- Material fácil y barato de reciclar.<sup>[4]</sup>

#### **2.4.2.3 Características mecánicas:**

- De fácil mecanizado.
- Muy maleable, permite la producción de láminas muy delgadas.
- Bastante dúctil, permite la fabricación de cables eléctricos.
- Material blando (Escala de Mohs: 2-3).
- Límite de resistencia en tracción:  $160\text{-}200 \text{ N/mm}^2$  [ $160\text{-}200 \text{ MPa}$ ] en estado puro, en estado aleado el rango es de  $1400\text{-}6000 \text{ N/mm}^2$ .
- Material que forma aleaciones con otros metales para mejorar las propiedades mecánicas.
- Permite la fabricación de piezas por fundición, forja y extrusión.
- Material soldable.<sup>[4]</sup>

#### **2.4.3 Aleaciones**

Desde el punto de vista físico, el aluminio puro posee una resistencia muy baja a la tracción y una dureza escasa. En cambio, unido en aleación con otros elementos, el aluminio adquiere características mecánicas muy superiores. Una de las principales razones por las que las aleaciones de aluminio se desarrollaron fue por encontrar calidades de fundiciones idóneas, como fluidez y capacidad de alimentación, así como también la optimización de propiedades como resistencia a la tensión,

ductilidad y resistencia a la corrosión. El silicio en un rango entre el 5 al 12% es el elemento aleante más importante porque promueve un aumento de la fluidez en los metales fundidos. En menores cantidades se añade magnesio, o cobre con el fin de aumentar la resistencia de las piezas.

#### **2.4.3.1 Aportes de los elementos aleantes**

Los principales elementos aleantes del aluminio son los siguientes:

- Cromo (Cr): aumenta la resistencia mecánica cuando está combinado con otros elementos como el Cu, Mn, Mg.
- Cobre (Cu): aumenta las propiedades mecánicas pero disminuye la resistencia a la corrosión.
- Hierro (Fe): incrementa la resistencia mecánica.
- Magnesio (Mg): tiene alta resistencia tras el conformado en frío.
- Manganeso (Mn): incrementa las propiedades mecánicas.
- Silicio (Si): combinado con magnesio (Mg), tiene mayor resistencia mecánica.
- Titanio (Ti): aumenta la resistencia mecánica.
- Zinc (Zn): reduce la resistencia a la corrosión.

#### **2.4.4 Fundición**

##### **2.4.4.1 Introducción**

El proceso de fundición de los metales consiste en obtener un producto, introduciendo el metal en estado líquido en un recipiente con la forma apropiada, Denominado molde. Este recipiente puede ser de arena o también puede ser metálico (coquilla).<sup>[4]</sup>

El proceso de fundición de metales se aplica principalmente para obtener, piezas de gran tamaño y formas complicadas, como por ejemplo:

- Bancadas para máquinas herramientas.
- Culatas para motores de explosión.
- Hélices para buques.

- Campanas, piezas inyectadas, etc.

Teóricamente cualquier material se puede emplear para la fundición, pero se debe emplear los que presenten mejores condiciones de fusibilidad y colabilidad. Entre los metales más empleados en la fundición tenemos:

- Aleaciones de hierro: Para bancadas y órganos macizos de metal, etc.



**Gráfico 2-5** Bancada de hierro  
(Pando F y Zapatán C, 2012, p.60).

- Aleaciones de cobre y zinc (latones): Para grifería, valvulería, entre otros.



**Gráfico 2-6** Accesorios  
(Pando F y Zapatán C, 2012, p.61).

- Aleaciones de cobre y estaño (bronces): Para hélices, cojinetes, etc.



**Gráfico 2-7** Acople de bronce  
(Pando F y Zapatán C, 2012, p.61).

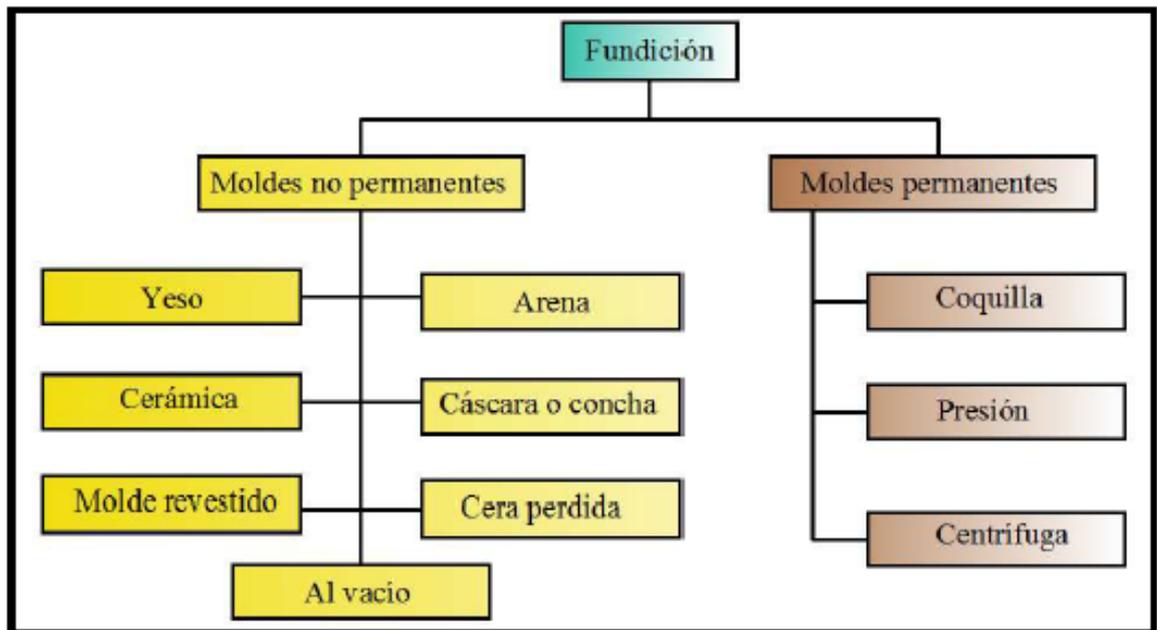
- Aleaciones de aluminio: Para culatas de motores, pistones, etc.



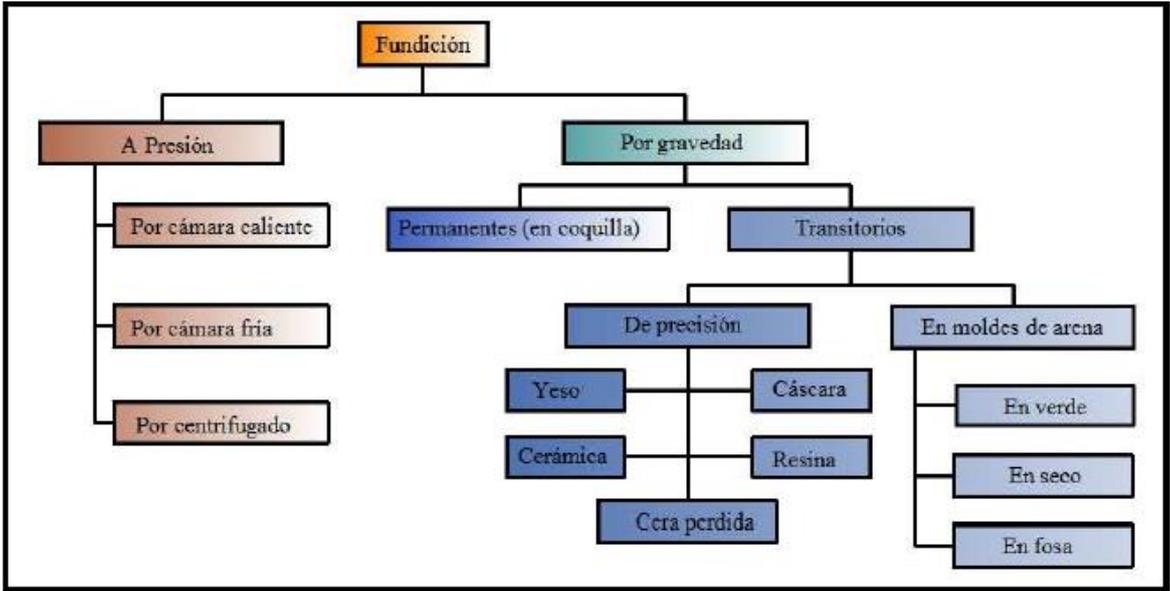
**Gráfico 2-8** Pistón  
(Pando F y Zapatán C, 2012, p.61).

#### 2.4.4.2 Clasificación de los sistemas de fundición

Existen varias maneras para una posible clasificación de las técnicas de fundición que dependen del juicio empleado. Las dos más destacadas, la primera por la naturaleza del molde y la segunda por la forma de ingreso del metal al molde.<sup>[4]</sup>



**Gráfico 2-9** Clasificación de la fundición según el criterio de tipo de molde  
(Pando F y Zapatán C, 2012, p.62).



**Gráfico 2-10** Clasificación de la fundición según el criterio de la forma de ingreso del metal al molde.  
(Pando F y Zapatán C, 2012, p.62).

### 2.4.4.3 Características generales de los procesos de fundición

**Tabla 2-2** Características generales de los procesos de fundición

Proceso	Materiales fundiciones típicos	Peso (kg)		Acabado superficial típico ( $\mu m, R_a$ )	Porosidad	Complejidad de forma	Precisión dimensional	Espesor de la sección (mm)	
		Mínimo	Máximo					Mínimo	Máximo
Arena	Todos	0,05	Sin limite	5-25	4	1-2	3	3	Sin limite
Moldeo en cáscara	Todos	0,05	100+	1-3	4	2-3	2	2	–
Molde de yeso	No Ferrosos (Al, Mg, Zn, Cu)	0,05	50+	1-2	3	1-2	2	1	–
Cera perdida	Todos (Elevado punto de fusión)	0,05	100+	1-3	3	1	1	1	75
Molde permanente	Todos	0,05	300	2-3	2-3	3-4	1	2	50
Troquel	No Ferrosos (Al, Mg, Zn, Cu)	<0,05	50	1-2	1-2	3-4	1	0,5	12
Centrífugo	Todos	–	5000+	2-10	1-2	3-4	3	2	100

Calificación relativa: 1 el mejor, 5 el peor.

Nota: Estas calificaciones son solo generales; dependiendo de los métodos utilizados pueden ocurrir variaciones significativas.

(Pando F y Zapatán C, 2012, p.65).

#### 2.4.4.4 Ventajas y limitaciones de los procesos de fundición.

**Tabla 2-3** Ventajas y limitaciones de los procesos de fundición

Proceso	Ventajas	Limitaciones
Arena	Se puede colocar prácticamente cualquier metal; no hay límite de tamaño, forma o peso; costo de herramienta bajo.	Se requiere acabado posterior; acabado áspero; tolerancias amplias.
Moldeo en cáscara	Buena precisión dimensional y acabado superficial; alta velocidad de producción.	Restricciones en el tamaño del producto; se requieren modelos y equipos costosos.
Molde de yeso	Formas complicadas; precisión dimensional y acabados buenos; porosidad baja.	Limitado a metales no ferrosos; tamaño y volumen de producción limitados; tiempo de fabricación del molde relativamente largo.
Molde cerámico	Formas complejas; piezas de tolerancias estrechas; buen acabado superficial.	Tamaño limitado.
Fundición por revestimiento	Formas complejas; acabado superficial y precisión excelente; prácticamente se puede fundir cualquier metal.	El tamaño del producto es limitado; modelos, moldes y mano de obra costosos.
Molde permanente	Acabado superficial y precisión dimensional aceptable; porosidad baja; velocidad de producción alta.	Costo del molde elevado; forma y complejidad limitados; no adecuado para metales de alto punto de fusión.
Troquel	Precisión dimensional y acabado superficial excelentes, velocidad de producción elevada.	El costo de la matriz es elevado; el tamaño de la pieza es limitado; por lo general limitado a metales no ferrosos.
Centrífugo	Grandes piezas cilíndricas de buena calidad; alta velocidad de producción.	El equipo es costoso; la forma del producto es limitada.

(Pando F y Zapatán C, 2012, p.66).

## 2.4.5 Tipos de hornos para materiales no ferrosos

**Tabla 2-4** Tipos de hornos

<b>Tipos de hornos</b>		
<b>Hornos de crisol móvil</b>	<p>El crisol es removido del horno y llevado hasta los moldes para vaciar el metal. Este horno se puede construir sobre o bajo el nivel del suelo. En ambos casos el horno es fijo.</p> <p>Son extremadamente flexibles, tanto en relación a las aleaciones como a las cantidades. Se pueden usar crisoles distintos para diferentes aleaciones.</p>	
<b>Horno de crisol fijo</b>	<p>El metal es retirado del crisol con cucharas y transferido a los moldes.</p> <p>Se utilizan, principalmente, para fundición bajo presión, donde se necesitan pequeñas cantidades a intervalos frecuentes.</p>	

(Saltos J y Vargas J, 2009, p.76).

**Tabla 2-5** Tipos de Hornos

<p><b>Hornos Basculantes</b></p>	<p>Son hornos móviles apoyados sobre un sistema de sustentación. Usualmente se les utiliza cuando es necesaria una producción relativamente grande de una aleación determinada. El metal es transferido a los moldes en una cuchara o un crisol precalentado, con la excepción de casos especiales en que es vaciado directamente.</p>	 <p>Fuente: TEKNOAUSTRAL, Industria Argentina.</p>
<p><b>Horno de crisol inmerso</b></p>	<p>Es el inverso del horno normal de crisol, en el sentido de que la llama quema dentro del crisol que está inmerso en el baño de aleación de zinc o aluminio, el cual se encuentra en un recipiente refractario.</p>	 <p>Fuente: TEKNOAUSTRAL, Industria Argentina.</p>
<p><b>Horno rotativo de crisol</b></p>	<p>Se utilizan para la recuperación de viruta, escoria y otros tipos de chatarra menuda, el horno contiene un crisol con forma de garrafa. El cuerpo del horno y el crisol giran constantemente durante la fusión, trayendo el metal para el lado caliente del crisol y tirando la limadura no fundida hacia adentro y abajo del metal ya fundido. De esta forma, la rotación proporciona una fusión más rápida y también evita la adhesión de la carga a las paredes del crisol, como ocurre frecuentemente con los hornos convencionales.</p>	 <p>Fuente: TEKNOAUSTRAL, Industria Argentina.</p>

(Saltos J y Vargas J, 2009, p.77).

### **2.4.5.1 Horno de Crisol**

En estos hornos el metal se funde en un crisol, los mismos que son recipientes de arcilla mezclada con grafito y otras sustancias, provistos de una tapa para cierre hermético, que una vez cargados y cerrados se caldean, utilizando combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

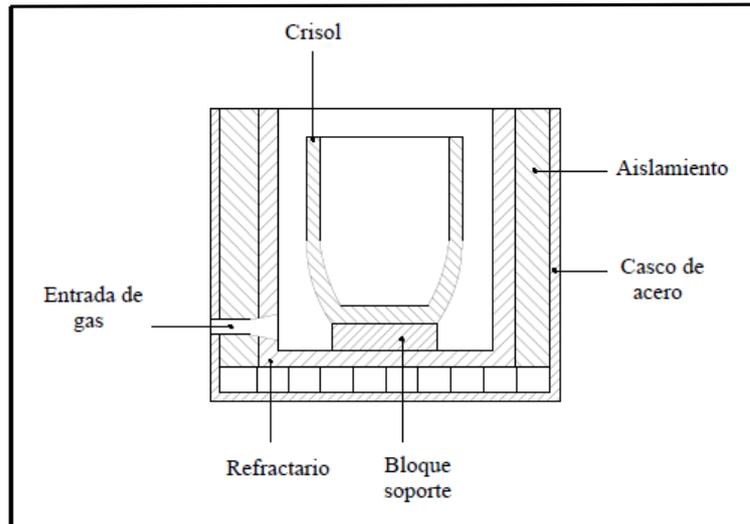
La fusión en crisoles es uno de los procedimientos más antiguos y sencillos para elaborar metales, que probablemente se empleará siempre por la economía de su instalación sobre todo para fundir pequeñas cantidades.

Los hornos de crisoles clásicos eran de tipo de foso y se colocaban en ellos los crisoles rodeados de carbón, a una distancia mínima de 10 cm. de las paredes del horno.

Los hornos de crisoles más modernos se construyen para el caldeo de un solo crisol, cuya parte superior sobresale del horno. Si los hornos son fijos se extrae el caldo con cuchara, pero también se construyen hornos de crisol basculantes. En los que la colada resulta más cómoda. En estos tipos de hornos se calienta primero el crisol vacío, hasta que llega al rojo cereza y después se carga.

La ventaja de los hornos de crisoles modernos, tanto fijos como basculantes, es que la carga queda totalmente aislada, y por tanto, no se altera su composición por efecto de los gases producidos en la combustión.<sup>[4]</sup>

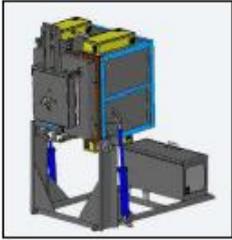
A continuación en la figura se tiene las partes de un horno de crisol:



**Gráfico 2-11** Horno de crisol  
(Pando F y Zapatán C, 2012, p.80).

En los hornos de crisol fijo se distinguen dos tipos, ver la tabla 2-5:

**Tabla 2-6** Horno de crisol fijo y basculante

<p>Hornos fijos</p>	<p>Se destinan fundamentalmente al mantenimiento a temperatura, del metal fundido o ligero sobrecalentamiento y en ocasiones a fusión.</p>	
<p>Hornos basculantes</p>	<p>Destinados casi exclusivamente a la fusión de materiales. En grandes empresas por lo general se tiene un par de hornos basculantes y varios fijos situados en los puestos de colado.</p>	 <p>Fuente: TEKNOAUSTRAL, Industria Argentina</p>

(Pando F y Zapatán C, 2012, p.80).

## Estado de la fundición en el Ecuador

Respecto a la producción nacional, no ha sido posible obtener información en el INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos), debido a que la producción es tan anecdótica que no se recoge en las estadísticas o está concentrada en unos pocos productores y por lo tanto por temas de protección de datos no se facilita. A continuación datos de las industrias fundidoras actualizados hasta el 2008.<sup>[7]</sup>

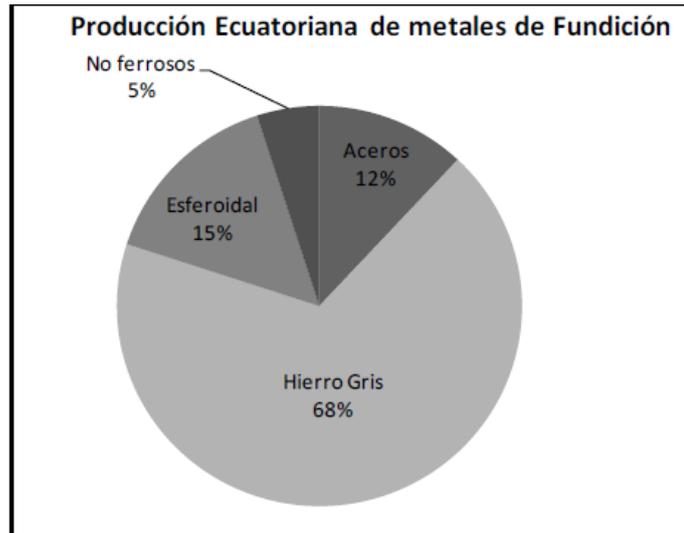
**Tabla 2-7** Producción ecuatoriana de metales en tonelada por fundición en el 2008

Año	Hierro Gris	Esferoidal	Aceros	No Ferrosos	Total	Otros
2008	24000	5380	4250	1750	35380	11380
%	67,8	25,2	12	4,9	100	32,2

(Villamarin D. y Vozmediano, B. 2010, p.87).

- **Producción Ecuatoriana año 2008**

La producción Ecuatoriana de metales de fundición tiene un amplio campo en la industria de Hierro Gris con una participación del 68%, seguida por la industria esferoidal con 15%, la industria del acero con 12% y la industria de los No Ferrosos con 5% de la producción total. En el gráfico siguiente se pueden observar las participaciones de las industrias.<sup>[7]</sup>



**Gráfico 2-12** Producción ecuatoriana de metales de fundición (Villamarin D. y Vozmediano, 2010, p.87).

## 2.4.6 Variable dependiente

### 2.4.6.1 Propiedades mecánicas de los materiales

Para diseñar un elemento mecánico se debe conocer las características del material cuando están sometidos a fuerzas o cargas. Dependiendo de la aplicación se debe cuidar que el material no sea sometido a esfuerzos excesivos con la consecuente fractura del elemento. El desempeño mecánico de un material es el reflejo de la relación entre su respuesta o deformación ante una fuerza o carga aplicada. Varias de las propiedades mecánicas indispensables son la resistencia, la dureza, la ductilidad y la rigidez. Las propiedades de los materiales son obtenidas realizando ensayos de laboratorio.<sup>[2]</sup>

- a) **Deformación elástica:** alteración del material que se recupera al eliminar la fuerza aplicada.
- b) **Deformación plástica:** alteración permanente de un material al aplicarle una carga y después quitarla.

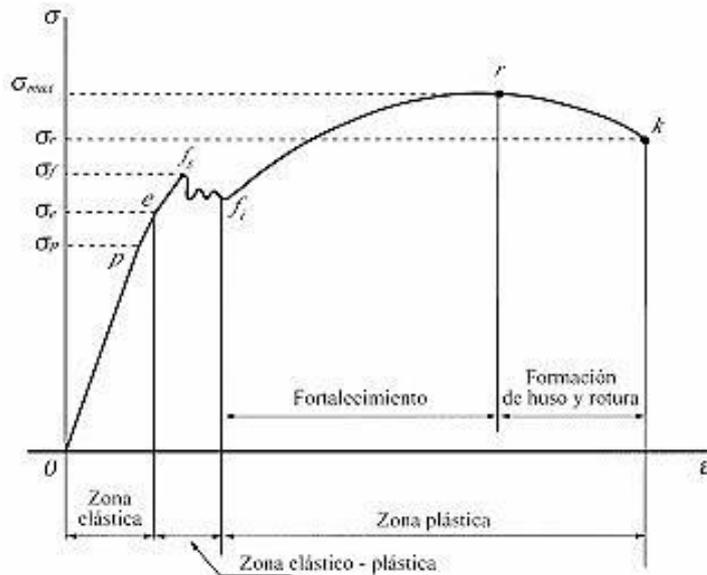
### 2.4.7 Ensayo de tracción

Generalmente el ensayo se realiza tradicionalmente en una máquina de ensayos universal.



**Gráfico 2-13** Máquina de ensayos Universal Tinius Olsen capacidad 30 ton, empleada en ensayos de tracción. (Laboratorio FICM - UTA).

En el ensayo de tracción se mide la deformación, esto quiere decir la extensión que experimenta el material en la fase de ensayo por la acción de la fuerza aplicada, la magnitud de la deformación en función de la fuerza aplicada da origen a un diagrama de esfuerzo – deformación.



**Gráfico 2-14** Curva esfuerzo deformación ingenieril para un material metálico. (Sánchez V y Campos S, 2010, p.142).

$$e = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad \text{Ec. 1}$$

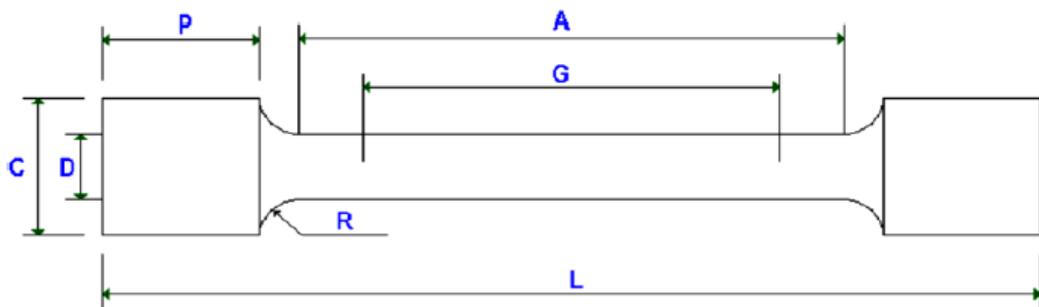
Donde  $l_0$  es la longitud inicial de la muestra y es una nueva longitud de la muestra después de haber sido estirada por una fuerza tensora uniaxial. En la mayoría de los casos, la deformación se determina mediante el uso de una pequeña longitud, normalmente 2 pulgadas, que se denomina longitud de calibración, dentro de una muestra más larga. Las unidades de deformación ingenieril no tienen dimensiones.

Las piezas que van a ser ensayadas deben estar normadas, esto quiere decir que deben cumplir con las especificaciones internacionales conforme al diseño de la pieza que se va a tensionar. Una de las normas más importantes que rigen este ensayo es la norma ASTM E-8, donde se utilizan piezas cilíndricas con una longitud de trabajo de 2 pulg sin embargo. En la figura 18 se presenta una probeta para tracción tipo “hueso de perro” con las dimensiones estandarizadas conforme a la norma ASTM E-8.<sup>[6]</sup>

**Tabla 2-8** Dimensiones Generales

DENOMINACIÓN	NORMAL	MAS PEQUEÑAS PROPORCIONALES A LA NORMA
G = Longitud calibrada	$50 \pm 0.10$ mm	$35 \pm 0.10$ mm, $25 \pm 0.10$ mm, $16 \pm 0.10$ mm, $10 \pm 0.10$ mm
D = Diámetro Sección calibrada	$13 \pm 0.25$ mm	$8.8 \pm 0.18$ mm, $6.0 \pm 0.10$ mm, $4.0 \pm 0.8$ mm, $2.5 \pm 0.05$ mm
R = Radio Zona de transición	10 mm	6 mm, 5 mm, 4 mm, 2 mm
A = Longitud Total aproximada	60 mm	45 mm, 32 mm, 19 mm, 16 mm
L = Longitud Total aproximada	125 mm	APROX. DEBE PENETRAR 2/3 O MAS EN LA MORDAZA
P = Longitud Zona de sujeción	35 mm	
C = Diámetro zona de sujeción	20 mm	

(Atacusí B, 2013, p.35).



**Gráfico 2-15** Probeta cilíndrica para el ensayo de tracción con las dimensiones especificadas en la norma ASTM E-8. (Sánchez V y Campos S, 2010, p.141).

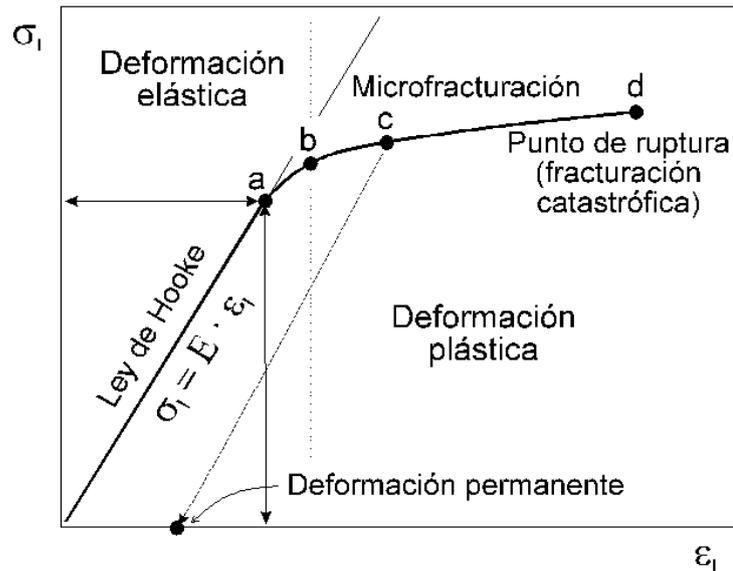
**Tabla 2-9** Parámetros mecánicos que se obtienen por medio del ensayo de tracción, usos y aplicaciones

Ensayo	Parámetros que se van a obtener	Usos y Aplicaciones
Tracción  $S = \frac{P}{A_0}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esfuerzo de cedencia</li> <li>• Resistencia ténsil</li> <li>• Porcentaje de elongación</li> <li>• Porcentaje de reducción de área</li> </ul>	Especificación de materia prima y/o producto final
$e = \frac{\Delta l}{l_0}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Módulo de Young</li> <li>• Tenacidad</li> <li>• Resistencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metales y aleaciones</li> <li>• Plásticos y hules</li> <li>• Polímeros rígidos</li> <li>• Textiles y papel</li> </ul>

(Figueroa U, 2008, p.38).

#### 2.4.7.1 Esfuerzo de cedencia

El esfuerzo de fluencia, o de cedencia, es un parámetro mecánico muy importante, principalmente para el diseño de ingeniería estructural, ya que es el esfuerzo donde el material muestra una deformación plástica significativa. En materiales metálicos y poliméricos es difícil determinar por si solo dónde existe un cambio entre la zona elástica y la zona plástica del material. Por esto, y de acuerdo con la norma ASTM E-8, el esfuerzo de fluencia ( $S_f$ ) se elige cuando ha tenido lugar 0.2% de deformación plástica.



**Gráfico 2-16** Parámetros mecánicos obtenidos en el ensayo de tracción (Sánchez V y Campos S, 2010, p.145).

El método para determinar este parámetro es sencillo primero se traza una paralela a la zona elástica de la gráfica esfuerzo-deformación ingenieril a 0.002 in/in de la deformación total, el punto de intersección de esta línea con la curva se proyecta hacia el eje ordenado donde se encuentra el esfuerzo ingenieril, y exactamente el valor de esfuerzo encontrado será el esfuerzo de fluencia del material estudiado.

#### 2.4.7.2 Resistencia máxima a la tracción

La resistencia máxima a la tracción es el máximo esfuerzo alcanzado en la curva esfuerzo-deformación ingenieril. Por lo común, cuando el material alcanza su esfuerzo máximo, empieza a formarse en la parte central de la probeta una estricción o reducción de su sección transversal, denominada “cuello de botella”. Esto quiere decir que la deformación aumenta mientras el esfuerzo disminuye hasta llegar a la fractura. Cuanto más dúctil sea un material, más se alargará la muestra antes de la fractura y, por consiguiente, mayor será la disminución en el esfuerzo sobre la curva esfuerzo-deformación más allá del esfuerzo máximo. La resistencia máxima a la tracción no es utilizada mucho en la ingeniería de diseño para aleaciones dúctiles, dado que tiene lugar una deformación demasiado plástica antes de que se alcance. Sin embargo la resistencia máxima a la tracción puede dar alguna indicación de la

presencia de defectos macroscópicos en el material; esto es, este parámetro disminuye conforme los defectos estén presentes en la muestra.<sup>[6]</sup>

### **2.4.7.3 Porcentaje de elongación**

La cantidad de elongación que un espécimen experimenta muestra claramente su valor de ductilidad. Esta ductilidad se expresa como porcentaje de elongación tomando la dimensión de referencia de 2 pulgadas. Cuando un material presenta un mayor porcentaje de elongación es más dúctil, se comporta bajo la acción de esfuerzos axiales. Este parámetro es importante para el control de calidad de las muestras ensayadas, puesto que es dependiente de la presencia de imperfecciones en las probetas:

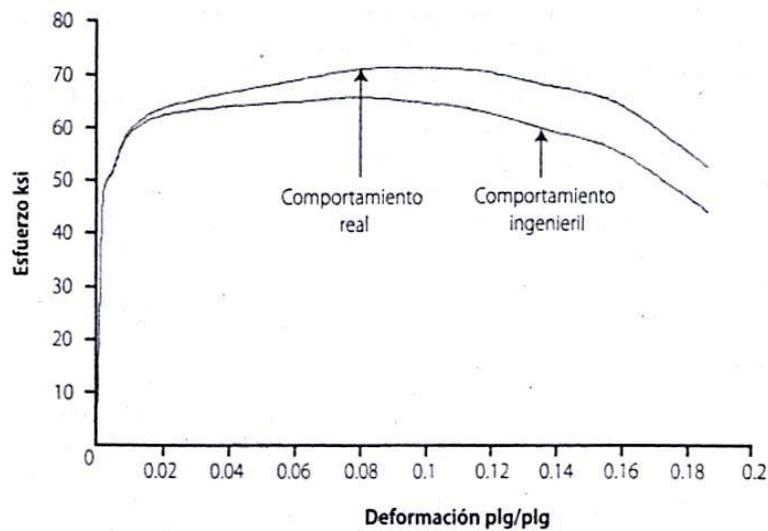
$$\text{Porcentaje de elongación} = \frac{l-l_0}{l_0} * 100\% \quad \text{Ec.2}$$

Donde  $l$  es la longitud final y  $l_0$  es la longitud inicial.

Donde  $A_0$  es el área inicial de la probeta y  $A_f$  es el área final de la muestra después de ser traccionada.

### **2.4.7.4 Esfuerzo real y deformación real**

Las dimensiones de la probeta en tracción cambian constantemente durante el ensayo, por lo que el esfuerzo real y la deformación real son mucho más grandes que el esfuerzo ingenieril y la deformación ingenieril que consideran las dimensiones iniciales de la probeta para los cálculos posteriores. En el campo del diseño, las operaciones de formado de un material establecen estos valores verdaderos, porque describen la necesidad de la carga real del material para el flujo plástico.



**Gráfico 2-17** Comportamiento entre el esfuerzo ingenieril y la deformación ingenieril versus el esfuerzo real y la deformación real.  
(Sánchez V y Campos S, 2010, p.146).

El esfuerzo real se define como:

$$S_{real} = \frac{P}{A_{inst}} \quad \text{Ec. 3}$$

Y la deformación real se presenta con:

$$e_{real} = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{L_0} \quad \text{Ec. 4}$$

La ecuación se expresa como:

$$e_{real} = \ln \frac{L}{L_0} = \ln \frac{L_0 + \Delta L}{L_0} = \ln(1 + e) \quad \text{Ec. 5}$$

En el caso del esfuerzo real:

$$S_{real} = \frac{P}{A_{inst}} \frac{A_0}{A_0} = S \frac{L}{L_0} = S(1 + e) \quad \text{Ec. 6}$$

Estas dos últimas expresiones solamente son válidas hasta la carga máxima. Posteriormente, se debe determinar el esfuerzo verdadero a partir de mediciones reales de carga y área de sección transversal. La deformación verdadera se establece por mediciones del área o del diámetro.

#### 2.4.8 Dureza

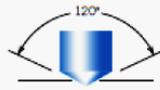
Es la resistencia que un cuerpo opone a la penetración de otro cuerpo más duro entonces para la medición de la dureza podría hacerse como la determinación de la fuerza que se necesita para vencer esta resistencia.

Un número diferente de conceptos arbitrarios a de dureza forman la base para los ensayos de dureza que son usados en la actualidad. Algunas de estas definiciones son:

- Resistencia a la indentación permanente bajo cargas estáticas o dinámicas – dureza por penetración.
- Absorción de energía bajo cargas de impacto – dureza por rebote.
- Resistencia a la abrasión – dureza por desgaste.
- Resistencia al rayado – dureza por rayado.
- Resistencia a la cortadura, a la perforación – maquinabilidad.

Estas definiciones se desarrollan por la necesidad de lograr expresar cuantitativamente los requerimientos o necesidades bajo diferentes condiciones uso, ya que cada una de las definiciones posee un campo de aplicación útil.<sup>[2]</sup>

**Tabla 2-10** Técnicas de ensayo de dureza

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number <sup>a</sup>
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/t^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	<ul style="list-style-type: none"> <li>⎧ Diamond cone</li> <li>⎩ <math>\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}</math> in. diameter steel spheres</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>60 kg } Rockwell</li> <li>100 kg }</li> <li>150 kg }</li> <li>15 kg } Superficial Rockwell</li> <li>30 kg }</li> <li>45 kg }</li> </ul>	

(Callister W, 2007, p.137).

### 2.4.8.1 Ensayo de dureza brinell

Este tipo de ensaño fue ideado por el sueco J. A. Brinell en los años 1900 un método por el cual resultaba sencillo realizar pruebas de dureza y así obtener resultados aptos para ser reproducidos. Gracias a estos valores conseguidos por este procedimiento se podía llegar a conclusiones muy exactas respecto a la resistencia a la tracción del material. [2]

Para este ensayo se emplea una bola de acero templado la misma que es oprimida con una determinada fuerza P sobre la pieza a analizar, produciendo una huella permanente sobre su superficie, el tamaño de esta en función de la fuerza de compresión aplicada es utilizada como medida de dureza del material.

Se fuerza un indentador de acero templado o de carburo de tungsteno de un diámetro adecuado a la dureza del material contra la probeta, con una fuerza adecuada para la dureza del material. El tiempo de aplicación de la fuerza varía entre 10 - 30 s. El diámetro del indentador de acero endurecido es de 10.00 mm (0.394 pulg). Las cargas bajo normas, están comprendidas entre 500 y 3000 kg en incrementos de 500 kg; durante el ensayo, la carga se mantiene constante durante un tiempo especificado (entre 10 y 30 s). Dependiendo de la aleación examinada; después se quita la carga y se mide el diámetro de la impresión en la probeta con un microscopio o lente especial. Para materiales duros, es poco exacta pero fácil de aplicar. Poco precisa

con chapas de menos de 6 mm de espesor. El valor así obtenido, se aplica a la fórmula Brinell. El número de dureza Brinell se define como la fuerza aplicada dividida por la superficie de contacto entre el indentador y la probeta después de haberse retirado el indentador. Para hallar el grado de dureza Brinell, se emplea la siguiente fórmula:

$$HB = \frac{F}{\left(\frac{\pi}{2}\right)D(D - \sqrt{D^2 - Di^2})} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde F es la carga aplicada en kilogramos, D es el diámetro del penetrador en mm, y Di es el diámetro de la impresión en mm.

**Tabla 2-11** Comparación de ensayos de dureza típicos.

<b>Ensayo</b>	<b>Penetrador</b>	<b>Carga</b>	<b>Aplicación</b>
Brinell	Bola de 10 mm	3000 Kg	Hierro y Acero Fundidos
Brinell	Bola de 10 mm	500 Kg	Aleaciones no ferrosas
Rockwell A	Cono de Diamante	60 Kg	Materiales muy duros
Rockwell B	Bola de 1/16 plg	100 kg	Latón, acero de baja resistencia
Rockwell C	Cono de Diamante	150 Kg	Acero de alta resistencia
Rockwell D	Cono de Diamante	100 Kg	Acero de alta resistencia
Rockwell E	Bola de 1/8 plg	100 Kg	Materiales muy suaves
Rockwell F	Bola de 1/16 plg	60 Kg	Aluminio, materiales suaves
Vickers	Pirámide de diamante	10 Kg	Materiales duros
Knoop	Pirámide de diamante	500 Kg	Todos los materiales

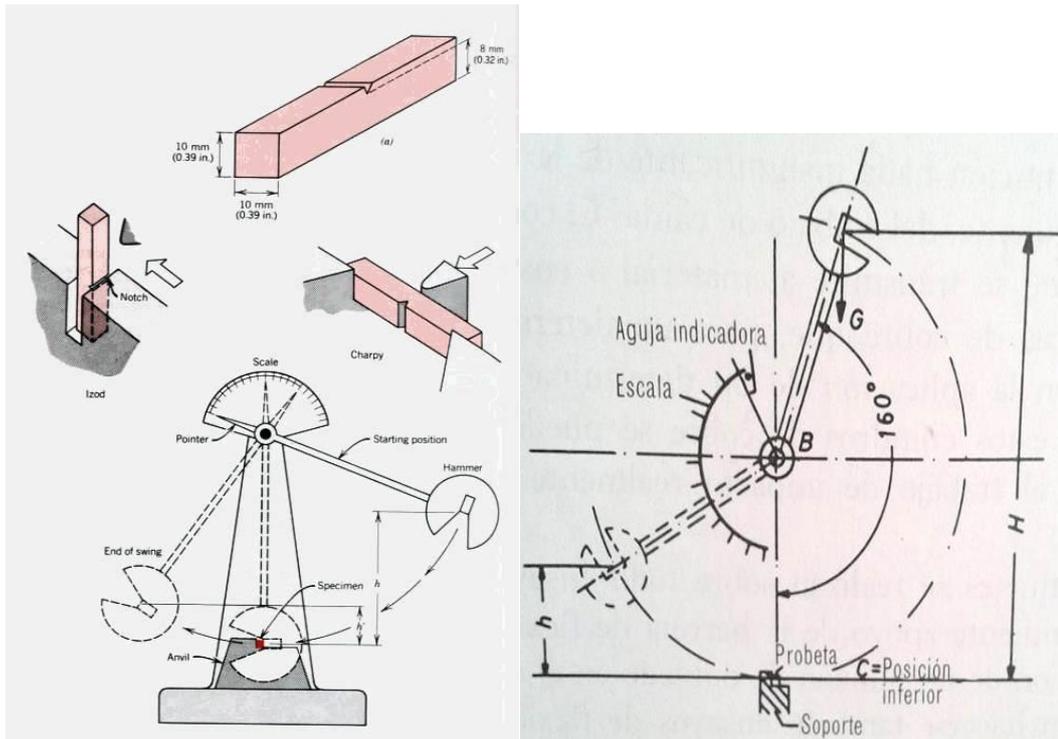
(Callister W, 2007, p.138).

### 2.4.9 Impacto

Los péndulos que se observan en el gráfico 2-18 se utilizan para efectuar el ensayo de resistencia al impacto de materiales, estos equipos no se utilizan solamente para el estudio de materiales metálicos, sino también para comprobaciones de materiales plásticos.

La maza puesta en el extremo de un brazo del péndulo describe un arco de círculo alrededor del punto de apoyo B y, en el punto más bajo de la trayectoria de la maza (C) que transmite su energía a la pieza a ensayar. La maza desarrolla en el lugar C su máxima capacidad de trabajo que viene determinada por el peso de la maza y la altura de caída medida en dirección vertical.

El ensayo de impacto a menudo se utiliza para evaluar la fragilidad del material, se han diseñado muchos procedimientos incluyendo el ensayo Charpy y el ensayo Izod gráfico 2-18. Éste último generalmente se utiliza para materiales no metálicos. La probeta puede o no tener muesca; la que tiene V mide mejor la resistencia del material a la propagación de grietas. En el ensayo de impacto un martillo pesado golpea la probeta, El martillo inicia su recorrido a una altura  $h_0$ , tiene un recorrido circunferencial, rompa la probeta y se eleva hasta una altura  $h_1$ . Al conocer las alturas inicial y final se puede determinar la energía absorbida por la probeta durante la falla o la fractura, que sería la diferencia entre la energía potencial inicial y la energía potencial final. En el caso del ensayo Charpy, la energía por lo general se expresa en lb\*pie o en joules (J) donde  $1 \text{ lb*pie} = 1.356\text{J}$ . Los resultados del ensayo Izod se expresan en lb\*pie/plg o J/m. La capacidad del material para resistir cargas de impacto a menudo se conoce como tenacidad del material.<sup>[2]</sup>



**Gráfico 2-18** Esquema y probetas del ensayo Charpy e Izod (Callister W, 2007, p.211).

#### 2.4.10 Ensayos metalográficos

La metalografía estudia características estructurales de un metal o aleación y de esta forma las relaciona con las propiedades físicas y mecánicas. Algunas de estas propiedades estructurales son: el tamaño de grano, la forma y distribución de las fases que comprenden el material y de las inclusiones no metálicas así como la presencia de irregularidades que profundamente puedan afectar o modificar las propiedades mecánicas del material. El instrumento primordial para la realización de un análisis metalográfico lo constituye el microscopio metalográfico.

Objetivos de un ensayo metalográfico:

- Obtener toda la información que es posible encontrar en la estructura de los diferentes materiales a analizar.

- Determinar si dicho material cumple con los requisitos para los cuales ha sido diseñado.
- Conocer la distribución de fases que compone la aleación.
- Determinar la presencia de irregularidades, inclusiones y defectos internos.

#### **2.4.10.1 Operaciones para la preparación de la muestra metalográfica.**

##### **a) Extracción de la muestra**

Se debe seleccionar una muestra lo más representativa posible, esta muestra se toma haciendo cortes con cierras manuales si el material es suave o con un disco cortador abrasivo si el material es muy duro, la muestra no debe ser muy grande porque se dificulta el proceso de pulido.

##### **b) Esmerilado brusco o tosco**

Es una operación establecida para remover las rebabas y todas las ralladuras debidas al corte. Esto se logra esmerilándola sobre una desbastadora provista de lija número 60, 80, 100 dependiendo de la necesidad. Durante esta operación debe mantenerse la probeta fría mediante el flujo de agua.

##### **c) Desbaste fino**

En esta etapa la muestra se pule sobre una serie de hojas (lijas números: 240-320-400-600) el propósito de esta etapa es remover la zona deformada causada por los dos procesos anteriores. La muestra debe desplazarse en forma tal que las rayas hechas por las distintas lijas formen ángulos rectos con las del inmediatamente anterior, el desbaste se da por terminado cuando se obtiene un cara perfectamente plana, con rayas muy finas en toda la superficie, producidas en un solo sentido.

##### **d) Pulido grueso**

Es una operación de desbaste leve, además es la etapa más importante y crítica de toda la operación de pulido. Se emplea la pulidora de paño utilizando como abrasivo alúmina de 0,5 - 1 micras en suspensión en agua.

#### **e) Pulido fino**

La última aproximación a una superficie plana libre de ralladuras se obtiene mediante un abrasivo (alúmina de 0,05 – 0,3 micras de tamaño promedio en suspensión en agua) en pulidoras automáticas, para las que se utiliza una serie de paños especiales.

#### **f) Ataque Químico**

Mediante este proceso se hacen visibles las características estructurales del metal o aleación. En general el ataque es hecho por inmersión o fregado con algodón empapado en el líquido escogido por la región a ser observada, durante algunos segundos hasta que la estructura o defecto sea revelada.<sup>[3]</sup>

### **2.5 HIPÓTESIS**

El estudio de la aleación ZnAl permitirá su uso en aplicaciones industriales.

### **2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS**

- **Variable Independiente:** Estudio de la aleación ZnAl.
- **Variable Dependiente:** Aplicación Industrial.

## **CAPITULO III**

### **3 MÉTODOLÓGÍA**

#### **3.1 ENFOQUE**

La investigación realizada tiene una tendencia hacia un enfoque cuantitativo, debido a que se determinará los valores de las propiedades mecánicas de la aleación a estudiarse mediante los diferentes tipos de ensayos como dureza, tracción, análisis metalográfico para así determinar una aplicación industrial.

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

La presente investigación abarca la modalidad bibliográfica ya que se basa en la diferente información encontrada tanto en libros como en páginas web.

Además también existe una modalidad de laboratorio ya que la presente investigación se realizara en un ambiente controlado en los laboratorios de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato debido a la necesidad de equipos y materiales que nos revelaran una lectura precisa de los parámetros que están siendo medidos.

#### **3.3 NIVEL O TIPO DE LA INVESTIGACIÓN**

En el presente estudio se realizó los siguientes tipos de investigación:

##### **Investigación Exploratoria.**

Este tipo de investigación se realiza cuando el tema no ha sido estudiado antes o cuando existe escasa información referente al tema. Permite tener una idea precisa de lo que se pretende estudiar, en este caso el fundir una nueva aleación como lo es el ZnAl y determinar sus propiedades mecánicas.

## Investigación Experimental

Mediante esta investigación se podrán manipular las variables independientes para observar así sus efectos en las variables dependientes por medio de ensayos que en este caso pueden ser de laboratorio o de campo.

### 3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

#### Población

La población para esta investigación será:

Lingotes de la aleación ZnAl obtenidos en el horno de la empresa SIDERÚRGICA TUNGURAHUA.

#### Muestra

El universo poblacional es el conjunto de individuos u objetos de los que se desea conocer algo en una investigación.

En nuestro caso será: Probetas de la aleación ZnAl.

**Tabla 3.1** Muestra

	<b>PROBETAS</b>	<b>Norma</b>
Análisis Metalográfico	5	ASTM E-3
Análisis Químico	1	ASTM E-18
Tracción	5	ASTM E-8
Tenacidad	5	ASTM E-23
Dureza	5	ASTM E-10

(Fuente: Autor)

### 3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.5.1 Variable Independiente

**Tabla 3-23-1** Análisis de la aleación ZnAl.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Aleación ZnAl  Las aleaciones son productos homogéneos de propiedades metálicas de dos o más elementos en nuestro caso el Zn y el aluminio.	Materiales Utilizados en la obtención de la aleación	¿Qué materiales se utilizan para la obtención de la aleación?	- Zinc Puro (Anexo C1)  -Aluminio Puro (Anexo C2)	Observación Directa  -Observación Bibliográfica
	Fundición	¿Qué hornos se utilizan para la obtención de la aleación?	- A Diesel	-Observación directa  -Ensayos de Fundición
	Aleación ZnAl	¿Cuáles son los parámetros que influyen en la obtención de la aleación?	-Material  -Tiempo  -Temperatura  -Composición	-Observación directa  -Ensayos de fundición
		¿Cuál será la composición relativa de la aleación?	-Porcentaje de Zn y Al	

(Fuente: Autor)

### 3.5.2 Variable Dependiente

**Tabla 3-3** Aplicación industrial

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Una aplicación Industrial de un determinado material, está relacionado directamente con las propiedades del mismo, sean estas: propiedades químicas, mecánicas, físicas, eléctricas, etc.	-Ensayo de tracción	-Resistencia a la tracción (lb/plg <sup>2</sup> )	¿Qué resistencia tendrá la aleación ZnAl?	Máquina Universal de ensayo de tracción
		-Resistencia a la cedencia (lb/plg <sup>2</sup> )	¿Qué resistencia tendrá la aleación ZnAl?	Máquina Universal de ensayo de tracción
	-Ensayo de dureza	-Dureza (Brinell)	¿Qué dureza tendrá la aleación ZnAl?	Observación Ficha de Observación
		-Componentes metalográficos (%)	¿Cuál será la estructura metalográfica de la aleación ZnAl?	Observación Ficha de Observación
-Análisis químico	Propiedades químicas	¿Cuáles serán las propiedades químicas de la aleación ZnAl?	Observación Ficha de Observación	

(Fuente: Autor)

### 3.6 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

**Tabla 3-4** Recolección de la información

PREGUNTAS BASICAS	EXPLICACION
¿Para que realiza la investigación?	Se realiza con el fin de determinar una aplicación para la aleación ZnAl
¿De qué personas u objetos?	La investigación la realizara el investigador interesado.
¿Sobre qué objetos?	La investigación se realizara con el fin de determinar una aplicación industrial de la aleación ZnAl
¿Quién o quiénes?	La realizara el investigador y los ayudantes que colaboraran en los diferentes ensayos
¿Cómo?	La investigación se realizara mediante la recolección de información que se obtendrá de los equipos y herramientas usados en la
¿Dónde?	En los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato
¿Cuántas Veces?	El número de veces que sean necesarias para tener una información lo suficientemente
¿Qué técnicas de recolección?	La técnica que se utilizó será la observación, en otros casos el cálculo de ciertos valores, mediante el análisis con la ayuda de software
¿Con que?	Mediante los instrumentos y equipos con que se cuenta en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la
¿En qué situación?	En la situación que la investigación lo amerite.

(Fuente: Autor)

### 3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Una vez que se recolectaron los datos se revisó la información para detectar errores y organizarla de manera que su tabulación sea fácil, se revisó fotografías metalográficas para determinar y comparar las microestructuras.

Los resultados de los ensayos de tracción y dureza, se tabularon y se presentaron en diagramas y gráficos para mostrar en resumen las propiedades mecánicas que fueron obtenidas de la aleación ZnAl.

Para la recolección, procesamiento y análisis de la información se siguió los siguientes puntos:

- Revisión crítica de la información bibliográfica recogida.
- Selección de la información más importante y puntual.
- Análisis químico de cada lingote de la aleación ZnAl.
- Análisis metalográfico de las diferentes probetas de la aleación obtenida.
- Ensayo de tracción de las diferentes probetas de la aleación obtenida.
- Ensayo de fatiga de las diferentes probetas de la aleación obtenida.
- Ensayo de dureza de las diferentes probetas de la aleación obtenida.
- Ensayos Físicos de las diferentes probetas de la aleación obtenida.
- Finalmente se tabularon todos los resultados y se detallaron las conclusiones pertinentes para el análisis e interpretación de los resultados.

## CAPITULO IV

### 4 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

#### 4.1 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Se presentan cada uno de los resultados obtenidos al someter la aleación de zinc y aluminio a diferentes pruebas mecánicas en los laboratorios de la facultada de ingeniería civil y mecánica.

**Tabla 4-1** Denominación de probetas para cada ensayo

N°	Casos	Ensayo de tracción	Ensayo de dureza	Ensayo de impacto	Ensayo metalográfico
1	Probeta 1	T 1.1	D 1.1	I 1.1	M1
	Probeta 2	T 1.2	D 1.2	I 1.2	
	Probeta 3	T 1.3	D 1.3	I 1.3	
	Probeta 4	T 1.4	D 1.4	I 1.4	
	Probeta 5	T 1.5	D 1.5	I 1.5	
2	Probeta 1	T 2.1	D 2.1	I 2.1	M2
	Probeta 2	T 2.2	D 2.2	I 2.2	
	Probeta 3	T 2.3	D 2.3	I 2.3	
	Probeta 4	T 2.4	D 2.4	I 2.4	
	Probeta 5	T 2.5	D 2.5	I 2.5	
3	Probeta 1	T 3.1	D 3.1	I 3.1	M3
	Probeta 2	T 3.2	D 3.2	I 3.2	
	Probeta 3	T 3.3	D 3.3	I 3.3	
	Probeta 4	T 3.4	D 3.4	I 3.4	
	Probeta 5	T 3.5	D 3.5	I 3.5	
4	Probeta 1	T 4.1	D 4.1	I 4.1	M4
	Probeta 2	T 4.2	D 4.2	I 4.2	
	Probeta 3	T 4.3	D 4.3	I 4.3	
	Probeta 4	T 4.4	D 4.4	I 4.4	
	Probeta 5	T 4.5	D 4.5	I 4.5	
5	Probeta 1	T 5.1	D 5.1	I 5.1	M5
	Probeta 2	T 5.2	D 5.2	I 5.2	
	Probeta 3	T 5.3	D 5.3	I 5.3	
	Probeta 4	T 5.4	D 5.4	I 5.4	
	Probeta 5	T 5.5	D 5.5	I 5.5	
6	Probeta 1	T 6.1	D 6.1	I 6.1	M6
	Probeta 2	T 6.2	D 6.2	I 6.2	
	Probeta 3	T 6.3	D 6.3	I 6.3	
	Probeta 4	T 6.4	D 6.4	I 6.4	
	Probeta 5	T 6.5	D 6.5	I 6.5	

(Fuente: Autor)

#### 4.1.1 Datos informativos para la fundición

De acuerdo a G. Torres Villaseñor, J. Negrete y L. Valdés del Instituto de Investigaciones en Materiales Universidad Autónoma de México, fueron realizados estudios de aleaciones de Zn-Al en busca de sustituir al bronce, algunas de estas aleaciones conteniendo del 1 al 30 % de aluminio. Varias compañías europeas continuaron con estudios de estas aleaciones popularizando así su uso como cojinetes. Razón por la cual se decidió utilizar los porcentajes de cada aleación detallados a continuación, ya que estudios previos realizados muestran que dichas aleaciones presentan buenas propiedades en el campo de la industrial.

**Tabla 4-2** Datos informativos previos a la fundición

	MATERIALES				TOTAL
	Zinc (puro)		Aluminio (puro)		
	%	Masa (Kg)	%	Masa (Kg)	(Kg)
<b>Caso 1</b>	88	4,4	12	0,6	5
<b>Caso 2</b>	85	4,3	15	0,76	5,06
<b>Caso 3</b>	82	4,3	18	0,94	5,24
<b>Caso 4</b>	79	4,3	21	1,14	5,44
<b>Caso 5</b>	76	4,3	24	1,35	5,65
<b>Caso 6</b>	73	4,2	27	1,55	5,75

(Fuente: Autor)

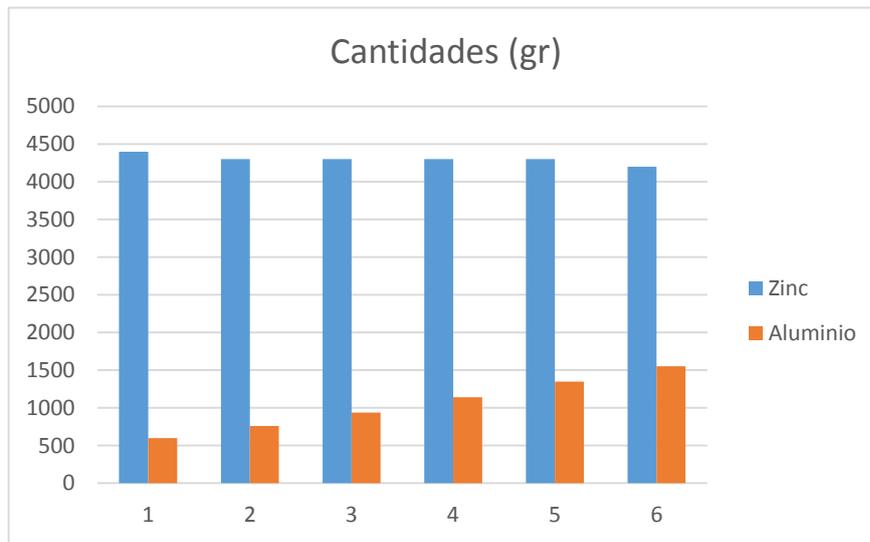
##### 4.1.1.1 Cantidades y Análisis químico de la aleación por casos

Para poder obtener la aleación de Zn-Al para cada caso se realizó la fundición en la empresa Siderúrgica Tungurahua misma que cuenta con un horno a diésel para este caso se utilizó las siguientes cantidades de zinc y aluminio 99,9% puro (Anexo C1; C2), mismas que se pesaron en la balanza digital de los laboratorios de la carrera de ingeniería mecánica:

**Tabla 4-3** Cantidades de Zinc y Aluminio

	Zinc (gr.)	Aluminio (gr.)
<b>Caso 1</b>	4400	600
<b>Caso 2</b>	4300	760
<b>Caso 3</b>	4300	940
<b>Caso 4</b>	4300	1140
<b>Caso 5</b>	4300	1350
<b>Caso 6</b>	4200	1550

(Fuente: Autor)



**Grafico 4-1** Cantidades de Zn-Al

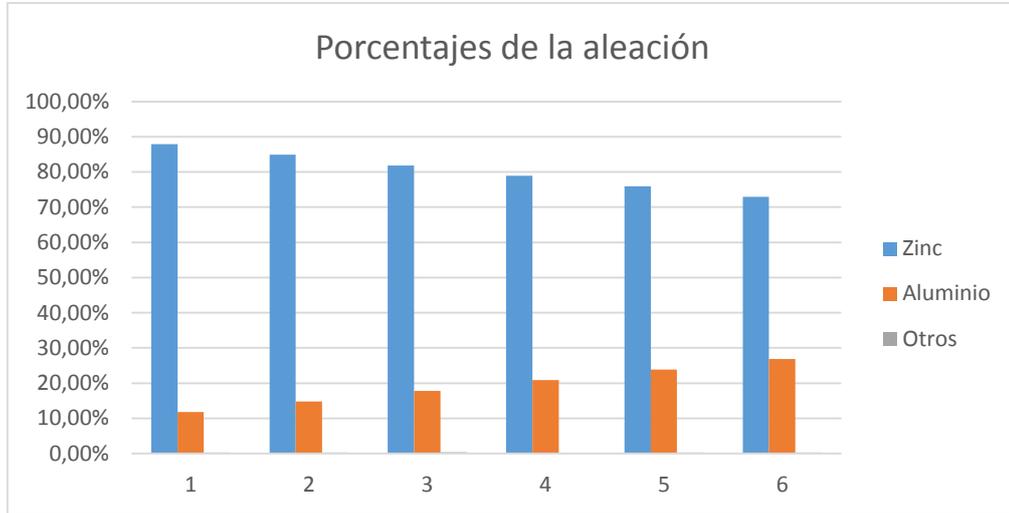
Para el análisis químico de cada caso se lo realizó mediante la utilización de un espectrómetro de emisión óptico o de chispa (SHIMADZU), determinando los siguientes resultados:

**Tabla 4-4** Porcentajes de Zinc Aluminio

	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3</b>	<b>Caso 4</b>	<b>Caso 5</b>	<b>Caso 6</b>
<b>Zn</b>	87,88%	84,88%	81,86%	78,91%	75,89%	72,89%
<b>Al</b>	11,81%	14,79%	17,79%	20,85%	23,87%	26,85%
<b>otros</b>	0,31%	0,30%	0,35%	0,24%	0,25%	0,26%

(Fuente: Autor)

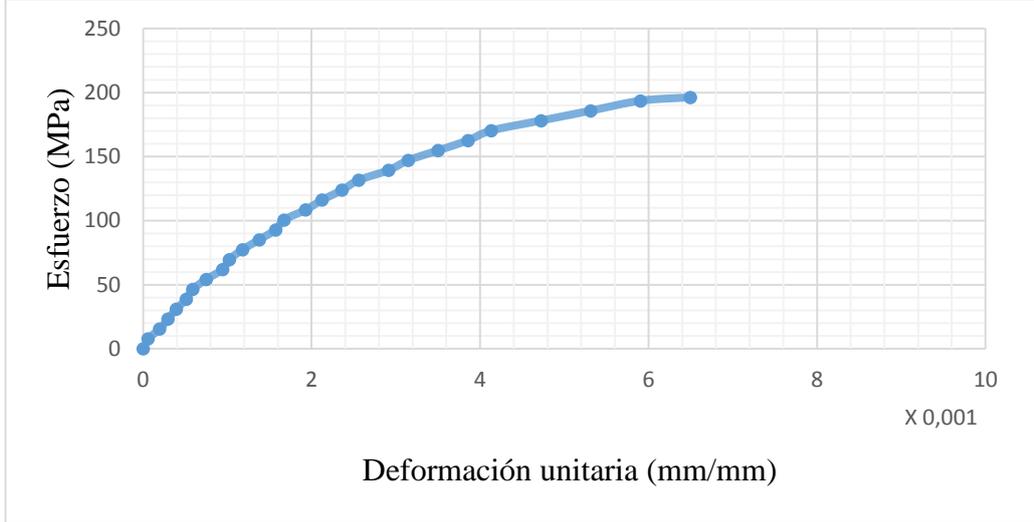
Como se puede apreciar debido a que los materiales no son 100% puros existe un porcentaje mínimo de otros elementos los cuales son detallados en los anexos del B1- B6.



**Grafico 4-2 Porcentajes de la aleación Zn-Al**

## 4.1.2 Ensayo de Tracción

### 4.1.2.1 Caso 1 (Zinc 88% - Aluminio 12%)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>			
<b>Datos Informativos</b>			
<b>Probeta:</b> T1.1	<b>Fecha:</b> 03/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00	
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM		
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn			
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 88% - Aluminio 12%		
<b>Gráfica Esfuerzo – Deformación</b>			
<b>Probeta 1</b>			
			
<b>Resultados del Ensayo</b>			
<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in	
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in	
<b>Longitud final</b>	51,26 mm	2,02 in	
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in	
<b>Carga Máxima</b>	2534,60 Kg	5587,84 lb	
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----	
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	196,22 MPa	28,45 KPsi	
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----	
<b>% de elongación (e)</b>	0,91%		
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%		
<b>Observaciones:</b>			
La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia			



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



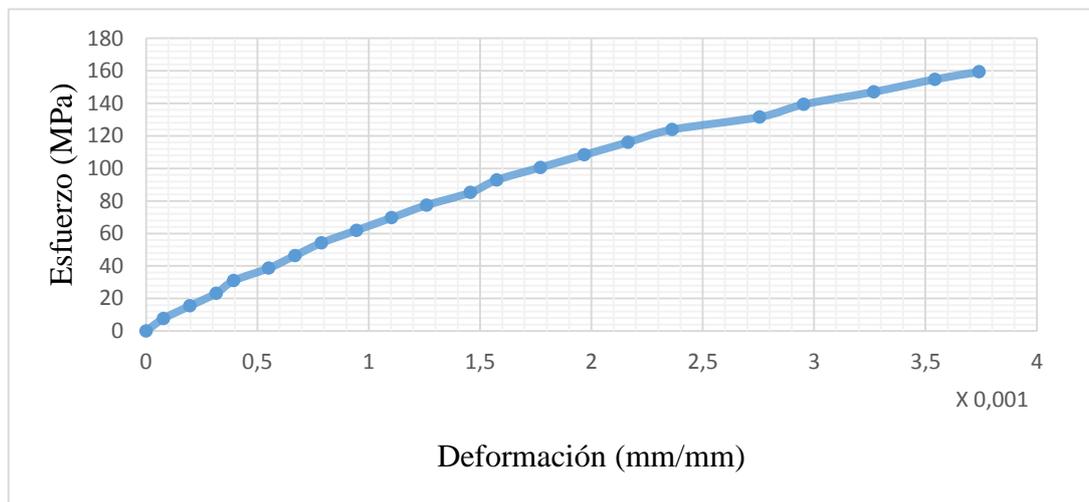
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T1.2	<b>Fecha:</b> 03/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 88% - Aluminio 12%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 2**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,70 mm	2,04 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	2058,80 Kg	4538,88 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	159,38 MPa	23,11 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	1,77%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



**ENSAYO DE TRACCIÓN**

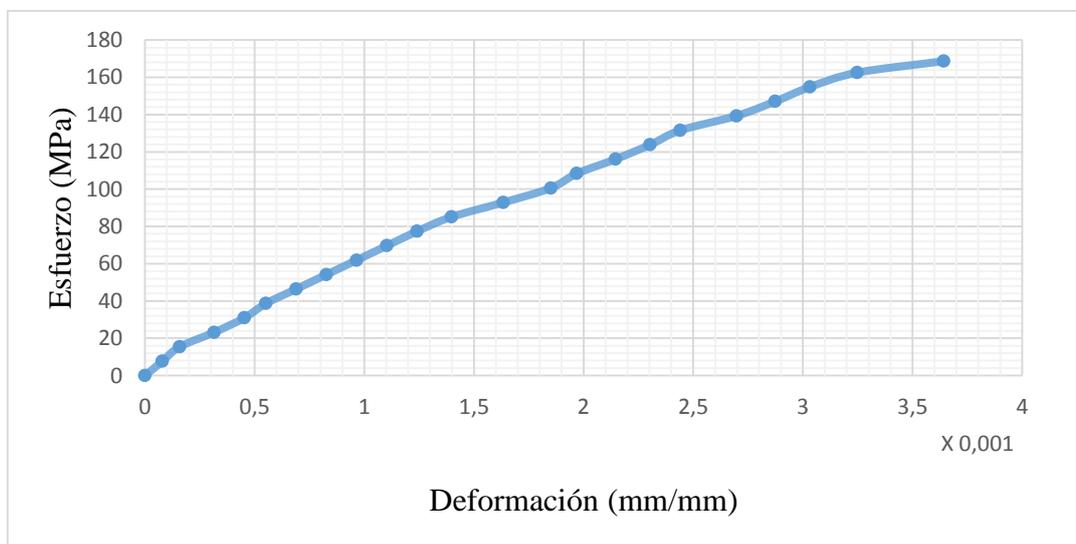
**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T1.3	<b>Fecha:</b> 03/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		

<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 88% - Aluminio 12%
---------------------------------------	--

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 3**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,00 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	2179,30 Kg	4804,53 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	168,71 MPa	24,46 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,39%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



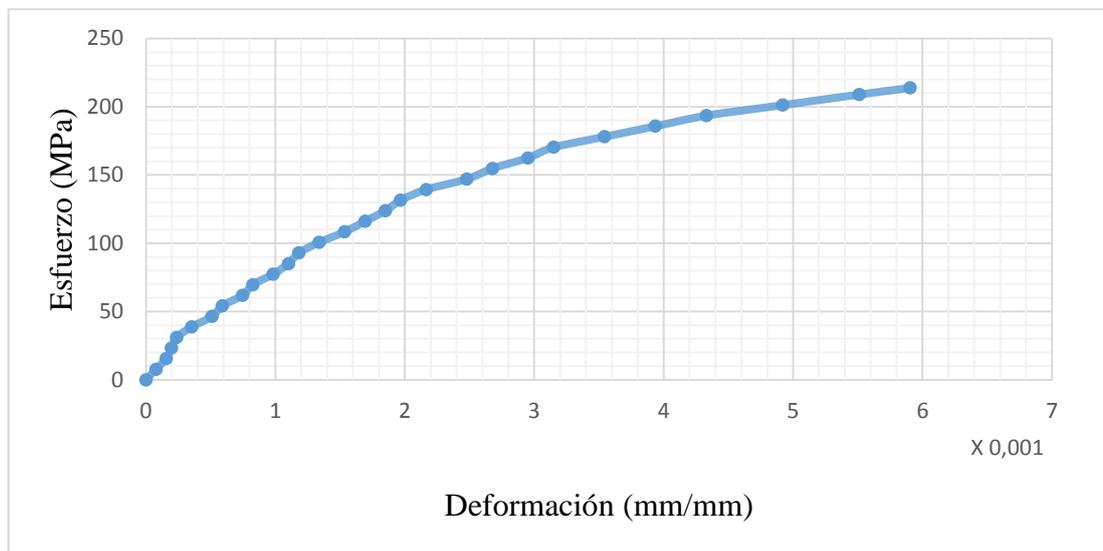
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T1.4	<b>Fecha:</b> 04/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 88% - Aluminio 12%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 4**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,00 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	2762,90 Kg	6091,15 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	213,89 MPa	31,01 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,39%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



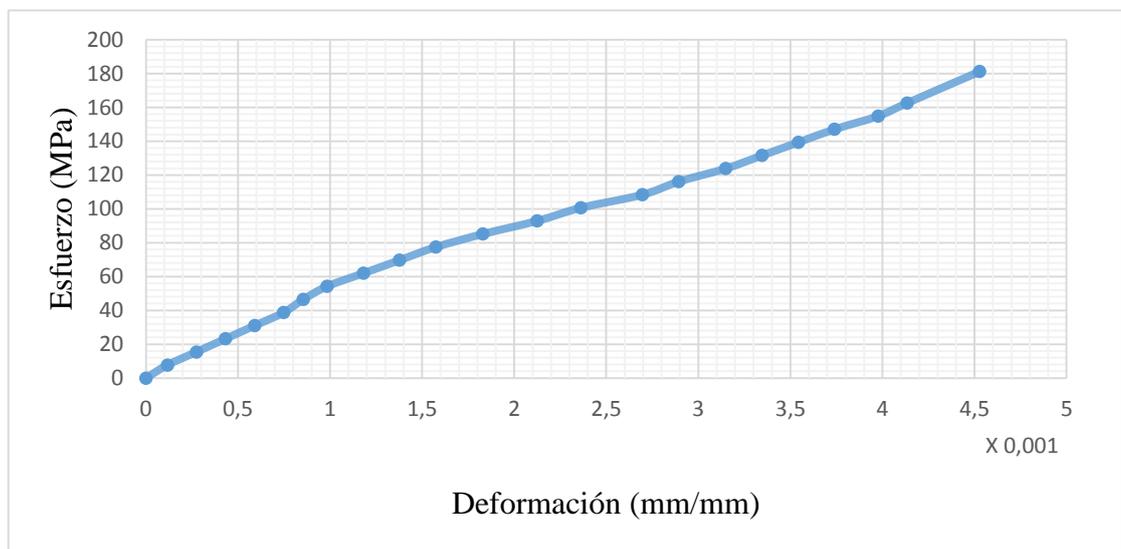
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T1.5	<b>Fecha:</b> 04/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 88% - Aluminio 12%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 5**



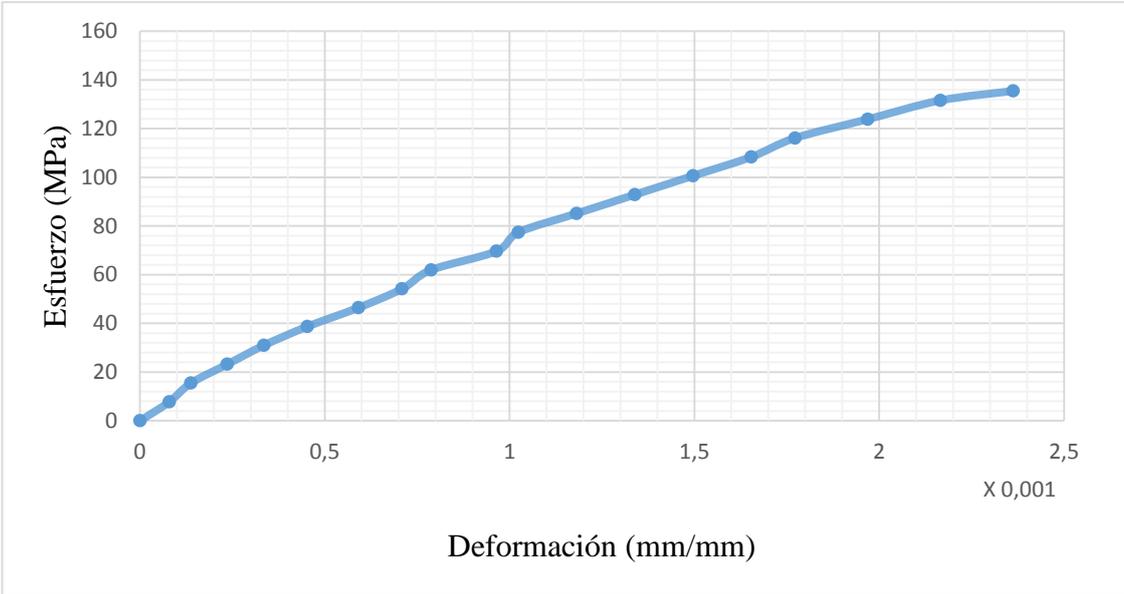
**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,18 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	2340,60 Kg	5160,14 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	181,20 MPa	26,27 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,75%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia

#### 4.1.2.2 Caso 2 (Zinc 85% – Aluminio 15%)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 		
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>		
<b>Datos Informativos</b>		
<b>Probeta:</b> T2.1	<b>Fecha:</b> 04/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 85% – Aluminio 15%	
<b>Gráfica Esfuerzo – Deformación</b>		
<b>Probeta 1</b>		
		
<b>Resultados del Ensayo</b>		
<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,00 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1750,00 Kg	3858,09 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	135,48 MPa	19,64 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,39%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	
<b>Observaciones:</b>		
La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia		



**ENSAYO DE TRACCIÓN**

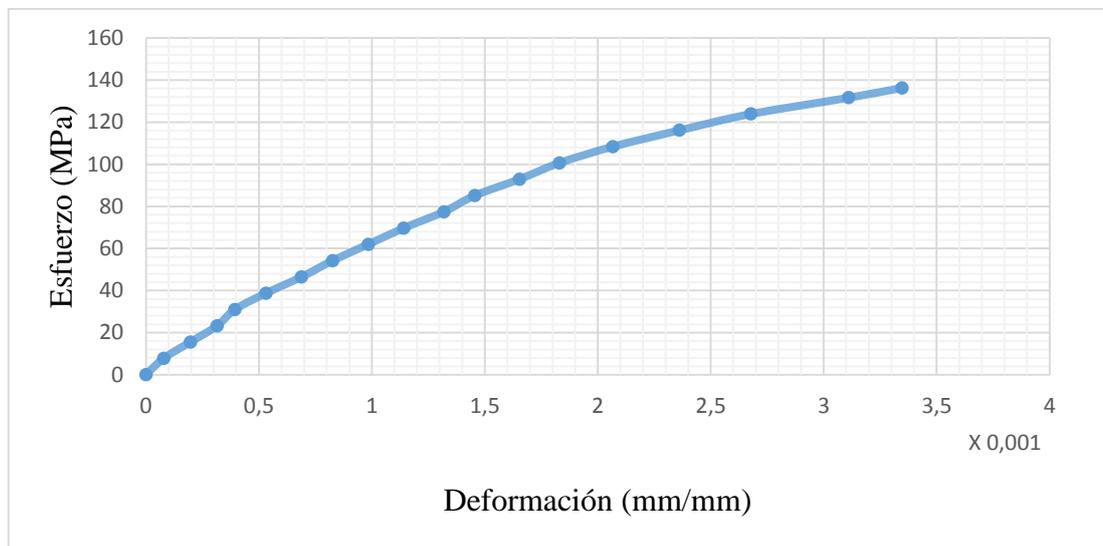
**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T2.2	<b>Fecha:</b> 05/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		

<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 85% – Aluminio 15%
---------------------------------------	--

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 2**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,20 mm	2,02 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1760,50 Kg	3881,24 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	136,29 MPa	19,76 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,79%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



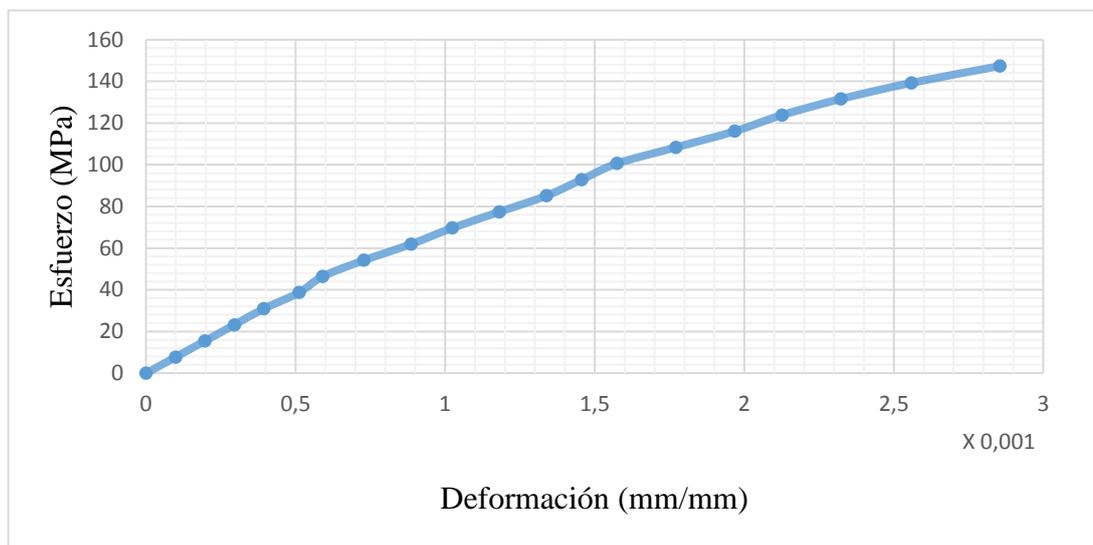
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T2.3	<b>Fecha:</b> 05/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 85% – Aluminio 15%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 3**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,26 mm	2,02 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1903,90 Kg	4197,38 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	147,39 MPa	21,37 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,91%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



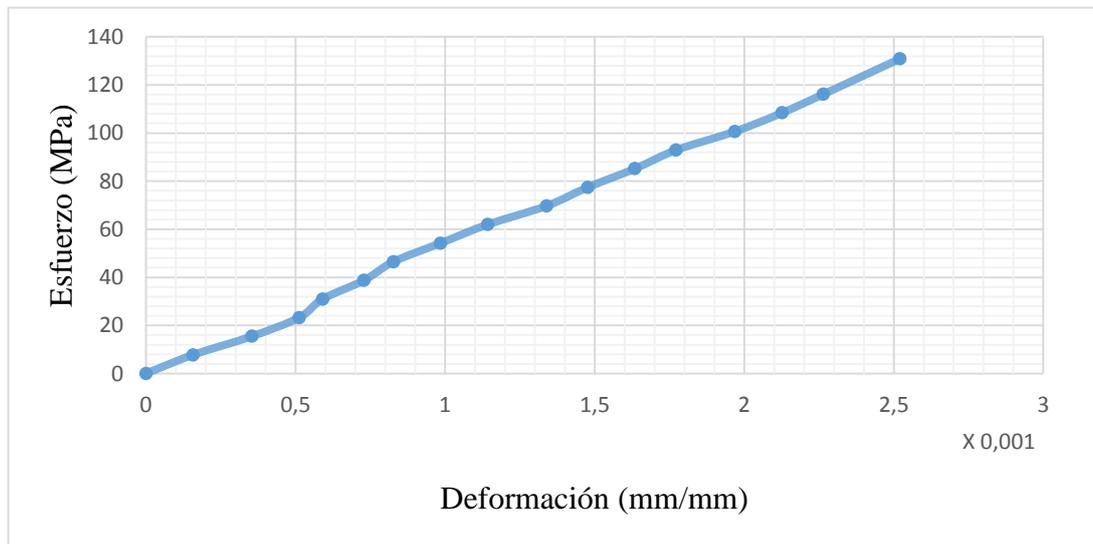
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T2.4	<b>Fecha:</b> 05/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 85% – Aluminio 15%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 4**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,00 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1690,43 Kg	3726,76 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	130,86 MPa	18,98 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,39%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



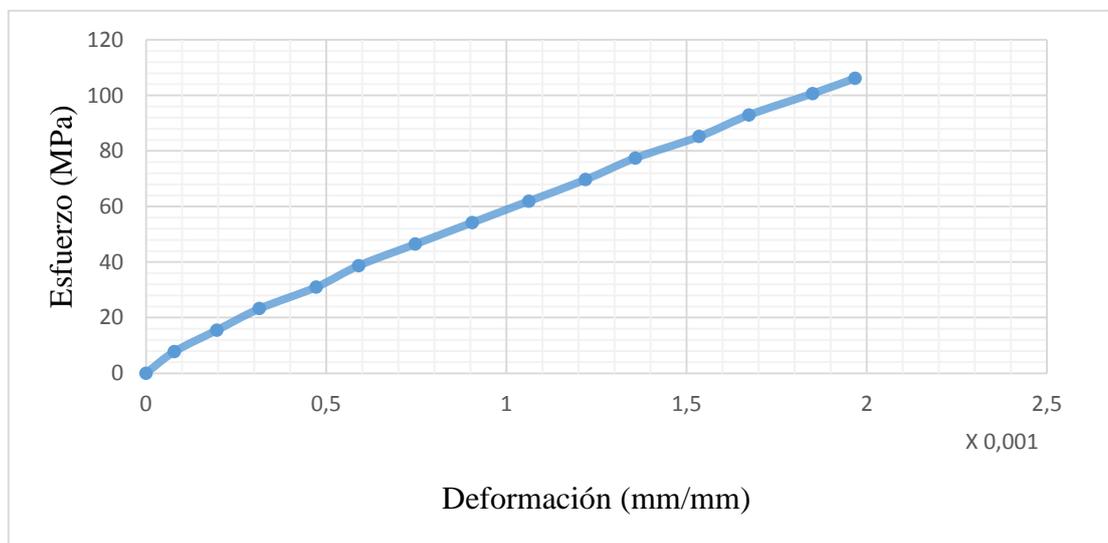
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T2.5	<b>Fecha:</b> 06/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 85% – Aluminio 15%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 5**



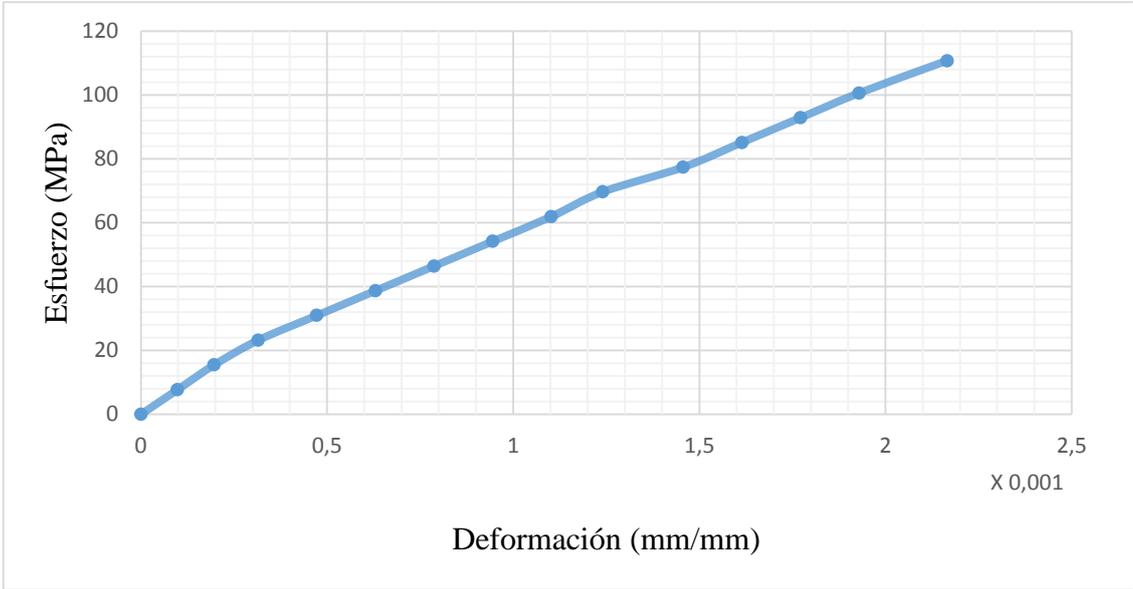
**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,00 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1371,00 Kg	3022,54 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	106,14 MPa	15,39 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,39%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia

#### 4.1.2.3 Caso 3 (Zinc 82% – Aluminio 18%)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 		
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>		
<b>Datos Informativos</b>		
<b>Probeta:</b> T3.1	<b>Fecha:</b> 06/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 82% – Aluminio 18%	
<b>Gráfica Esfuerzo – Deformación</b>		
<b>Probeta 1</b>		
		
<b>Resultados del Ensayo</b>		
<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,18 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1431,00 Kg	3154,81 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	110,78 MPa	16,06 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,75%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	
<b>Observaciones:</b>		
La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia		



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



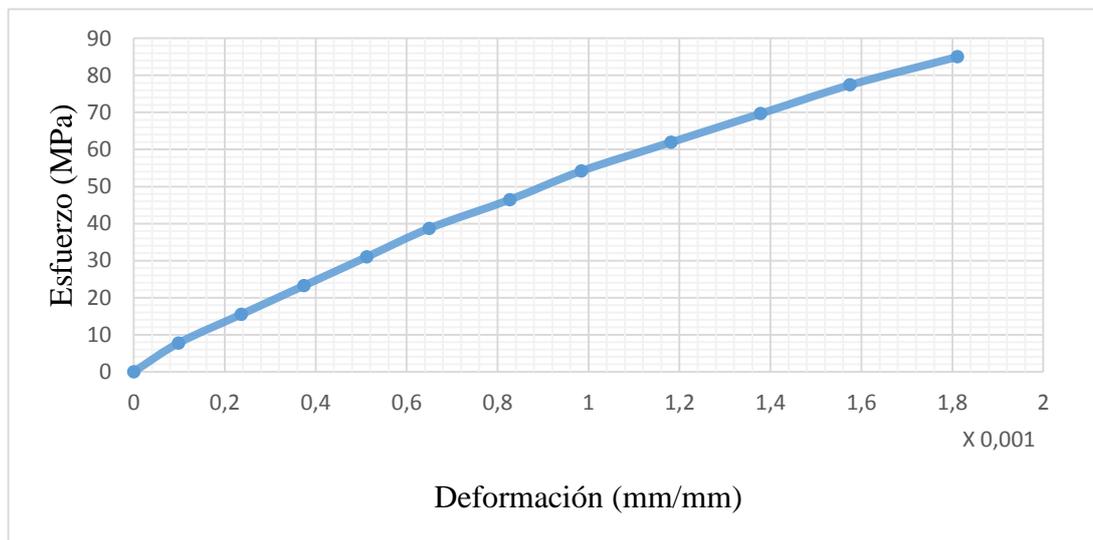
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T3.2	<b>Fecha:</b> 06/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 82% – Aluminio 18%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 2**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,10 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1098,00 Kg	2420,68 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	85,00 MPa	12,33 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,59%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



**ENSAYO DE TRACCIÓN**

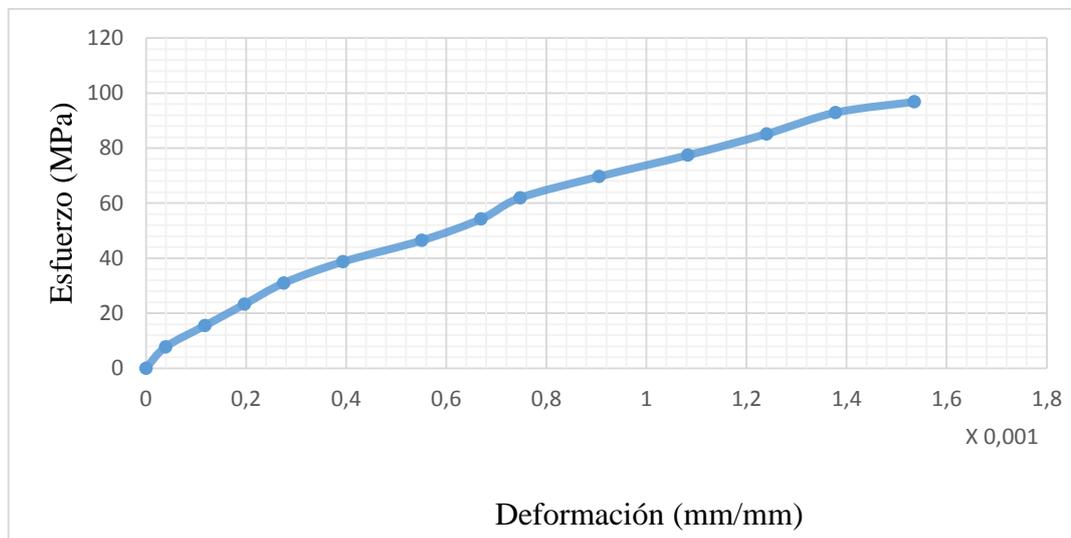
**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T3.3	<b>Fecha:</b> 10/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		

<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 82% – Aluminio 18%
---------------------------------------	--

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 3**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,10 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1250,40 Kg	2756,66 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	96,80 MPa	14,04 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,59%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



**ENSAYO DE TRACCIÓN**

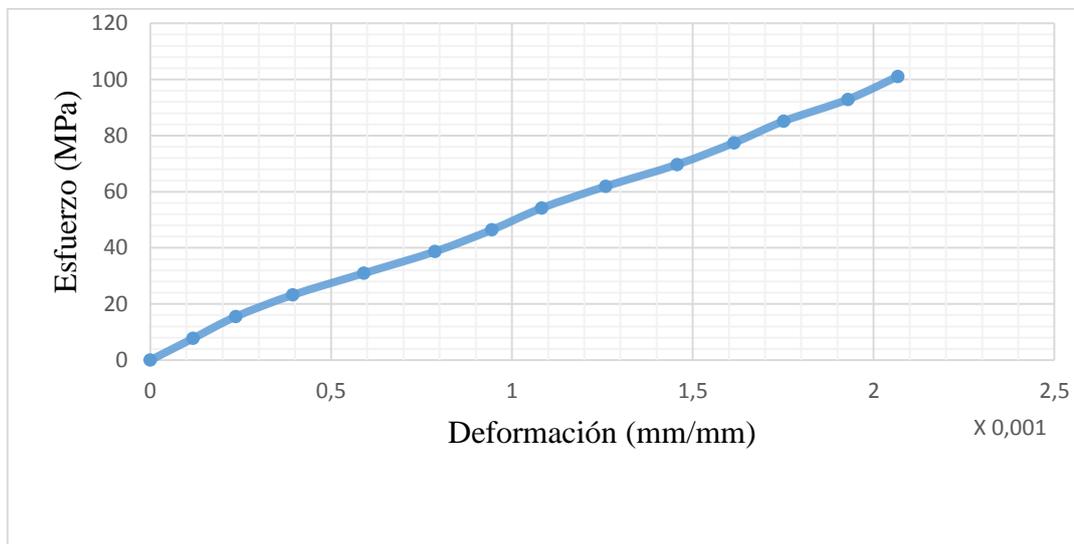
**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T3.4	<b>Fecha:</b> 10/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		

<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 82% – Aluminio 18%
---------------------------------------	--

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 4**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	50,94 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1305,54 Kg	2878,22 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	101,07 MPa	14,65 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,28%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



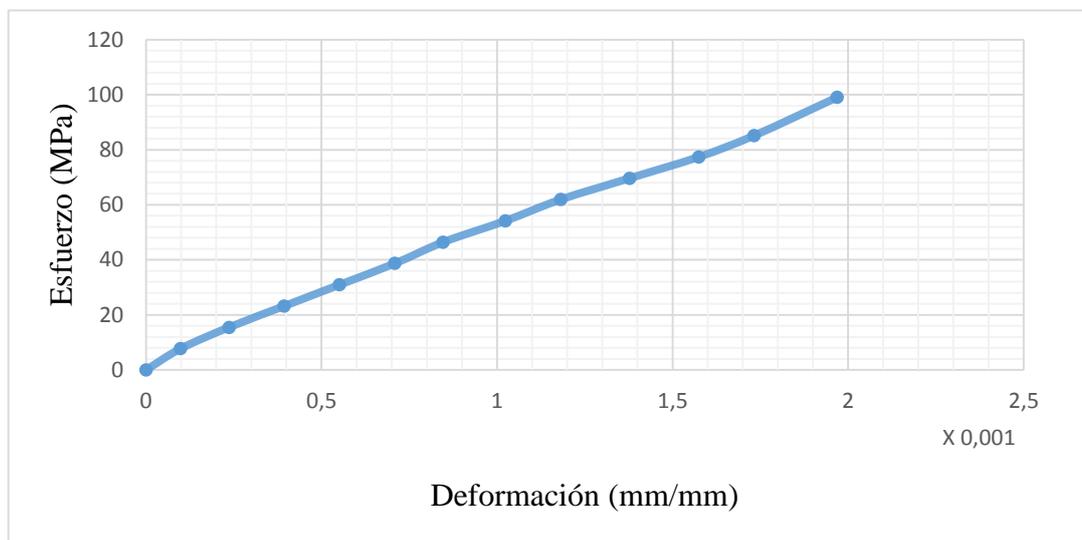
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T3.5	<b>Fecha:</b> 10/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 82% – Aluminio 18%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 5**



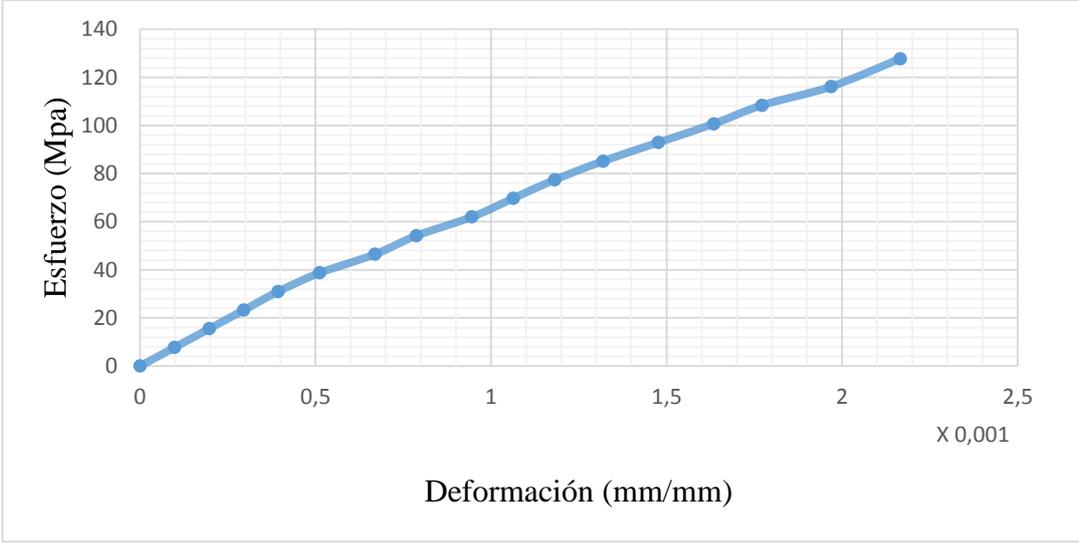
**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,10 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1279,57 Kg	2820,97 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	99,06 MPa	14,36 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,59%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia

#### 4.1.2.4 Caso 4 (Zinc 79% - Aluminio 21%)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>			
<b>Datos Informativos</b>			
<b>Probeta:</b> T4.1	<b>Fecha:</b> 11/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00	
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM		
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn			
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 79% - Aluminio 21%		
<b>Gráfica Esfuerzo – Deformación</b>			
<b>Probeta 1</b>			
			
<b>Resultados del Ensayo</b>			
<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in	
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in	
<b>Longitud final</b>	51,12 mm	2,01 in	
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in	
<b>Carga Máxima</b>	1650,00 Kg	3637,63 lb	
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----	
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	127,73 MPa	18,52 KPsi	
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----	
<b>% de elongación (e)</b>	0,63%		
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%		
<b>Observaciones:</b>			
La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia			



**ENSAYO DE TRACCIÓN**

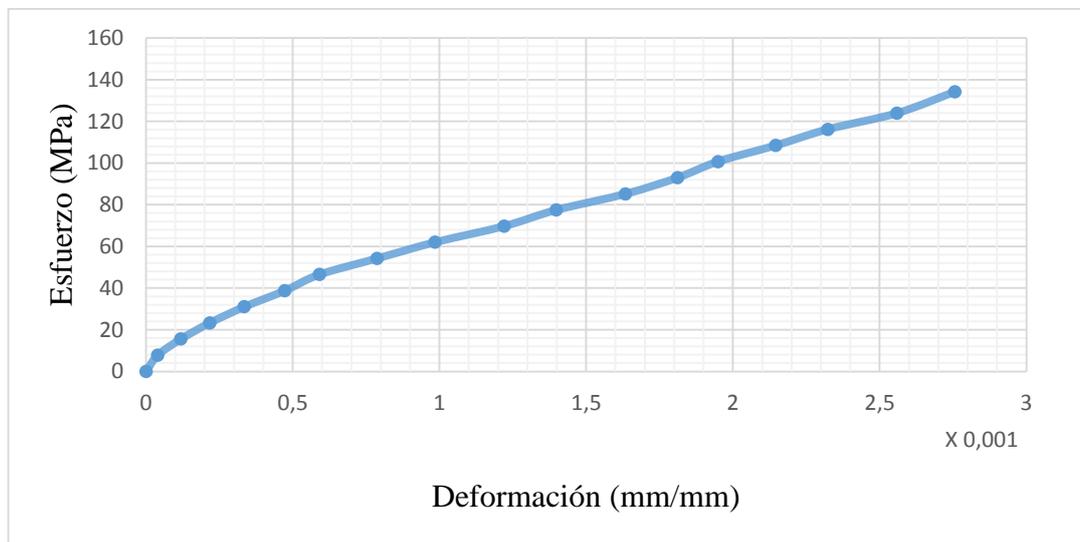
**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T4.2	<b>Fecha:</b> 11/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		

<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 79% - Aluminio 21%
---------------------------------------	--

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 2**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,08 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1732,80 Kg	3820,17 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	134,14 MPa	19,45 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,55%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



### ENSAYO DE TRACCIÓN

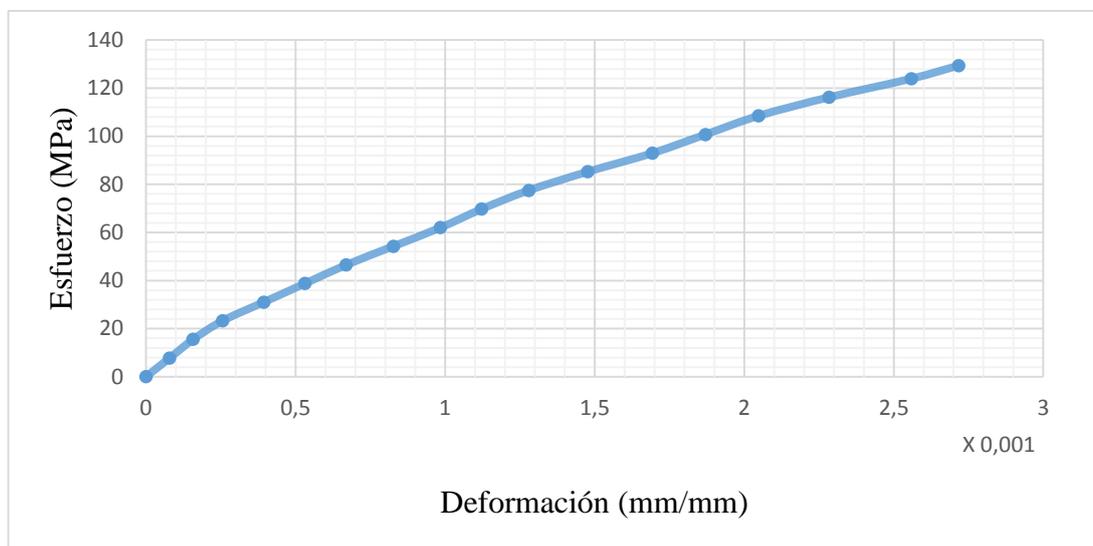
#### Datos Informativos

<b>Probeta:</b> T4.3	<b>Fecha:</b> 11/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		

<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 79% - Aluminio 21%
---------------------------------------	--

#### Gráfica Esfuerzo – Deformación

##### Probeta 3



#### Resultados del Ensayo

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,20 mm	2,02 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1670,00 Kg	3681,72 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	129,28 MPa	18,75 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,79%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

#### Observaciones:

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



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



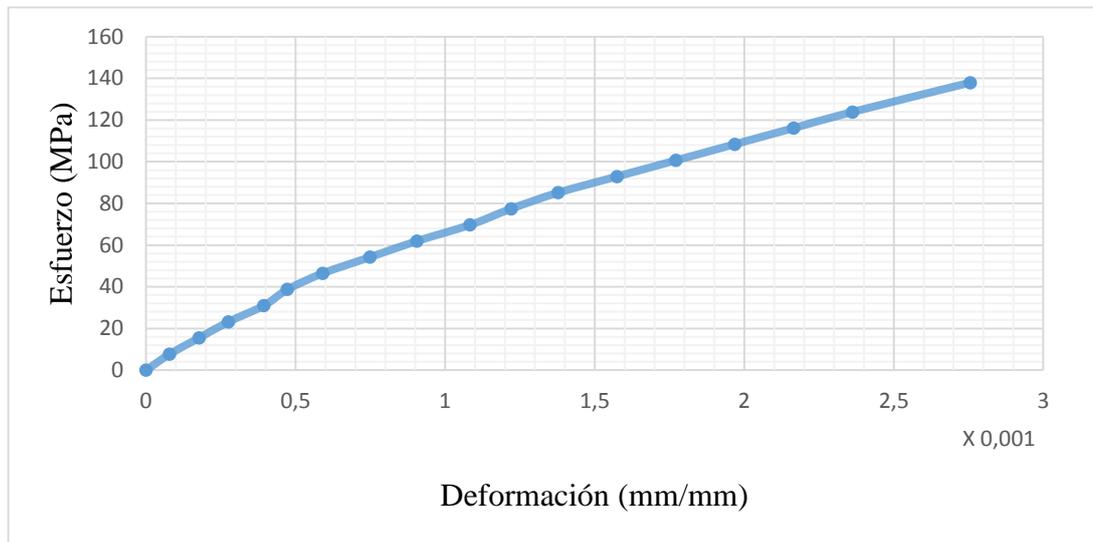
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T4.4	<b>Fecha:</b> 12/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 79% - Aluminio 21%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 4**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,12 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1781,80 Kg	3928,20 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	137,94 MPa	20,00 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,63%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



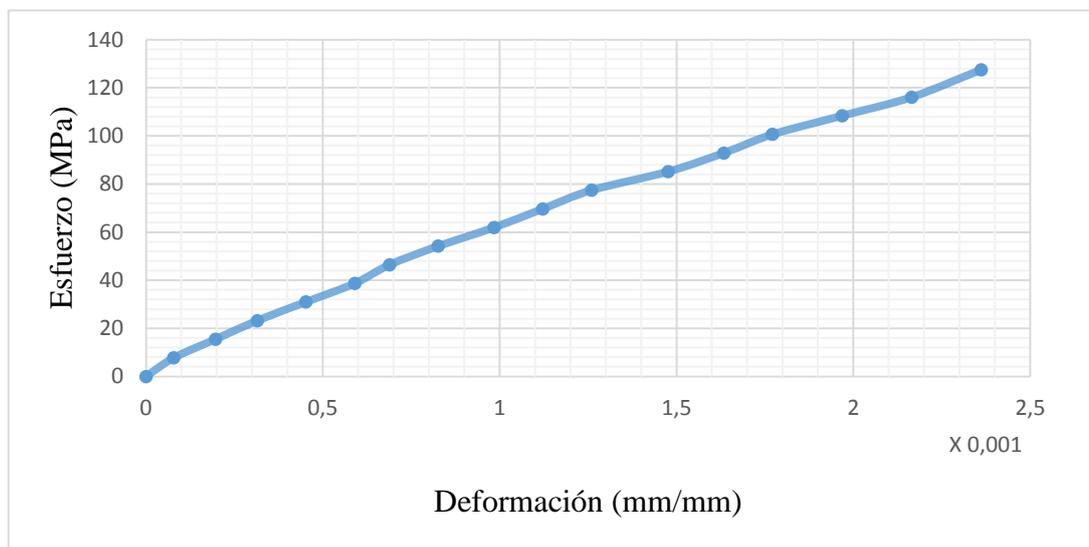
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T4.5	<b>Fecha:</b> 12/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 79% - Aluminio 21%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 5**



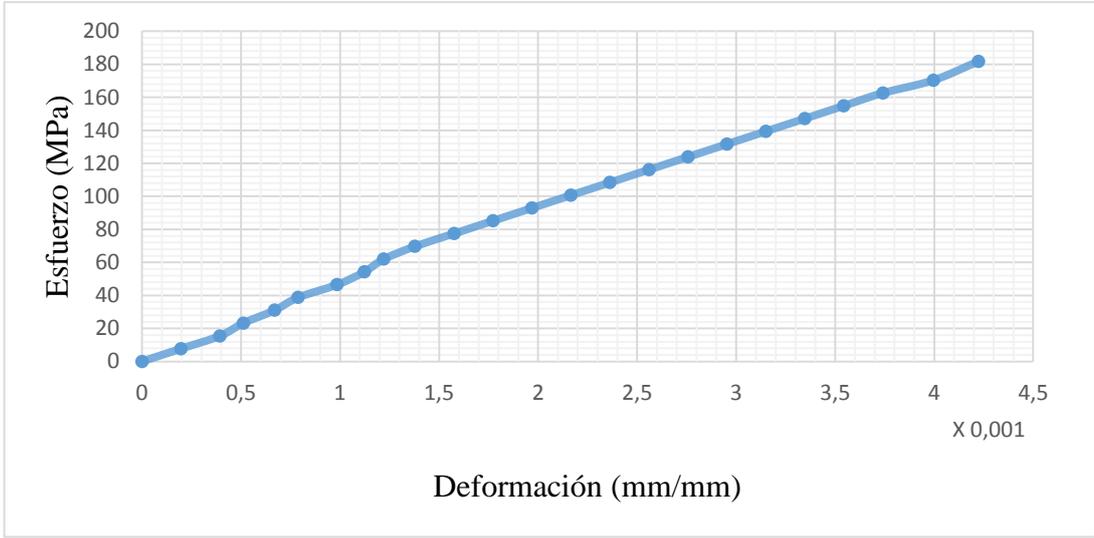
**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,00 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1647,60 Kg	3632,34 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	127,55 MPa	18,49 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,39%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia

4.1.2.5 Caso 5 (Zinc 76% – Aluminio 24%)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 		
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>		
<b>Datos Informativos</b>		
<b>Probeta:</b> T5.1	<b>Fecha:</b> 12/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 76% – Aluminio 24%	
<b>Gráfica Esfuerzo – Deformación</b>		
<b>Probeta 1</b>		
		
<b>Resultados del Ensayo</b>		
<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,10 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	2347,40 Kg	5175,13 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	181,72 MPa	26,35 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,59%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	
<b>Observaciones:</b>		
La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia		



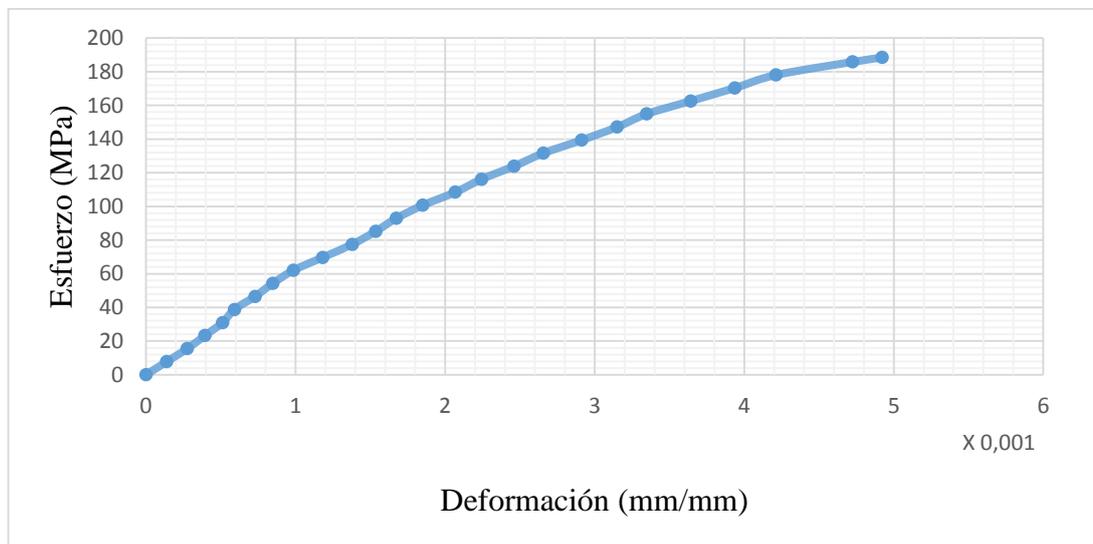
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T5.2	<b>Fecha:</b> 13/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 76% – Aluminio 24%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 2**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	50,86 mm	2,00 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	2434,00 Kg	5366,05 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	188,43 MPa	27,32 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,12%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



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



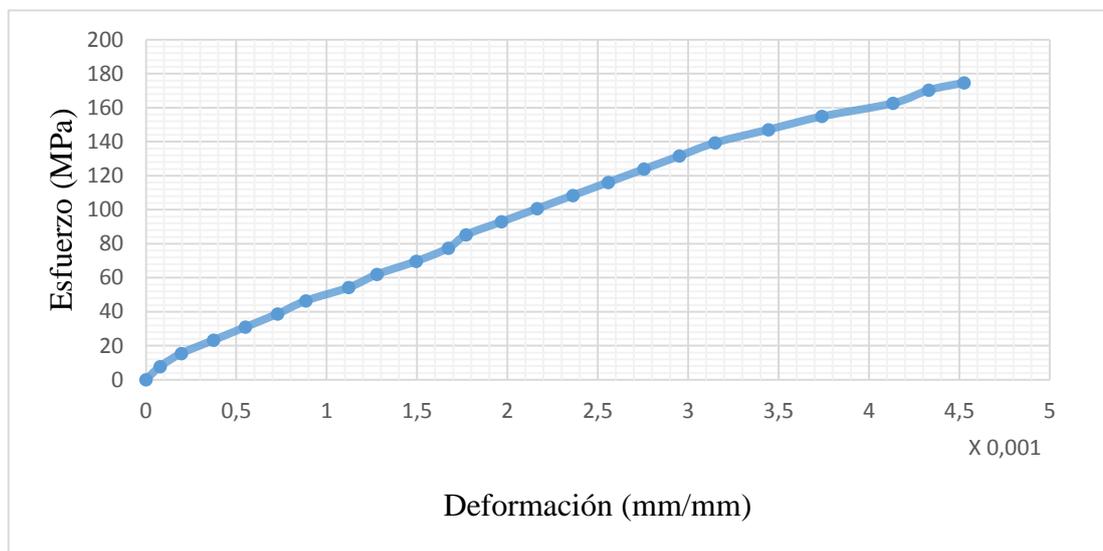
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T5.3	<b>Fecha:</b> 13/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 76% – Aluminio 24%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 3**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,00 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	2255,80 Kg	4973,19 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	174,63 MPa	25,32 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,39%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



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



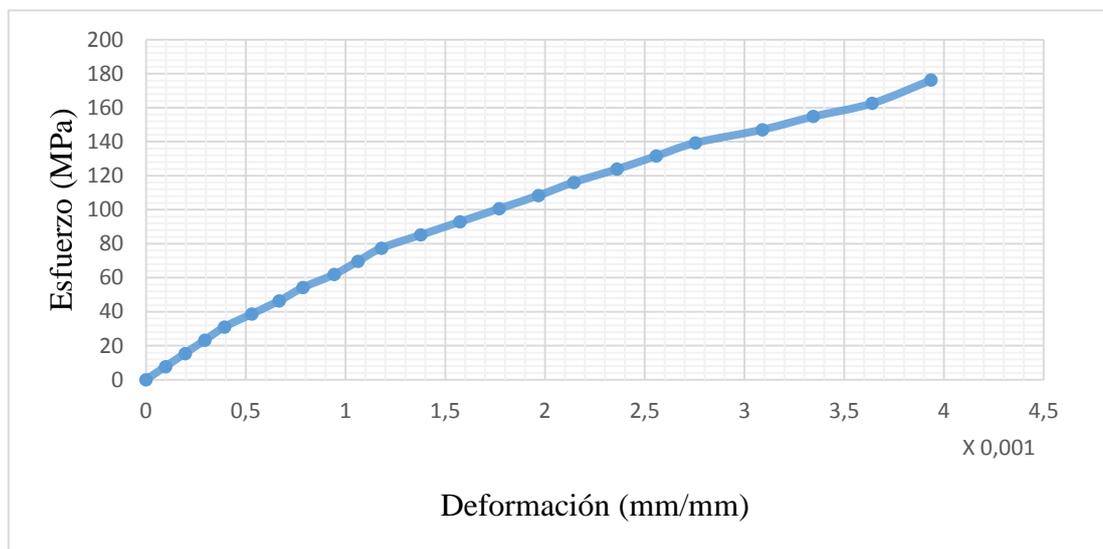
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T5.4	<b>Fecha:</b> 13/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 76% – Aluminio 24%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 4**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,20 mm	2,02 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	2276,40 Kg	5018,60 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	176,23 MPa	25,55 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,79%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



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



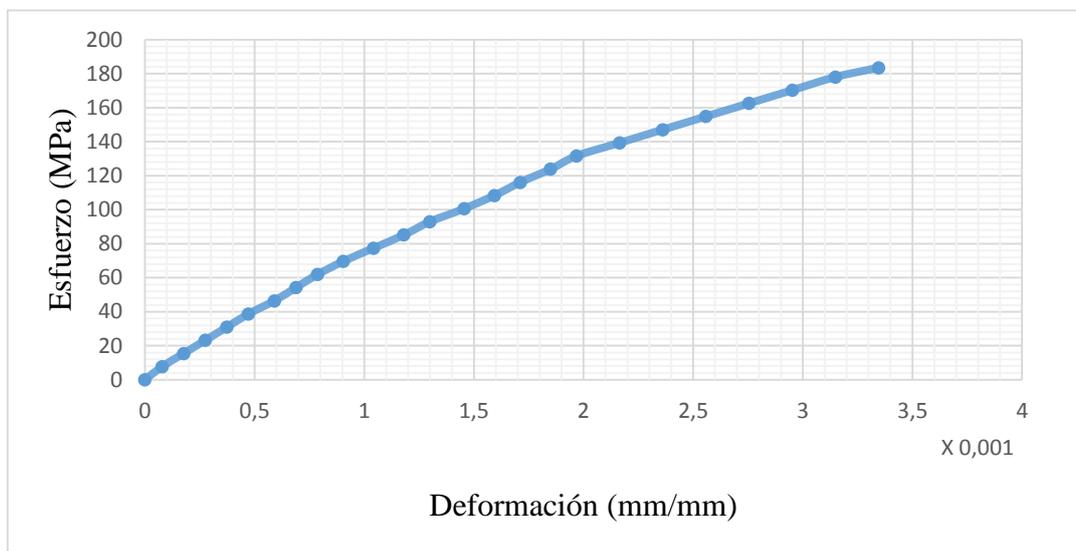
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T5.5	<b>Fecha:</b> 14/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 76% – Aluminio 24%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 5**



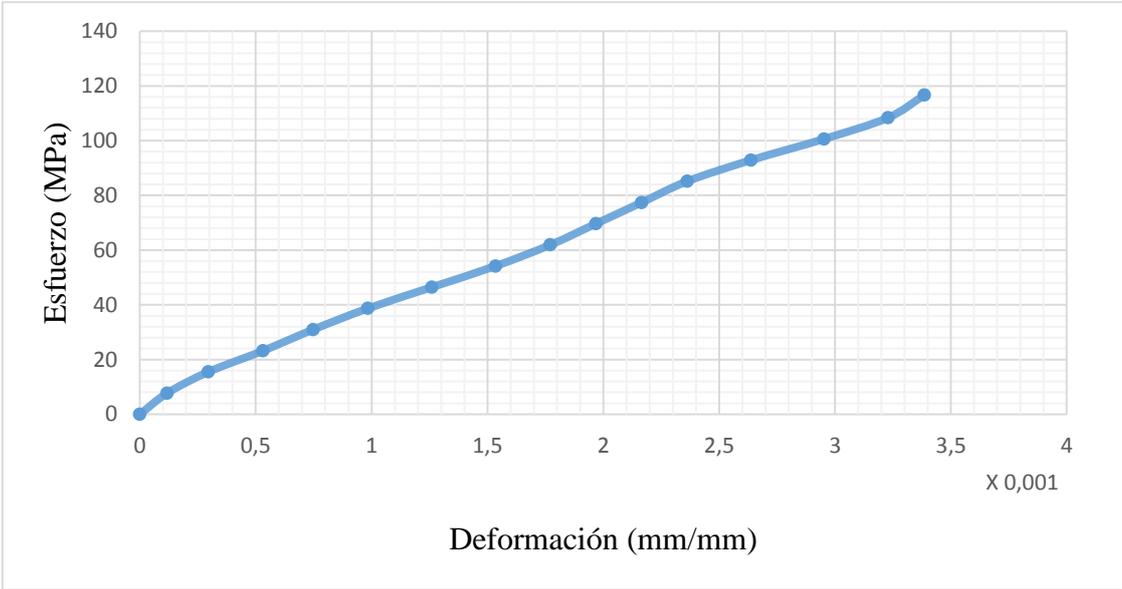
**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,40 mm	2,02 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	2370,60 Kg	5226,28 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	183,52 MPa	26,61 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	1,18%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia

#### 4.1.2.6 Caso 6 (Zinc 73% – Aluminio 27%)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b> <b>Datos Informativos</b>			
<b>Probeta:</b> T6.1	<b>Fecha:</b> 14/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00	
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM		
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn			
<b>Método:</b> Deformación controlada		<b>Material:</b> Zinc 73% – Aluminio 27%	
<b>Gráfica Esfuerzo – Deformación</b> <b>Probeta 1</b>			
			
<b>Resultados del Ensayo</b>			
<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in	
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in	
<b>Longitud final</b>	50,94 mm	2,01 in	
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in	
<b>Carga Máxima</b>	1507,10 Kg	3322,59 lb	
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----	
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	116,67 MPa	16,92 KPsi	
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----	
<b>% de elongación (e)</b>	0,28%		
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%		
<b>Observaciones:</b>			
La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia			



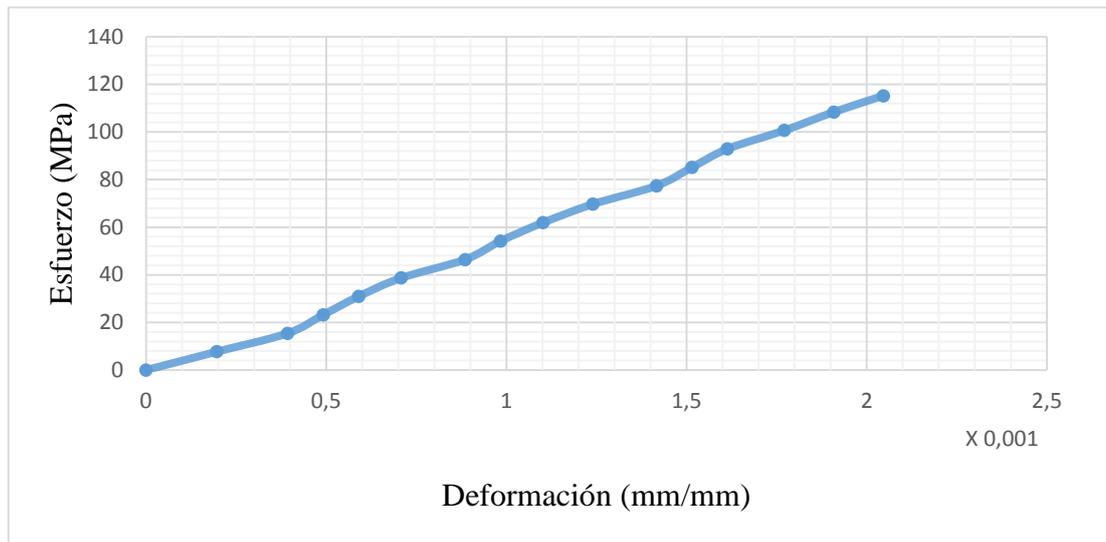
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T6.2	<b>Fecha:</b> 14/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 73% – Aluminio 27%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 2**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,14 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1488,50 Kg	3281,58 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	115,23 MPa	16,71 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,67%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



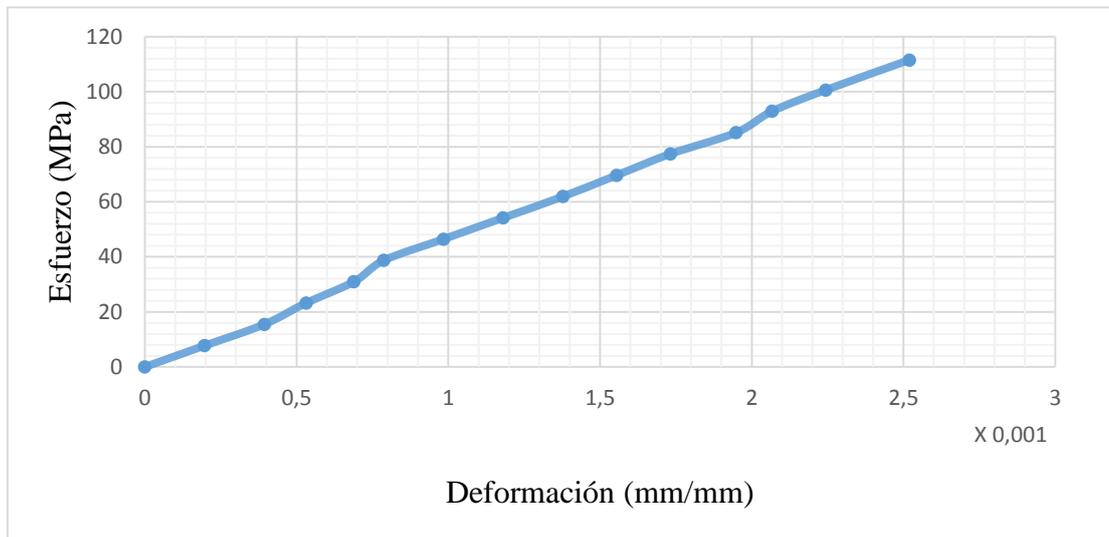
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T6.3	<b>Fecha:</b> 17/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 73% – Aluminio 27%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 3**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,10 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1440,80 Kg	3176,42 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	111,54 MPa	16,17 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,59%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



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



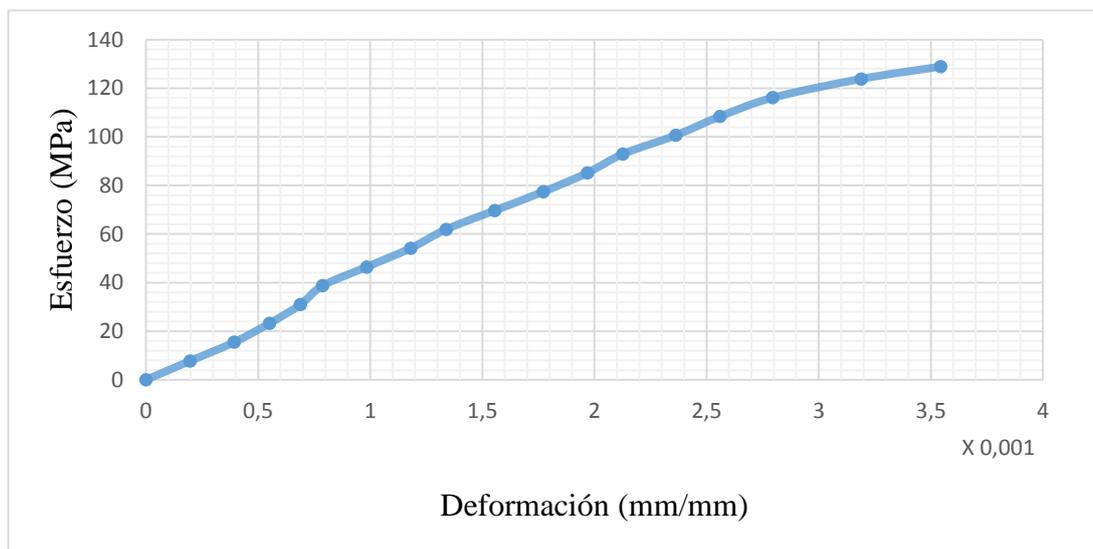
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T6.4	<b>Fecha:</b> 17/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 73% – Aluminio 27%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 4**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	50,92 mm	2,00 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1665,50 Kg	3671,80 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	128,93 MPa	18,70 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,24%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia



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



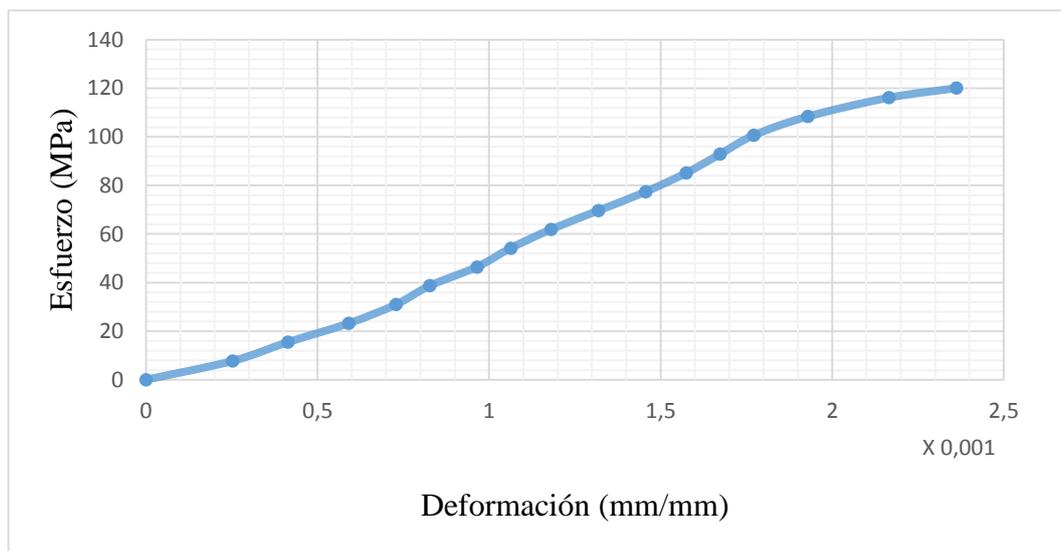
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T6.5	<b>Fecha:</b> 17/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8 -00
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> Zinc 73% – Aluminio 27%	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 5**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	50,90 mm	2,00 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	1551,00 Kg	3419,37 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	120,07 MPa	17,41 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,20%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a que se fractura antes de su punto de cedencia

### 4.1.3 Ensayo de dureza

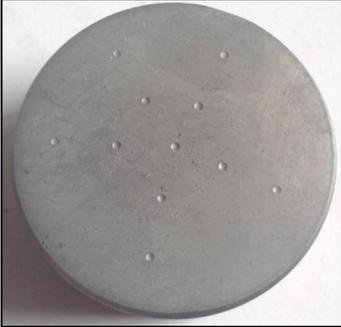
#### 4.1.3.1 Caso 1 (Zinc 88% - Aluminio 12%)

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>		
<b>Datos Informativos</b>		
<b>Probeta:</b> D1.1; D1.2; D1.3; D1.4; D1.5	<b>Fecha inicio:</b> 19/03/2014	
<b>Material:</b> Zinc 88% - Aluminio 12%	<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales	
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO</b>		
<b>Método:</b> Rockwell A, según Norma ASTM E-18 -00		
<b>Tipo de penetrador:</b> Indentador Cónico		
<b>Carga:</b> 588 N		
<b>Resultados del Ensayo</b>		
		
<b>N° de Medición</b>	<b>Probeta D1.1</b>	<b>Probeta D1.2</b>
	<b>HRA</b>	<b>HRA</b>
1	54,00	52,00
2	51,00	52,30
3	52,30	53,40
4	50,20	51,00
5	53,20	53,20
6	51,00	51,00
7	54,00	52,00
8	53,20	55,00
9	55,00	53,20
10	52,30	54,00
<b>Promedio</b>	<b>52,62</b>	<b>52,71</b>

N° de Medición	Probeta D1.3	Probeta D1.4	Probeta D1.5
	HRA	HRA	HRA
1	59,30	56,00	49,00
2	61,00	58,00	53,20
3	59,30	59,30	54,00
4	61,00	58,00	56,00
5	60,20	58,00	57,00
6	61,00	59,30	58,00
7	57,00	60,20	57,00
8	56,80	61,00	59,30
9	56,50	59,30	56,00
10	59,30	59,30	58,00
<b>Promedio</b>	<b>59,14</b>	<b>58,84</b>	<b>55,75</b>

CASO 1		
	N° de probeta	HRA
<b>Promedio</b>	D1.1	52,62
	D1.2	52,71
	D1.3	59,14
	D1.4	58,84
	D1.5	55,75
	<b>Promedio Total</b>	<b>55,81</b>

4.1.3.2 Caso 2 (Zinc 85% – Aluminio 15%)

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>																																							
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>																																								
<b>Datos Informativos</b>																																								
<b>Probeta:</b> D2.1; D2.2; D2.3; D2.4; D2.5		<b>Fecha:</b> 26/03/2014																																						
<b>Material:</b> Zinc 85% – Aluminio 15%																																								
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana		<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales																																						
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.																																								
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO</b>																																								
<b>Método:</b> Rockwell A, según Norma ASTM E-18 -00																																								
<b>Tipo de penetrador:</b> Indentador Cónico																																								
<b>Carga:</b> 588 N																																								
<b>Resultados del Ensayo</b>																																								
																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">N° de Medición</th> <th>Probeta D2.1</th> <th>Probeta D2.2</th> </tr> <tr> <th>HRA</th> <th>HRA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>62,00</td><td>61,00</td></tr> <tr><td>2</td><td>56,00</td><td>62,00</td></tr> <tr><td>3</td><td>59,90</td><td>62,40</td></tr> <tr><td>4</td><td>55,00</td><td>65,00</td></tr> <tr><td>5</td><td>61,00</td><td>65,00</td></tr> <tr><td>6</td><td>58,00</td><td>64,80</td></tr> <tr><td>7</td><td>58,00</td><td>61,60</td></tr> <tr><td>8</td><td>57,50</td><td>59,90</td></tr> <tr><td>9</td><td>57,40</td><td>62,00</td></tr> <tr><td>10</td><td>60,20</td><td>61,00</td></tr> <tr> <td><b>Promedio</b></td> <td><b>58,50</b></td> <td><b>62,47</b></td> </tr> </tbody> </table>	N° de Medición	Probeta D2.1	Probeta D2.2	HRA	HRA	1	62,00	61,00	2	56,00	62,00	3	59,90	62,40	4	55,00	65,00	5	61,00	65,00	6	58,00	64,80	7	58,00	61,60	8	57,50	59,90	9	57,40	62,00	10	60,20	61,00	<b>Promedio</b>	<b>58,50</b>	<b>62,47</b>		
N° de Medición		Probeta D2.1	Probeta D2.2																																					
	HRA	HRA																																						
1	62,00	61,00																																						
2	56,00	62,00																																						
3	59,90	62,40																																						
4	55,00	65,00																																						
5	61,00	65,00																																						
6	58,00	64,80																																						
7	58,00	61,60																																						
8	57,50	59,90																																						
9	57,40	62,00																																						
10	60,20	61,00																																						
<b>Promedio</b>	<b>58,50</b>	<b>62,47</b>																																						

N° de medición	Probeta D2.3	Probeta D2.4	Probeta D2.5
	HRA	HRA	HRA
1	57,20	62,00	57,50
2	62,00	63,90	56,50
3	60,20	64,30	56,80
4	63,90	64,50	55,00
5	54,00	65,00	57,50
6	62,00	65,00	57,00
7	58,40	65,40	59,90
8	62,00	63,10	60,20
9	59,90	65,00	58,00
10	62,80	65,40	60,20
<b>Promedio</b>	<b>60,24</b>	<b>64,36</b>	<b>57,86</b>

CASO 2		
	N° de probeta	HRA
<b>Promedio</b>	D2.1	58,50
	D2.2	62,47
	D2.3	60,24
	D2.4	64,36
	D2.5	57,86
	<b>Promedio Total</b>	<b>60,69</b>

#### 4.1.3.3 Caso 3 (Zinc 82% – Aluminio 18%)



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



### ENSAYO DE DUREZA

#### Datos Informativos

**Probeta:** D3.1; D3.2; D3.3; D3.4; D3.5 | **Fecha:** 02/04/2014

**Material:** Zinc 82% – Aluminio 18%

**Realizado por:** Santiago Santana | **Lugar:** Laboratorio de Materiales

**Supervisado por:** Ing. Segundo Espín. Mg.

### PARÁMETROS DEL ENSAYO

**Método:** Rockwell A, según Norma ASTM E-18 -00

**Tipo de penetrador:** Indentador Cónico

**Carga:** 588 N

### Resultados del Ensayo



N° de Medición	Probeta D3.1	Probeta D3.2
	HRA	HRA
1	59,30	59,90
2	59,30	57,50
3	63,10	54,00
4	63,10	56,00
5	51,00	50,20
6	65,00	57,50
7	63,10	49,80
8	56,50	56,50
9	50,30	53,20
10	55,00	56,00
<b>Promedio</b>	<b>58,57</b>	<b>55,06</b>

N° de medición	Probeta D3.3	Probeta D3.4	Probeta D3.5
	HRA	HRA	HRA
1	54,00	52,70	52,30
2	57,40	56,00	51,00
3	60,20	57,50	53,80
4	53,30	57,50	56,00
5	62,00	58,00	51,00
6	59,90	57,50	57,50
7	63,40	58,00	61,00
8	61,00	61,00	62,00
9	65,00	59,90	64,80
10	63,10	60,20	64,30
<b>Promedio</b>	<b>59,93</b>	<b>57,83</b>	<b>57,37</b>

CASO 3		
	N° de probeta	HRA
<b>Promedio</b>	D3.1	58,57
	D3.2	55,06
	D3.3	59,93
	D3.4	57,83
	D3.5	57,37
	<b>Promedio Total</b>	<b>57,75</b>

4.1.3.4 Caso 4 (Zinc 79% - Aluminio 21%)



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



**ENSAYO DE DUREZA**

**Datos Informativos**

**Probeta:** D4.1; D4.2; D4.3; D4.4; D4.5 | **Fecha:** 10/04/2014

**Material:** Zinc 79% - Aluminio 21%

**Realizado por:** Santiago Santana | **Lugar:** Laboratorio de Materiales

**Supervisado por:** Ing. Segundo Espín. Mg.

**PARÁMETROS DEL ENSAYO**

**Método:** Rockwell A, según Norma ASTM E-18 -00

**Tipo de penetrador:** Indentador Cónico

**Carga:** 588 N

**Resultados del Ensayo**



N° de Medición	Probeta D4.1	Probeta D4.2
	HRA	HRA
1	62,00	62,00
2	65,00	58,00
3	65,00	58,00
4	50,20	59,30
5	59,90	60,20
6	59,30	59,30
7	61,00	62,00
8	60,20	61,00
9	61,00	62,40
10	60,20	62,40
<b>Promedio</b>	<b>60,38</b>	<b>60,46</b>

N° de medición	Probeta D4.3	Probeta D4.4	Probeta D4.5
	HRA	HRA	HRA
1	57,50	63,10	56,00
2	59,90	64,30	56,00
3	61,00	66,10	59,90
4	58,00	59,90	57,50
5	62,40	66,10	59,90
6	57,50	65,00	54,00
7	64,30	66,10	60,20
8	58,00	65,00	51,00
9	62,40	67,00	55,00
10	60,20	57,50	57,00
<b>Promedio</b>	<b>60,12</b>	<b>64,01</b>	<b>56,65</b>

CASO 4		
	N° de probeta	HRA
<b>Promedio</b>	D4.1	60,38
	D.42	60,46
	D4.3	60,12
	D4.4	64,01
	D4.5	56,65
	<b>Promedio Total</b>	<b>60,32</b>

4.1.3.5 Caso 5 (Zinc 76% – Aluminio 24%)



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



**ENSAYO DE DUREZA**

**Datos Informativos**

**Probeta:** D5.1; D5.2; D5.3; D5.4; D5.5 | **Fecha:** 17/04/2014

**Material:** Zinc 76% – Aluminio 24%

**Realizado por:** Santiago Santana | **Lugar:** Laboratorio de Materiales

**Supervisado por:** Ing. Segundo Espín. Mg.

**PARÁMETROS DEL ENSAYO**

**Método:** Rockwell A, según Norma ASTM E-18 -00

**Tipo de penetrador:** Indentador Cónico

**Carga:** 588 N

**Resultados del Ensayo**



N° de Medición	Probeta D5.1	Probeta D5.2
	HRA	HRA
1	61,00	57,20
2	65,00	59,90
3	66,10	65,00
4	67,00	54,00
5	65,00	63,10
6	61,00	61,00
7	64,30	63,10
8	62,00	52,00
9	64,30	63,10
10	63,10	63,10
<b>Promedio</b>	<b>63,88</b>	<b>60,15</b>

N° de Medición	Probeta D5.3	Probeta D5.4	Probeta D5.5
	HRA	HRA	HRA
1	57,20	65,00	51,00
2	60,20	62,00	54,00
3	64,30	65,80	62,00
4	57,00	62,00	58,40
5	66,10	69,90	66,10
6	59,30	59,30	57,00
7	67,30	69,90	65,00
8	54,00	65,00	60,20
9	62,00	69,90	66,10
10	57,20	65,00	62,40
<b>Promedio</b>	<b>60,46</b>	<b>65,38</b>	<b>60,22</b>

CASO 5		
	N° de probeta	HRA
<b>Promedio</b>	D5.1	63,88
	D5.2	60,15
	D5.3	60,46
	D5.4	65,38
	D5.5	60,22
	<b>Promedio Total</b>	<b>62,02</b>

4.1.3.6 Caso 6 (Zinc 73% – Aluminio 27%)



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



**ENSAYO DE DUREZA**

**Datos Informativos**

**Probeta:** D6.1; D6.2; D6.3; D6.4; D6.5 | **Fecha:** 24/04/2014

**Material:** Zinc 73% – Aluminio 27%

**Realizado por:** Santiago Santana | **Lugar:** Laboratorio de Materiales

**Supervisado por:** Ing. Segundo Espín. Mg.

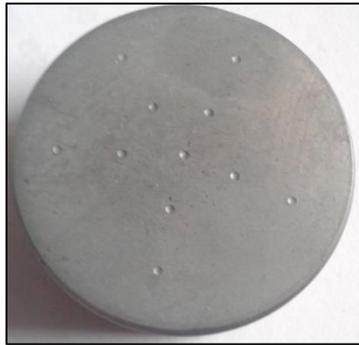
**PARÁMETROS DEL ENSAYO**

**Método:** Rockwell A, según Norma ASTM E-18 -00

**Tipo de penetrador:** Indentador Cónico

**Carga:** 588 N

**Resultados del Ensayo**



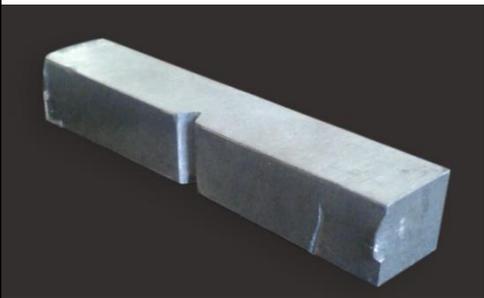
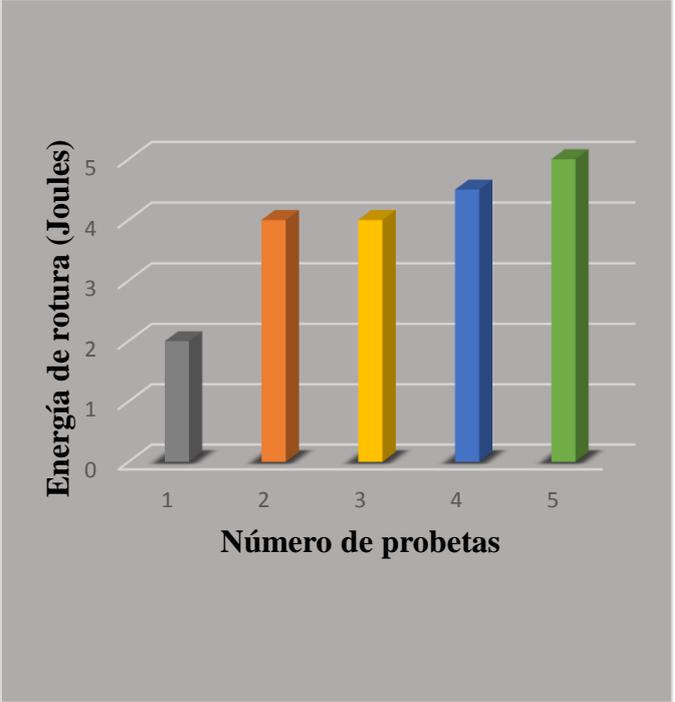
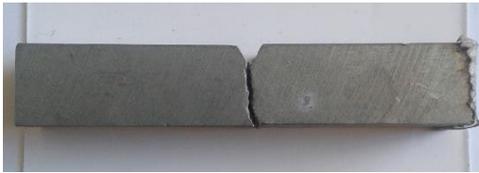
N° de Medición	Probeta D6.1	Probeta D6.2
	HRA	HRA
1	48,00	48,00
2	64,30	66,10
3	48,00	66,10
4	59,30	59,30
5	57,00	65,00
6	67,00	63,10
7	58,00	65,00
8	65,00	60,20
9	55,00	67,00
10	51,00	62,00
<b>Promedio</b>	<b>57,26</b>	<b>62,18</b>

N° de Medición	Probeta D6.3	Probeta D6.4	Probeta D6.5
	HRA	HRA	HRA
1	48,00	48,00	59,90
2	53,20	67,00	69,90
3	62,80	65,00	74,10
4	52,00	62,00	72,20
5	63,10	69,10	73,00
6	54,00	60,20	72,20
7	65,00	67,00	72,20
8	57,00	59,90	67,00
9	69,10	67,00	70,20
10	66,10	54,00	66,80
<b>Promedio</b>	<b>59,03</b>	<b>61,92</b>	<b>69,75</b>

CASO 6		
	N° de probeta	HRA
<b>Promedio</b>	D6.1	57,26
	D6.2	62,18
	D6.3	59,03
	D6.4	61,92
	D6.5	69,75
	<b>Promedio Total</b>	<b>62,03</b>

#### 4.1.4 Ensayo de impacto

##### 4.1.4.1 Caso 1 (Zinc 88% - Aluminio 12%)

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>															
<b>ENSAYO DE IMPACTO</b>																
<b>Datos Informativos</b>																
<b>Probeta:</b> I1.1; I1.2; I1.3; I1.4; I1.5	<b>Fecha:</b> 05/05/2014															
<b>Material:</b> Zinc 88% - Aluminio 12%																
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales															
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.																
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO</b>																
<b>Norma aplicable:</b> ASTM E-23 -01	<b>Temperatura:</b> 22°C															
<b>Método:</b> Charpy																
<b>Tiempo de ensayo:</b> 1 min																
<b>Resultados del Ensayo</b>																
																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N° Probeta</th> <th>Energía impacto (J)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I 1.1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>I 1.2</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>I 1.3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>I 1.4</td> <td>4,5</td> </tr> <tr> <td>I 1.5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td><b>Promedio</b></td> <td><b>3,9</b></td> </tr> </tbody> </table>	N° Probeta	Energía impacto (J)	I 1.1	2	I 1.2	4	I 1.3	4	I 1.4	4,5	I 1.5	5	<b>Promedio</b>	<b>3,9</b>		
N° Probeta	Energía impacto (J)															
I 1.1	2															
I 1.2	4															
I 1.3	4															
I 1.4	4,5															
I 1.5	5															
<b>Promedio</b>	<b>3,9</b>															
<b>Observaciones:</b>																
																
<p>La probeta sometida al ensayo de impacto presenta fractura fragil.</p>																

4.1.4.2 Caso 2 (Zinc 85% – Aluminio 15%)



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



**ENSAYO DE IMPACTO**

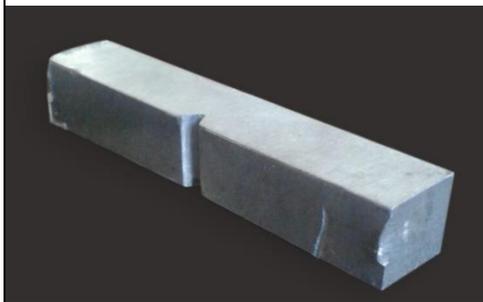
**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> I2.1; I2.2; I2.3; I2.4; I2.5	<b>Fecha:</b> 06/05/2014
<b>Material:</b> Zinc 85% – Aluminio 15%	
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.	

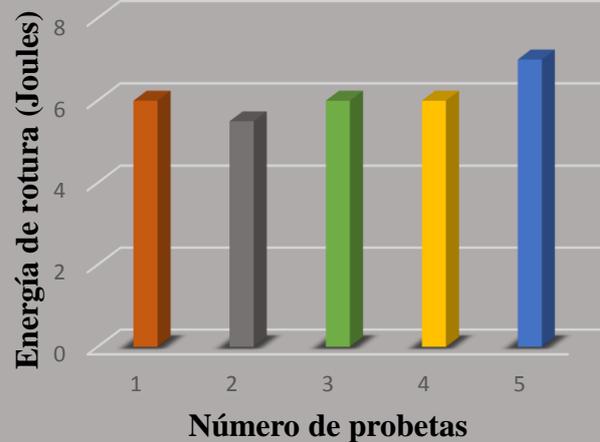
**PARÁMETROS DEL ENSAYO**

<b>Norma aplicable:</b> ASTM E-23 -01	<b>Temperatura:</b> 22°C
<b>Método:</b> Charpy	
<b>Tiempo de ensayo:</b> 1 min	

**Resultados del Ensayo**



N° Probeta	Energía impacto (J)
I 2.1	6
I 2.2	5,5
I 2.3	6
I 2.4	6
I 2.5	7
<b>Promedio</b>	<b>6,1</b>



**Observaciones:**



La probeta sometida al ensayo de impacto presenta fractura fragil.

4.1.4.3 Caso 3 (Zinc 82% – Aluminio 18%)



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



**ENSAYO DE IMPACTO**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> I3.1; I3.2; I3.3; I3.4; I3.5	<b>Fecha:</b> 07/05/2014
<b>Material:</b> Zinc 82% – Aluminio 18%	
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.	

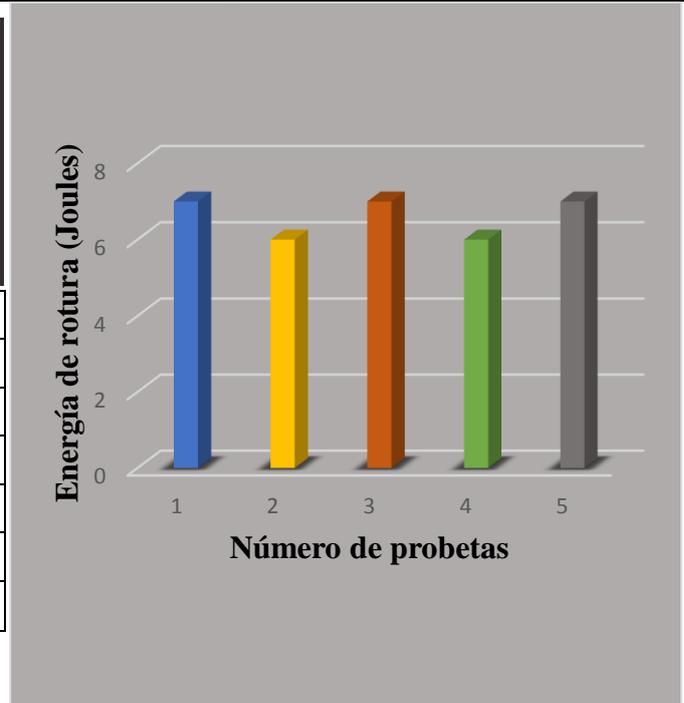
**PARÁMETROS DEL ENSAYO**

<b>Norma aplicable:</b> ASTM E-23 -01	<b>Temperatura:</b> 22°C
<b>Método:</b> Charpy	
<b>Tiempo de ensayo:</b> 1 min	

**Resultados del Ensayo**



N° Probeta	Energía impacto (J)
I 3.1	7
I 3.2	6
I 3.3	7
I 3.4	6
I 3.5	7
<b>Promedio</b>	<b>6,6</b>



**Observaciones:**



La probeta sometida al ensayo de impacto presenta fractura fragil.

4.1.4.4 Caso 4 (Zinc 79% - Aluminio 21%)



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



**ENSAYO DE IMPACTO**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> I4.1; I4.2; I4.3; I4.4; I4.5	<b>Fecha:</b> 08/05/2014
<b>Material:</b> Zinc 79% - Aluminio 21%	
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.	

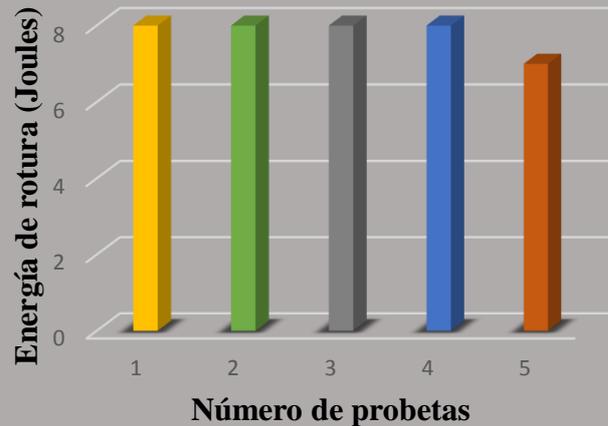
**PARÁMETROS DEL ENSAYO**

<b>Norma aplicable:</b> ASTM E-23 -01	<b>Temperatura:</b> 22°C
<b>Método:</b> Charpy	
<b>Tiempo de ensayo:</b> 1 min	

**Resultados del Ensayo**



N° Probeta	Energía impacto (J)
I 4.1	8
I 4.2	8
I 4.3	8,5
I 4.4	9
I 4.5	7
<b>Promedio</b>	<b>8,1</b>



**Observaciones:**



La probeta sometida al ensayo de impacto presenta fractura fragil.

4.1.4.5 Caso 5 (Zinc 76% – Aluminio 24%)



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



**ENSAYO DE IMPACTO**

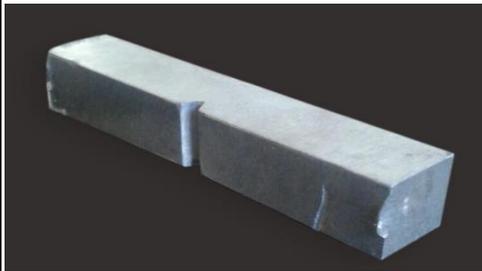
**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> I5.1; I5.2; I5.3; I5.4; I5.5	<b>Fecha:</b> 12/05/2014
<b>Material:</b> Zinc 76% – Aluminio 24%	
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.	

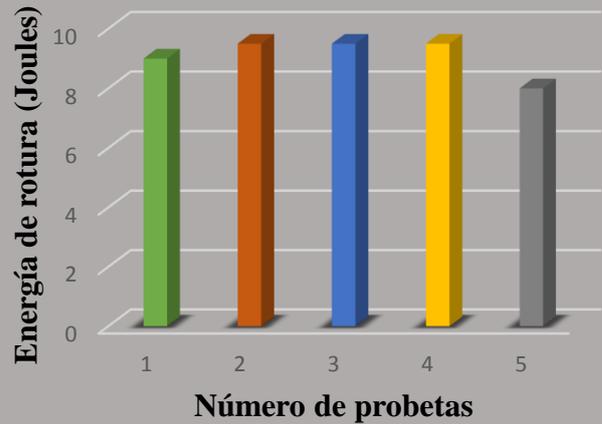
**PARÁMETROS DEL ENSAYO**

<b>Norma aplicable:</b> ASTM E-23 -01	<b>Temperatura:</b> 22°C
<b>Método:</b> Charpy	
<b>Tiempo de ensayo:</b> 1 min	

**Resultados del Ensayo**



N° Probeta	Energía impacto (J)
I 5.1	9
I 5.2	9,5
I 5.3	9,5
I 5.4	9,5
I 5.5	8
<b>Promedio</b>	<b>9,1</b>



**Observaciones:**



La probeta sometida al ensayo de impacto presenta rotura fragil.

4.1.4.6 Caso 6 (Zinc 73% – Aluminio 27%)



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



**ENSAYO DE IMPACTO**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> I6.1; I6.2; I6.3; I6.4; I6.5	<b>Fecha:</b> 13/05/2014
<b>Material:</b> Zinc 73% – Aluminio 27%	
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.	

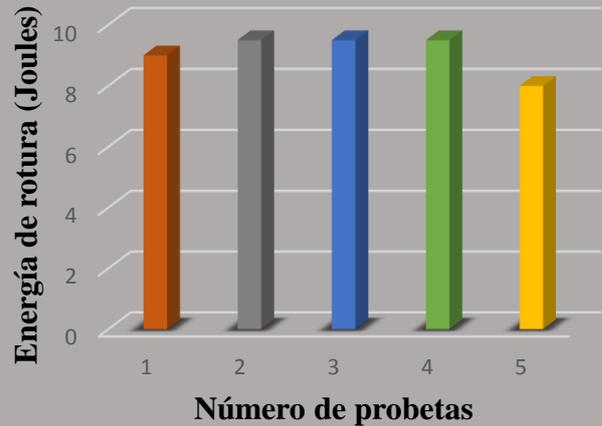
**PARÁMETROS DEL ENSAYO**

<b>Norma aplicable:</b> ASTM E-23 -01	<b>Temperatura:</b> 22°C
<b>Método:</b> Charpy	
<b>Tiempo de ensayo:</b> 1 min	

**Resultados del Ensayo**



N° Probeta	Energía impacto (J)
I 6.1	10
I 6.2	10
I 6.3	10,5
I 6.4	10,5
I 6.5	10
<b>Promedio</b>	<b>10,2</b>



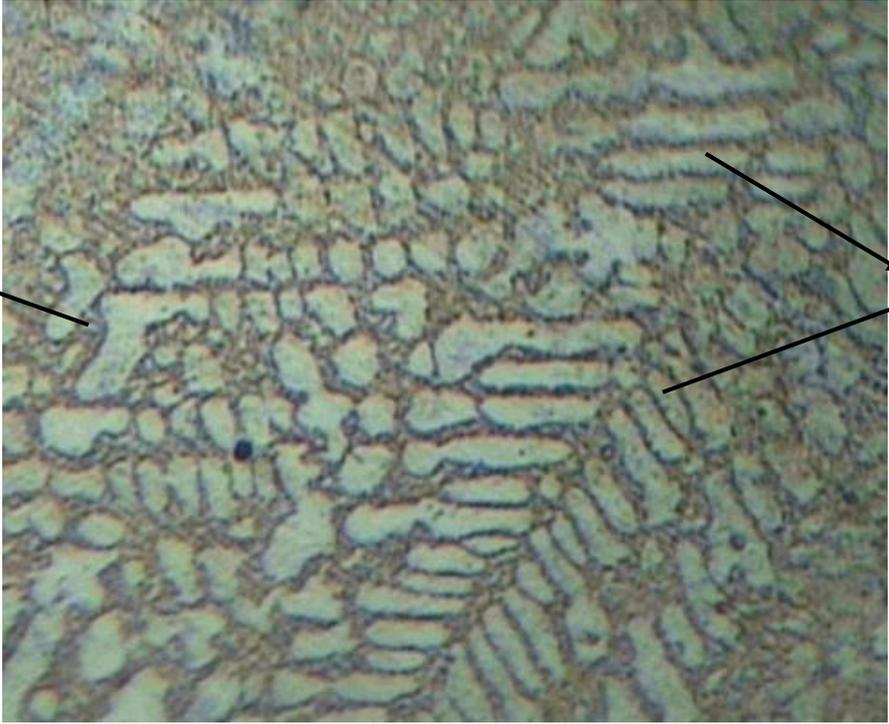
**Observaciones:**



La probeta sometida al ensayo de impacto presenta rotura fragil.

#### 4.1.5 Ensayo metalográfico

##### 4.1.5.1 Caso 1 (Zinc 88% - Aluminio 12%)

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>		
<b>Datos Informativos</b>		
<b>Probeta:</b> M 1	<b>Fecha:</b> 15/05/2014	
<b>Material:</b> Zinc 88% - Aluminio 12%		
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales	
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO</b>		
<b>Acondicionamiento de superficie:</b> Pulido mecánico	<b>Temperatura:</b> 22°C	
<b>Superficie preparada en:</b> 3h		
<b>Ataque químico de la superficie:</b> Aleación de zinc, 8 seg.		
<b>Resultados del Ensayo</b>		
		
<b>Microestructura Aleación de zinc, Zn 88% - Al 12%, 200x, 8 seg,</b>		
<b>Fase <math>\alpha</math> = Matriz (Zn)</b>		
<b>Fase <math>\beta</math> = Presencia granular (Al)</b>		



**TAMAÑO DE GRANO**  
Norma ASTM E112 - 96 -01



$$NA = f \left( N_{inside} + \frac{N_{intercepted}}{2} \right)$$

$$f = 8 \text{ por norma ASTM E - 112( } 200x)$$

$$NA = 444$$

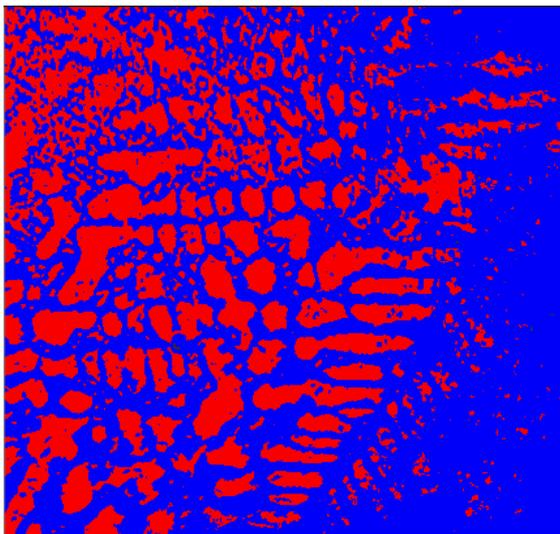
$$G = 3,321918 * \log(NA) - 2,954$$

**Tamaño de grano ASTM**

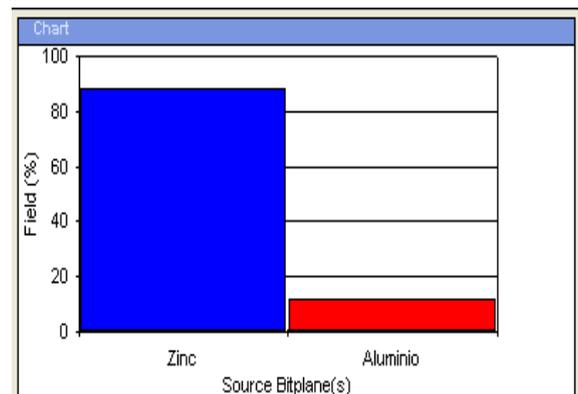
$$G = 5,844$$

**EVALUACIÓN DE LA  
MICROESTRUCTURA**

**COMPONENTES  
MICROESTRUCTURALES**



Microestructura Aleación de zinc,  
Zn 88% - Al 12%, 200x, 8 seg.



S. Bitplane(s)	Field (%)
Zinc	88,1
Aluminio	11,9

#### 4.1.5.2 Caso 2 (Zinc 85% – Aluminio 15%)



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



### ENSAYO METALOGRAFICO

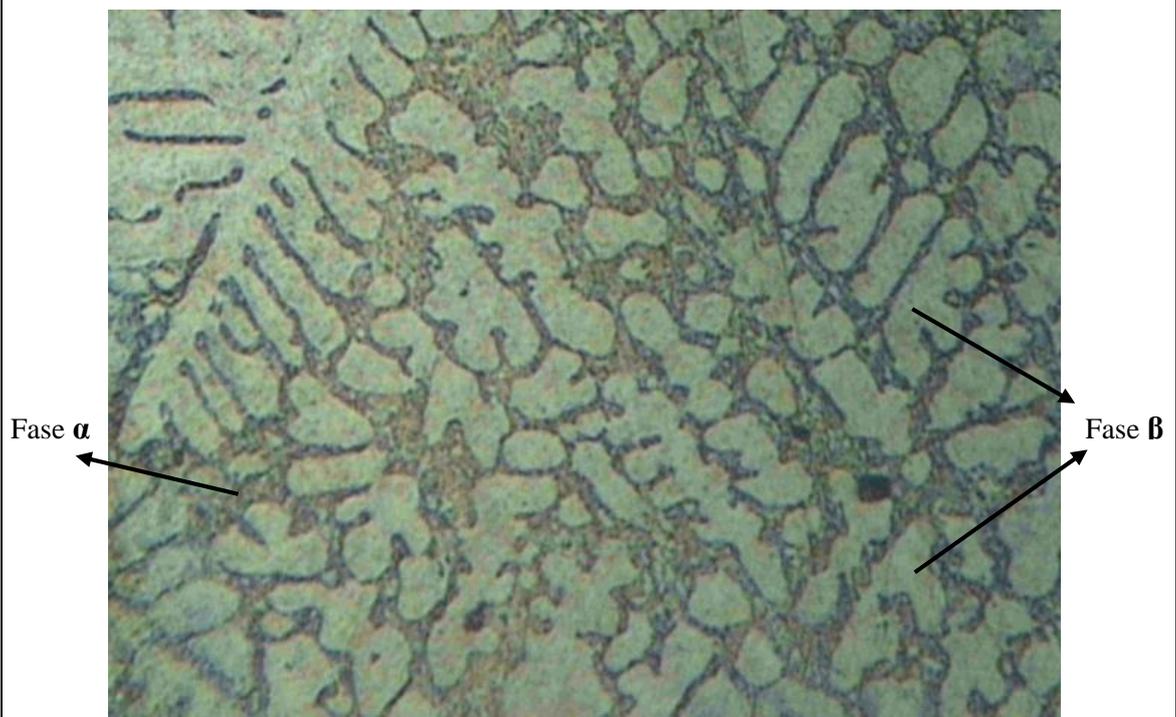
#### Datos Informativos

<b>Probeta:</b> M 2	<b>Fecha:</b> 29/05/2014
<b>Material:</b> Zinc 85% – Aluminio 15%	
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.	

#### PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

<b>Acondicionamiento de superficie:</b> Pulido mecánico	<b>Temperatura:</b> 22°C
<b>Superficie preparada en:</b> 3h	
<b>Ataque químico de la superficie:</b> Aleación de zinc, 7 seg	

#### Resultados del Ensayo



Microestructura Aleación de zinc, Zn 85% - Al 15%, 200x, 7 seg.

**Fase  $\alpha$**  = Matriz (Zn)

**Fase  $\beta$**  = Presencia granular (Al)



**TAMAÑO DE GRANO**  
Norma ASTM E112 - 96 -01



$$NA = f \left( N_{inside} + \frac{N_{intercepted}}{2} \right)$$

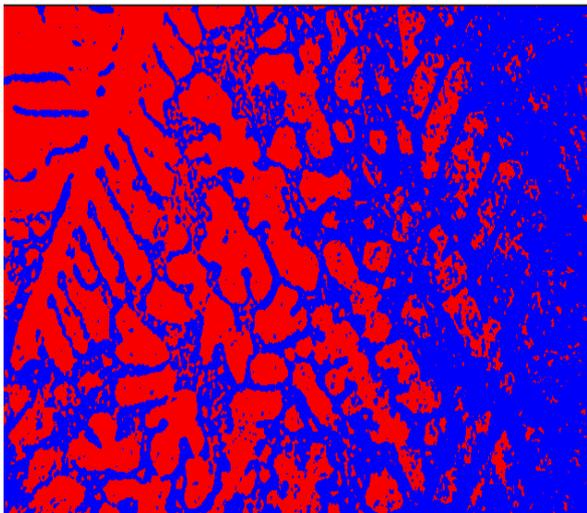
$$f = 8 \text{ por norma ASTM E - 112(200x)}$$

$$NA = 156$$

$$G = 3,321918 * \log(NA) - 2,954$$

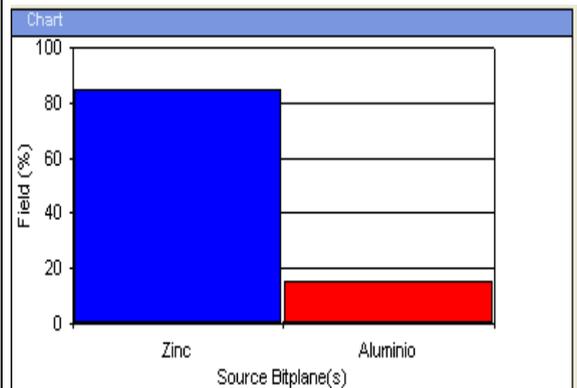
**Tamaño de grano ASTM**  
 $G = 4,33$

**EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA**



Microestructura Aleación de zinc,  
Zn 85% - Al 15%, 200x, 7 seg.

**COMPONENTES MICROESTRUCTURALES**



S. Bitplane(s)	Field (%)
Zinc	84,9
Aluminio	15,1

#### 4.1.5.3 Caso 3 (Zinc 82% - Aluminio 18%)



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



### ENSAYO METALOGRAFICO

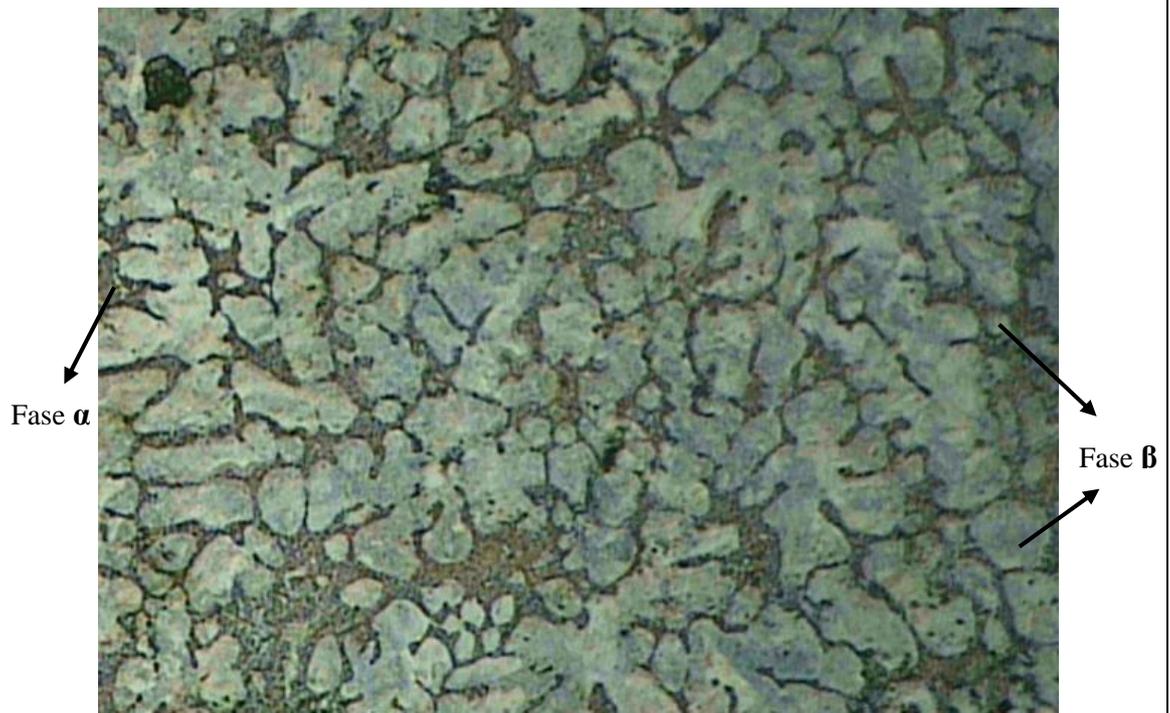
#### Datos Informativos

<b>Probeta:</b> M 3	<b>Fecha:</b> 12/06/2014
<b>Material:</b> Zinc 82% - Aluminio 18%	
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.	

#### PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

<b>Acondicionamiento de superficie:</b> Pulido mecánico	<b>Temperatura:</b> 22°C
<b>Superficie preparada en:</b> 3h	
<b>Ataque químico de la superficie:</b> Aleación de zinc, 7 seg	

#### Resultados del Ensayo



Microestructura Aleación de zinc, Zn 82% - Al 18%, 200x, 7 seg.

**Fase  $\alpha$**  = Matriz (Zn)  
**Fase  $\beta$**  = Presencia granular (Al)



**TAMAÑO DE GRANO**  
Norma ASTM E112 – 96 -01



$$NA = f \left( N_{inside} + \frac{N_{intercepted}}{2} \right)$$

$$f = 8 \text{ por norma ASTM E - 112(200x)}$$

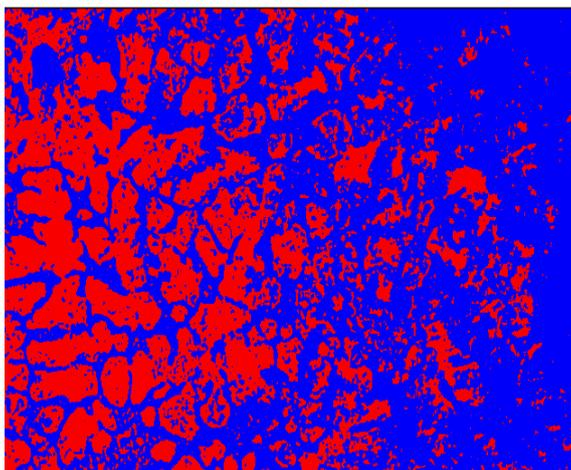
$$NA = 164$$

$$G = 3,321918 * \log(NA) - 2,954$$

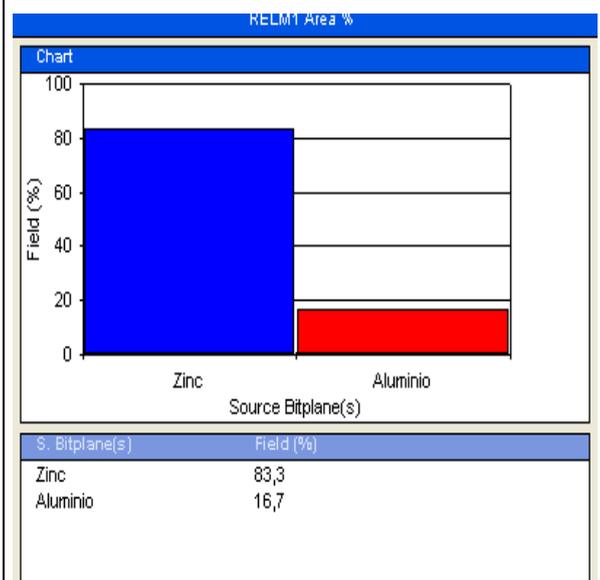
**Tamaño de grano ASTM**  
 $G = 4,40$

**EVALUACIÓN DE LA  
MICROESTRUCTURA**

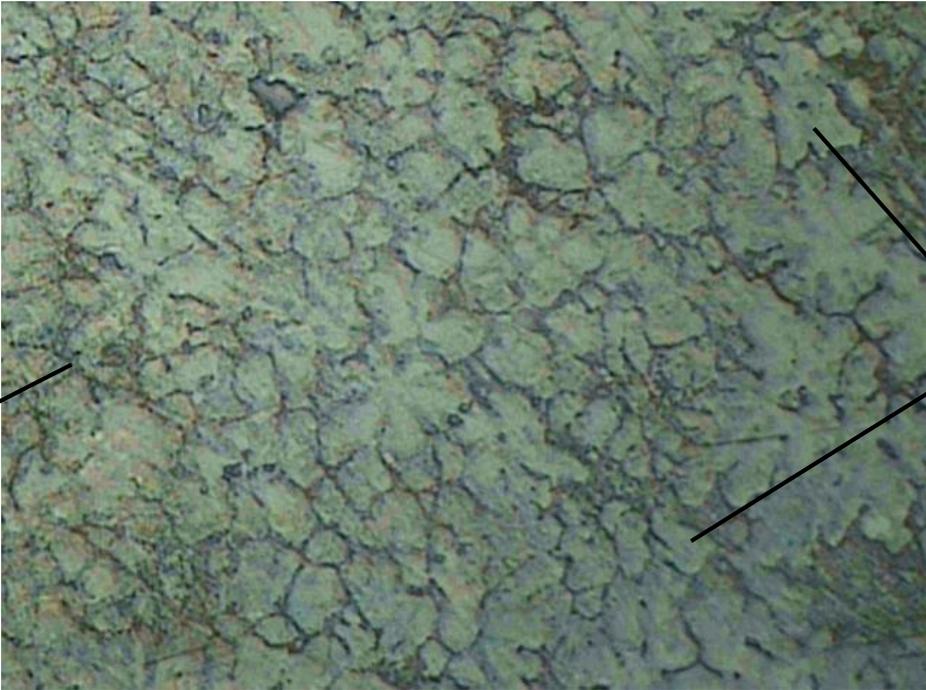
**COMPONENTES  
MICROESTRUCTURALES**



Microestructura Aleación de zinc,  
Zn 82% - Al 18%, 200x, 7 seg.



#### 4.1.5.4 Caso 4 (Zinc 79% - Aluminio 21%)

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>		
<b>Datos Informativos</b>		
<b>Probeta:</b> M 4	<b>Fecha:</b> 26/06/2014	
<b>Material:</b> Zinc 79% - Aluminio 21%		
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales	
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO</b>		
<b>Acondicionamiento de superficie:</b> Pulido mecánico	<b>Temperatura:</b> 22°C	
<b>Superficie preparada en:</b> 3h		
<b>Ataque químico de la superficie:</b> Aleación de zinc, 8 seg		
<b>Resultados del Ensayo</b>		
		
<b>Microestructura Aleación de zinc, Zn 79% - Al 21%, 200x, 7 seg.</b>		
<b>Fase <math>\alpha</math> = Matriz (Zn)</b> <b>Fase <math>\beta</math> = Presencia granular (Al)</b>		



**TAMAÑO DE GRANO**  
Norma ASTM E112 – 96 -01



$$NA = f \left( N_{inside} + \frac{N_{intercepted}}{2} \right)$$

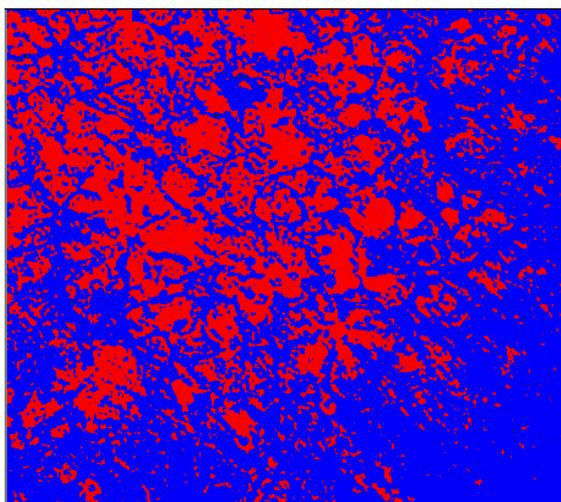
$$f = 8 \text{ por norma ASTM E - 112( 200x)}$$

$$NA = 116$$

$$G = 3,321918 * \log(NA) - 2,954$$

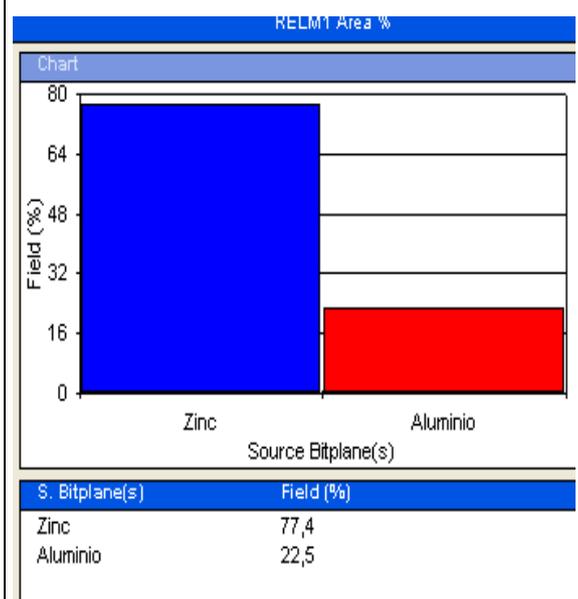
**Tamaño de grano ASTM**  
 $G = 3,90$

**EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA**



Microestructura Aleación de zinc,  
Zn, 79% - Al 21%, 200x, 7 seg.

**COMPONENTES MICROESTRUCTURALES**



#### 4.1.5.5 Caso 5 (Zinc 76% – Aluminio 24%)



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



### ENSAYO METALOGRAFICO

#### Datos Informativos

<b>Probeta:</b> M 5	<b>Fecha:</b> 17/07/2014
<b>Material:</b> Zinc 76% – Aluminio 24%	
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.	

### PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

<b>Acondicionamiento de superficie:</b> Pulido mecánico	<b>Temperatura:</b> 22°C
<b>Superficie preparada en:</b> 3h	
<b>Ataque químico de la superficie:</b> Aleaciones de zinc, 7 seg	

### Resultados del Ensayo



Microestructura Aleación de zinc, Zn 76% - Al 24%, 200x, 7 seg.

**Fase  $\alpha$**  = Matriz (Zn)

**Fase  $\beta$**  = Presencia granular (Al)



**TAMAÑO DE GRANO**  
 Norma ASTM E112 – 96 -01



$$NA = f \left( N_{inside} + \frac{N_{intercepted}}{2} \right)$$

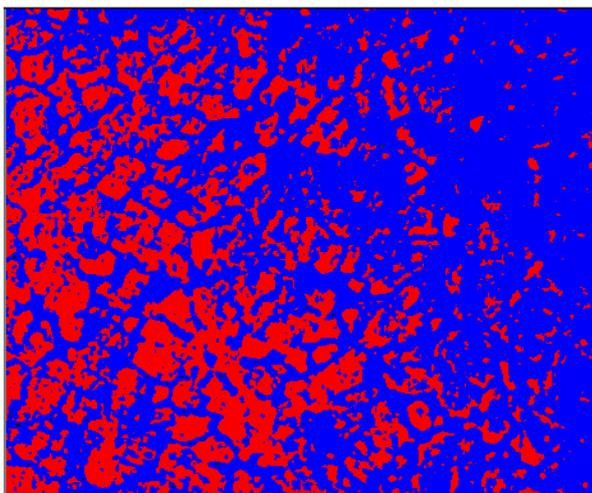
$$f = 8 \text{ por norma ASTM E - 112( 200x)}$$

$$NA = 361$$

$$G = 3,321918 * \log(NA) - 2,954$$

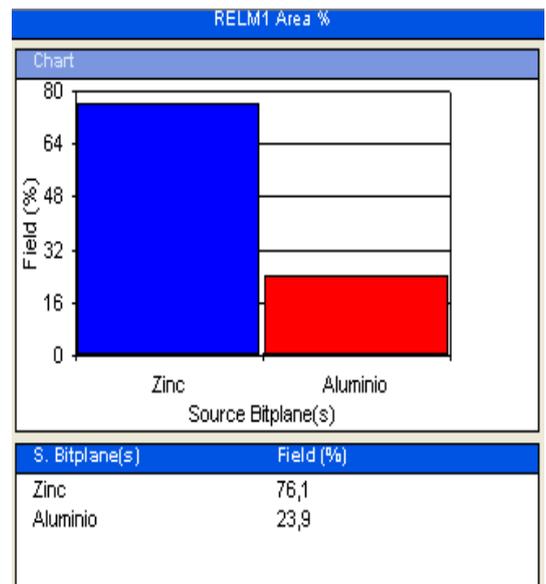
**Tamaño de grano ASTM**  
 $G = 5,54$

**EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA**



Microestructura Aleación de zinc,  
 Zn76% - Al 24%, 200x, 7 seg.

**COMPONENTES MICROESTRUCTURALES**



#### 4.1.5.6 Caso 6 (Zinc 73% – Aluminio 27%)



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



### ENSAYO METALOGRAFICO

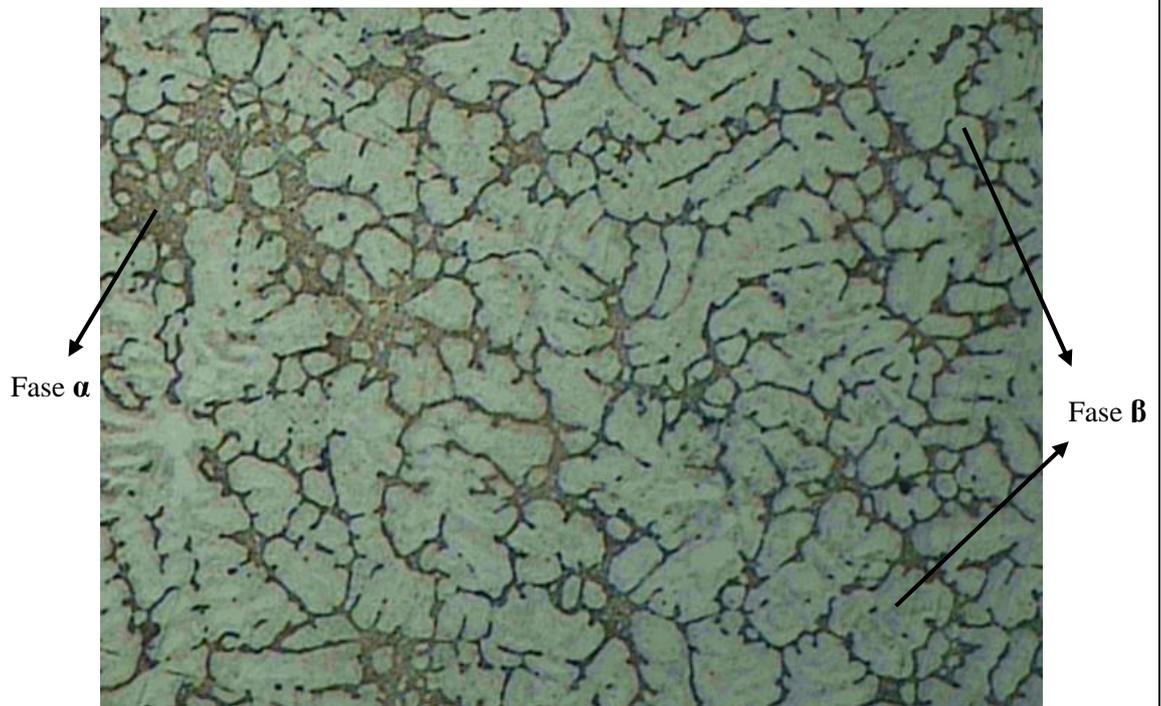
#### Datos Informativos

<b>Probeta:</b> M 6	<b>Fecha:</b> 31/07/2014
<b>Material:</b> Zinc 73% – Aluminio 27%	
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.	

### PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

<b>Acondicionamiento de superficie:</b> Pulido mecánico	<b>Temperatura:</b> 22°C
<b>Superficie preparada en:</b> 3h	
<b>Ataque químico de la superficie:</b> Aleación de zinc, 7 seg	

### Resultados del Ensayo

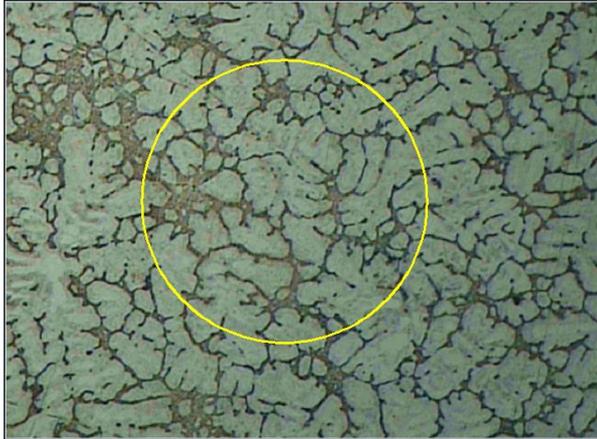


Microestructura Aleación de zinc, Zn 73% - Al 27%, 200x, 7 seg.

**Fase  $\alpha$**  = Matriz (Zn)  
**Fase  $\beta$**  = Presencia granular (Al)



**TAMAÑO DE GRANO**  
Norma ASTM E112 – 96 -01



$$NA = f \left( N_{inside} + \frac{N_{intercepted}}{2} \right)$$

$$f = 8 \text{ por norma ASTM E - 112( 200x)}$$

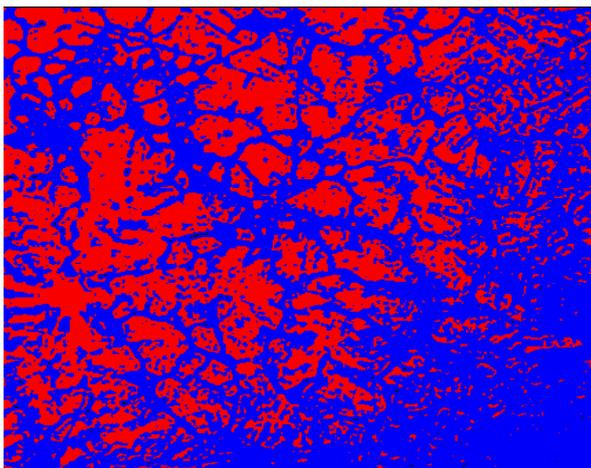
$$NA = 212$$

$$G = 3,321918 * \log(NA) - 2,954$$

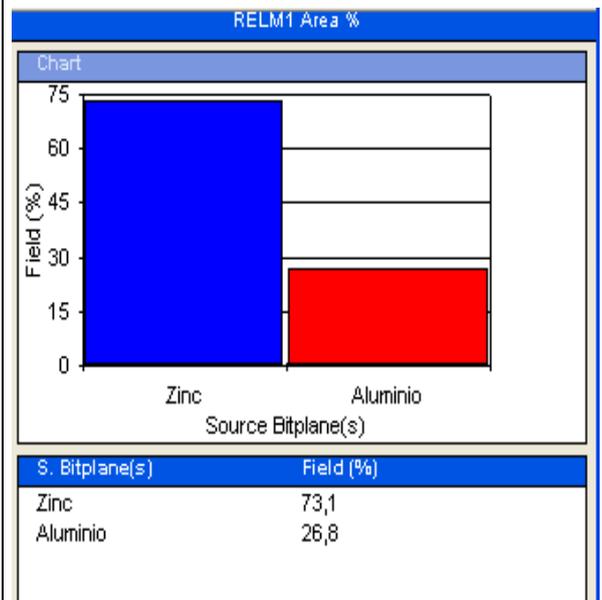
**Tamaño de grano ASTM**  
 $G = 4,77$

**EVALUACIÓN DE LA  
MICROESTRUCTURA**

**COMPONENTES  
MICROESTRUCTURALES**

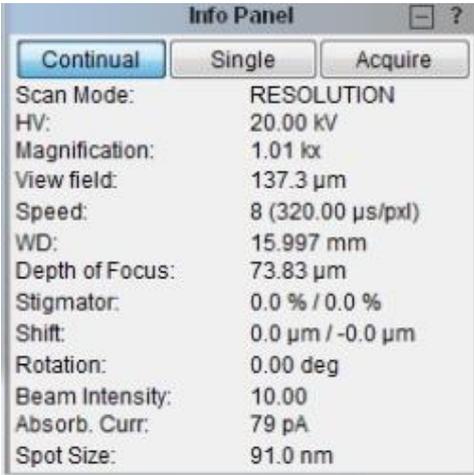
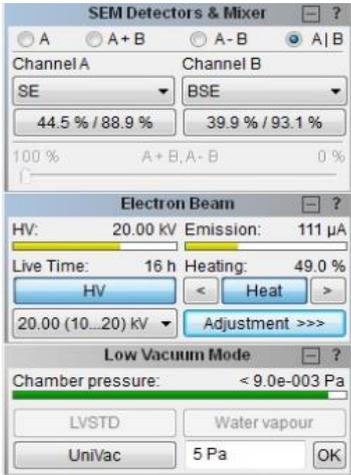
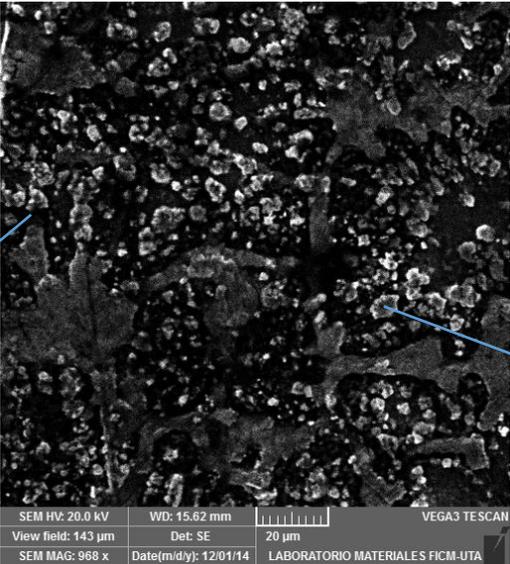


Microestructura Aleación de zinc,  
Zn 73% - Al 27%, 200x, 7 seg.



#### 4.1.6 Análisis con microscopio de barrido

##### 4.1.6.1 Caso 1 (Zinc 88% - Aluminio 12%)

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>		
<b>Datos Informativos</b>		
<b>Probeta:</b> M 1	<b>Fecha:</b> 03/12/2014	
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales	
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.		
<b>PARÁMETROS DEL MICROSCOPIO DE BARRIDO</b>		
		
<b>Resultados del Análisis</b>		
		
<p>Microestructura Zn88% - Al 12% 1000x, sin atacar</p> <p><b>Fase <math>\alpha</math></b> = Matriz (Zn)  <b>Fase <math>\beta</math></b> = Presencia granular (Al)</p>		

4.1.6.2 Caso 2 (Zinc 85% – Aluminio 15%)



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

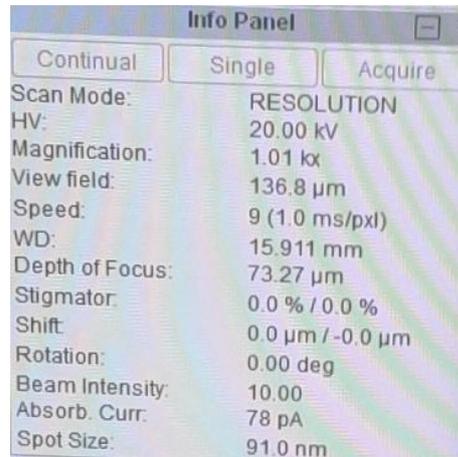


ENSAYO METALOGRAFICO

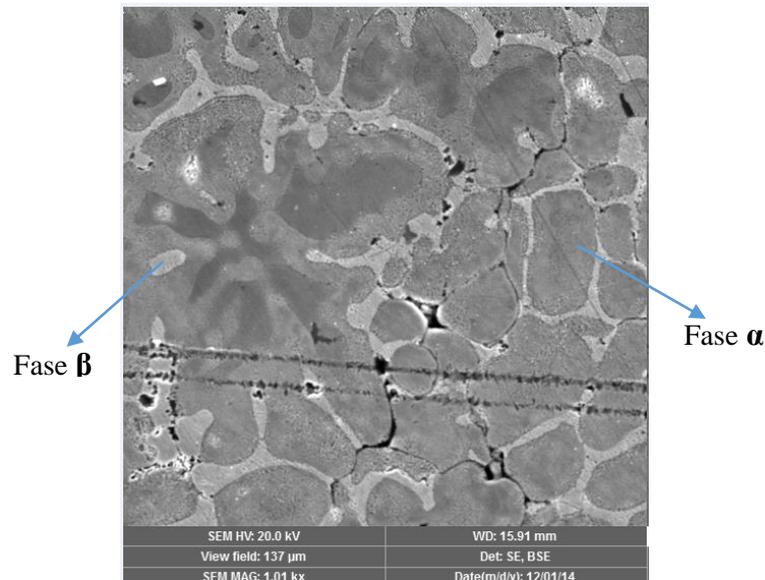
Datos Informativos

<b>Probeta:</b> M 2	<b>Fecha:</b> 03/12/2014
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.	

PARÁMETROS DEL MICROSCOPIO DE BARRIDO



Resultados del Análisis



Microestructura Zn 85% - Al 15% 1000x, sin atacar

**Fase  $\alpha$**  = Matriz (Zn)

**Fase  $\beta$**  = Presencia granular (Al)

4.1.6.3 Caso 3 (Zinc 82% - Aluminio 18%)



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

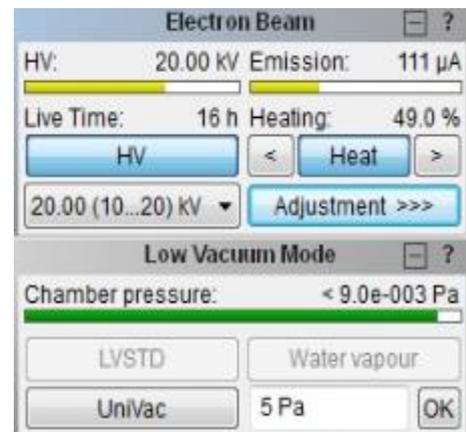
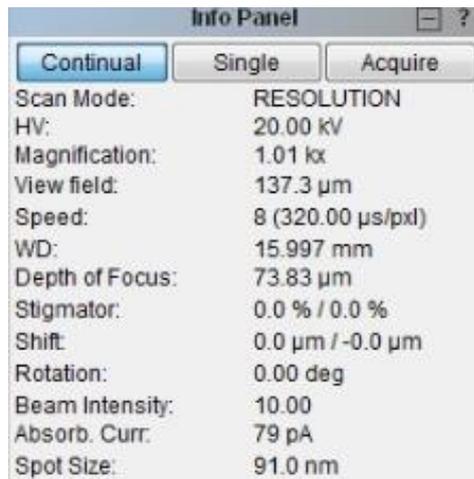


ENSAYO METALOGRAFICO

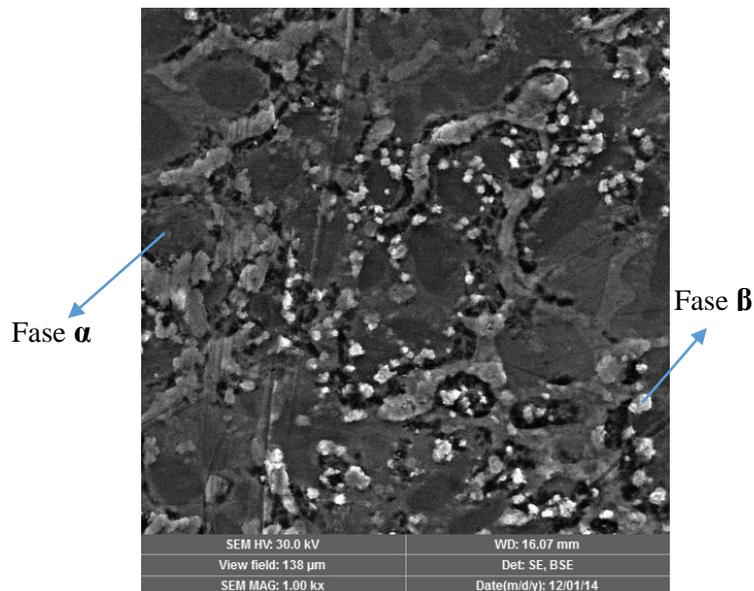
Datos Informativos

<b>Probeta:</b> M 3	<b>Fecha:</b> 03/12/2014
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.	

PARÁMETROS DEL MICROSCOPIO DE BARRIDO



Resultados del Análisis



Microestructura Zn 82% - Al 18% 1000x, sin atacar

**Fase  $\alpha$**  = Matriz (Zn)

**Fase  $\beta$**  = Presencia granular (Al)

4.1.6.4 Caso 4 (Zinc 79% - Aluminio 21%)



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos

<b>Probeta:</b> M 4	<b>Fecha:</b> 04/12/2014
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.	

PARÁMETROS DEL MICROSCOPIO DE BARRIDO

**Info Panel**

Continual Single Acquire

Scan Mode: RESOLUTION  
 HV: 20.00 kV  
 Magnification: 1.01 kx  
 View field: 137.3 µm  
 Speed: 8 (320.00 µs/pxl)  
 WD: 15.997 mm  
 Depth of Focus: 73.83 µm  
 Stigmator: 0.0 % / 0.0 %  
 Shift: 0.0 µm / -0.0 µm  
 Rotation: 0.00 deg  
 Beam Intensity: 10.00  
 Absorb. Curr: 79 pA  
 Spot Size: 91.0 nm

**SEM Detectors & Mixer**

A A+B A-B A|B

Channel A Channel B  
 SE BSE  
 44.5 % / 88.9 % 39.9 % / 93.1 %

100 % A + B, A - B 0 %

**Electron Beam**

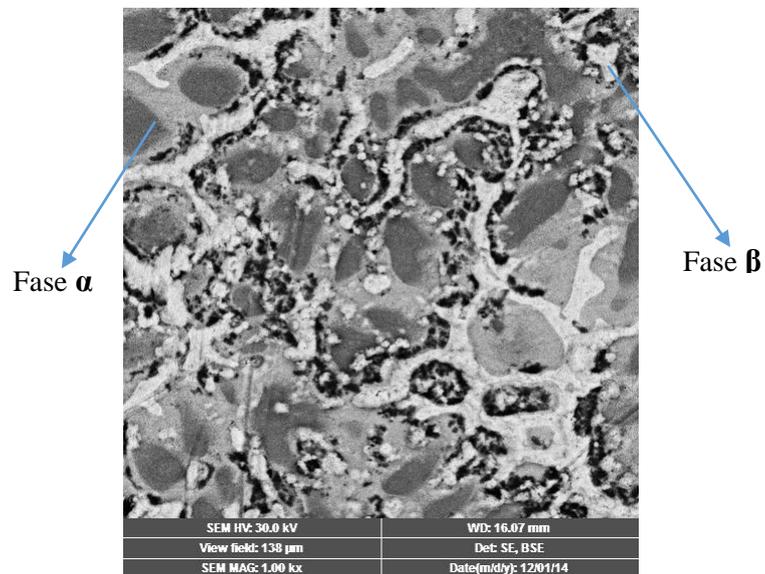
HV: 20.00 kV Emission: 111 µA  
 Live Time: 16 h Heating: 49.0 %  
 HV Heat  
 20.00 (10..20) kV Adjustment >>>

**Low Vacuum Mode**

Chamber pressure: < 9.0e-003 Pa

LVSTD Water vapour  
 UniVac 5 Pa OK

Resultados del Análisis



Microestructura Zn 79% - Al 21% 1000x, sin atacar

Fase  $\alpha$  = Matriz (Zn)

Fase  $\beta$  = Presencia granular (Al)

4.1.6.5 Caso 5 (Zinc 76% – Aluminio 24%)



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos

<b>Probeta:</b> M 5	<b>Fecha:</b> 04/12/2014
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.	

PARÁMETROS DEL MICROSCOPIO DE BARRIDO

**Info Panel**

Continual Single Acquire

Scan Mode: RESOLUTION  
 HV: 20.00 kV  
 Magnification: 1.01 kx  
 View field: 137.3 µm  
 Speed: 8 (320.00 µs/pxl)  
 WD: 15.997 mm  
 Depth of Focus: 73.83 µm  
 Stigmator: 0.0 % / 0.0 %  
 Shift: 0.0 µm / -0.0 µm  
 Rotation: 0.00 deg  
 Beam Intensity: 10.00  
 Absorb. Curr: 79 pA  
 Spot Size: 91.0 nm

**SEM Detectors & Mixer**

A A+B A-B A|B

Channel A Channel B  
 SE BSE  
 44.5 % / 88.9 % 39.9 % / 93.1 %

100 % A + B, A - B 0 %

**Electron Beam**

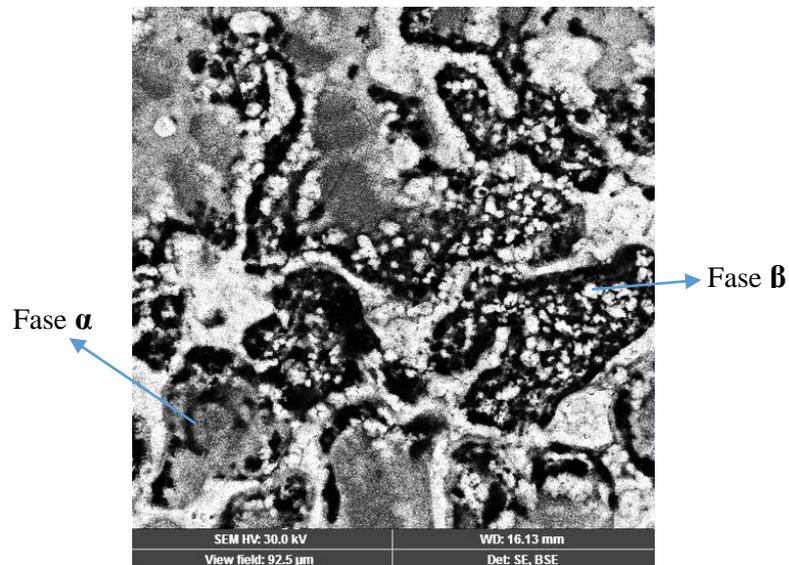
HV: 20.00 kV Emission: 111 µA  
 Live Time: 16 h Heating: 49.0 %  
 HV Heat  
 20.00 (10..20) kV Adjustment >>>

**Low Vacuum Mode**

Chamber pressure: < 9.0e-003 Pa

LVSTD Water vapour  
 UniVac 5 Pa OK

Resultados del Análisis



Microestructura Zn 76% - Al 24% 1000x, sin atacar

Fase  $\alpha$  = Matriz (Zn)

Fase  $\beta$  = Presencia granular (Al)

4.1.6.6 Caso 6 (Zinc 73% – Aluminio 27%)



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos

<b>Probeta:</b> M 6	<b>Fecha:</b> 04/12/2014
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Materiales
<b>Supervisado por:</b> Ing. Segundo Espín. Mg.	

PARÁMETROS DEL MICROSCOPIO DE BARRIDO

**Info Panel**

Continual Single Acquire

Scan Mode: RESOLUTION  
 HV: 20.00 kV  
 Magnification: 1.01 kx  
 View field: 137.3 µm  
 Speed: 8 (320.00 µs/pxl)  
 WD: 15.997 mm  
 Depth of Focus: 73.83 µm  
 Stigmator: 0.0 % / 0.0 %  
 Shift: 0.0 µm / -0.0 µm  
 Rotation: 0.00 deg  
 Beam Intensity: 10.00  
 Absorb. Curr: 79 pA  
 Spot Size: 91.0 nm

**SEM Detectors & Mixer**

A A+B A-B A|B

Channel A Channel B  
 SE BSE  
 44.5 % / 88.9 % 39.9 % / 93.1 %

100 % A + B, A - B 0 %

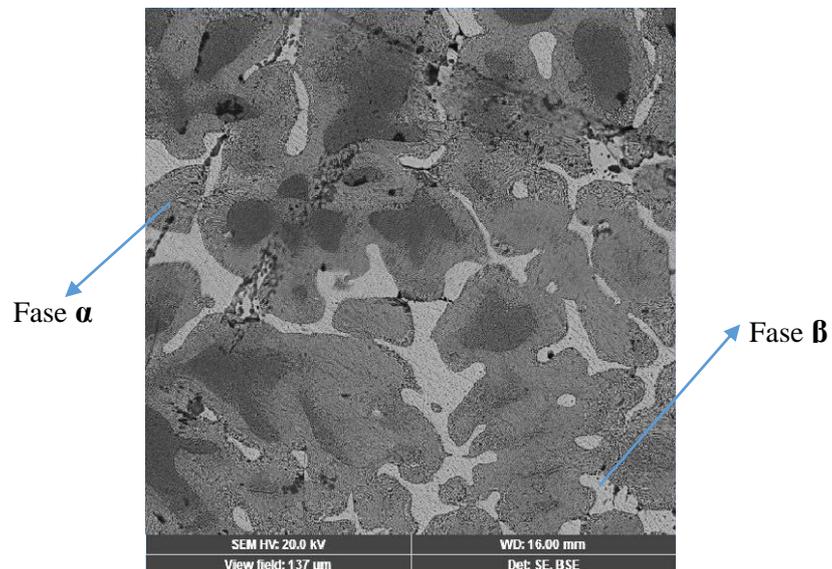
**Electron Beam**

HV: 20.00 kV Emission: 111 µA  
 Live Time: 16 h Heating: 49.0 %  
 HV Heat  
 20.00 (10..20) kV Adjustment >>>

**Low Vacuum Mode**

Chamber pressure: < 9.0e-003 Pa  
 LVSTD Water vapour  
 UniVac 5 Pa OK

Resultados del Análisis



Microestructura Zn 73% - Al 27% 1000x, sin atacar

Fase  $\alpha$  = Matriz (Zn)

Fase  $\beta$  = Presencia granular (Al)

## 4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 4.2.1 Tracción

**Tabla 4-5 Resultados del ensayo de tracción y su promedio total por caso**

Caso 1 (Zn 88% - Al 12%)												
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Probeta 4		Probeta 5		Promedio Total	
	MPa	KPsi	MPa	KPsi								
<b>Sut</b>	196,22	28,45	159,38	23,11	168,71	24,46	213,89	31,01	181,20	26,27	183,88	26,66
<b>% e</b>	0,91%	-	1,77%	-	0,39%	-	0,39%	-	0,75%	-	0,84%	-

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-6 Resultados del ensayo de tracción y su promedio total por caso**

Caso 2 (Zn 85% - Al 15%)												
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Probeta 4		Probeta 5		Promedio Total	
	MPa	KPsi	MPa	KPsi								
<b>Sut</b>	135,48	19,64	136,29	19,76	147,39	21,37	130,86	18,98	106,14	15,39	131,23	19,03
<b>% e</b>	0,39%	-	0,79%	-	0,91%	-	0,39%	-	0,39%	-	0,57%	-

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-7 Resultados del ensayo de tracción y su promedio total por caso**

Caso 3 (Zn 82% - Al 18%)												
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Probeta 4		Probeta 5		Promedio Total	
	MPa	KPsi	MPa	KPsi								
<b>Sut</b>	110,78	16,06	85,00	12,33	96,80	14,04	101,07	14,65	99,06	14,36	98,54	14,29
<b>% e</b>	0,75%	-	0,59%	-	0,59%	-	0,28%	-	0,59%	-	0,56%	-

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-8 Resultados del ensayo de tracción y su promedio total por caso**

<b>Caso 4 (Zn 79% - Al 21%)</b>												
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Probeta 4		Probeta 5		Promedio Total	
	MPa	KPsi	MPa	KPsi								
<b>Sut</b>	127,73	18,52	134,14	19,45	129,28	18,75	137,94	20,00	127,55	18,49	131,33	19,04
<b>% e</b>	0,63%	-	0,55%	-	0,79%	-	0,63%	-	0,39%	-	0,60%	-

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-9 Resultados del ensayo de tracción y su promedio total por caso**

<b>Caso 5 (Zn76% - Al 24%)</b>												
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Probeta 4		Probeta 5		Promedio Total	
	MPa	KPsi	MPa	KPsi								
<b>Sut</b>	181,72	26,35	188,43	27,32	174,63	25,32	176,23	25,55	183,52	26,61	180,91	26,23
<b>% e</b>	0,59%	-	0,12%	-	0,39%	-	0,79%	-	1,18%	-	0,61%	-

(Fuente: Autor)

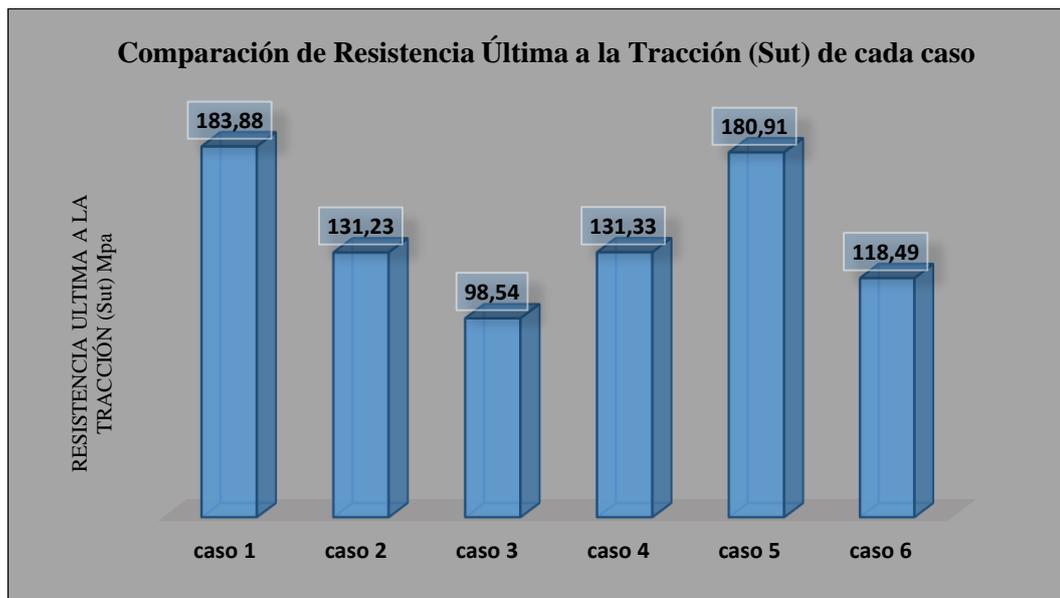
**Tabla 4-10 Resultados del ensayo de tracción y su promedio total por caso**

<b>Caso 6 (Zn 73% - Al 27%)</b>												
	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3		Probeta 4		Probeta 5		Promedio Total	
	MPa	KPsi	MPa	KPsi								
<b>Sut</b>	116,67	16,92	115,23	16,71	111,54	16,17	128,93	18,70	120,07	17,41	118,49	17,18
<b>% e</b>	0,28%	-	0,67%	-	0,59%	-	0,24%	-	0,20%	-	0,39%	-

(Fuente: Autor)

#### 4.2.1.1 Resistencia última a la tracción (Sut)

	Sut
caso 1	183,88
caso 2	131,23
caso 3	98,54
caso 4	131,33
caso 5	180,91
caso 6	118,49

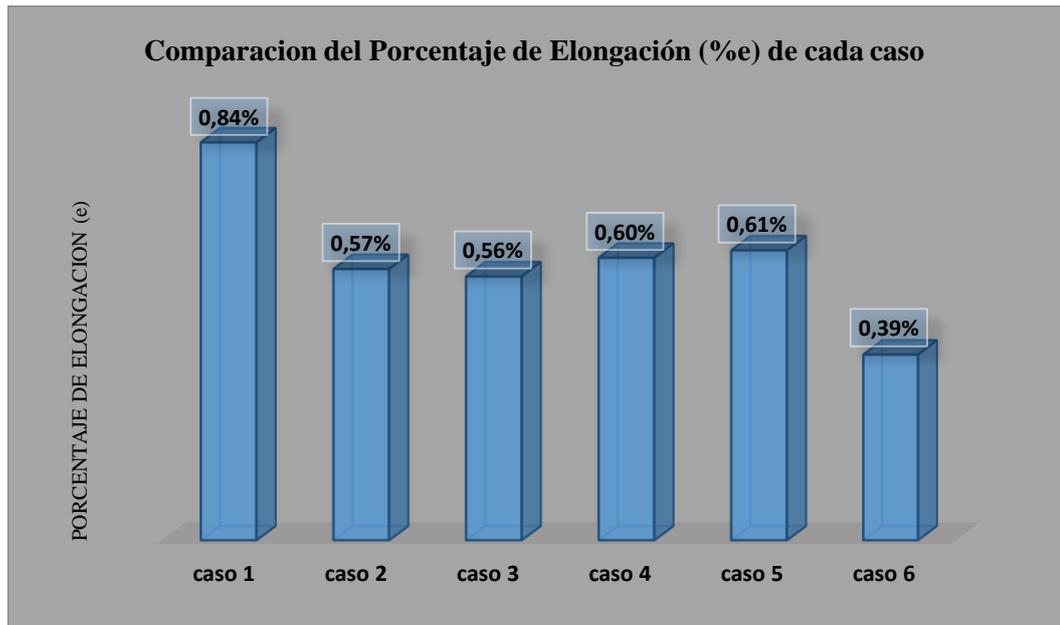


**Gráfico 4-3** Comparación de la resistencia última a la tracción de la aleación Zn-Al por cada caso.  
(Fuente: Autor)

En la gráfica 4-1 se puede apreciar los diferentes valores obtenidos de la resistencia última a la tracción (Sut) que son comparados por cada uno de los casos que tienen diferentes porcentajes de zinc y aluminio. Para el caso 1 y 5 obtenemos los valores de 183,88 y 180,91 MPa respectivamente, los cuales presentan los valores más elevados del Sut, en el caso 3 se obtiene un valor de 98,54 MPa, en los casos 2 y 4 tenemos valores casi equivalentes de 131,23 y 131,33 MPa respectivamente y el valor mínimo de Sut que es de 118,49 MPa obtenido en el caso 6.

#### 4.2.1.2 Porcentaje de elongación (e)

	% e
caso 1	0,84%
caso 2	0,57%
caso 3	0,56%
caso 4	0,60%
caso 5	0,61%
caso 6	0,39%



**Gráfico 4-4** Comparación del porcentaje de elongación de la aleación Zn – Al por cada caso.

(Fuente: Autor)

En la gráfica 4-2 se puede apreciar los diferentes valores obtenidos del porcentaje de elongación (e) que son comparados por cada uno de los casos que tienen diferentes porcentajes de zinc y aluminio. Para el caso 1 obtenemos los porcentajes de 0,84% de elongación el cual presentan el valor más elevado de (e), en el caso 2 y 3 se obtienen valores casi equivalentes de 0,57% y 0,56%, similar que en los casos 4 y 5 cuyos valores son de 0,60% y 0,61% respectivamente y para el caso 6 se obtuvo el valor mínimo de (e) el cual es de 0,39%.

#### 4.2.2 Dureza

Tabla 4-11 Resultados del ensayo de dureza y su promedio total por caso

Caso 1 (Zn 88% - Al 12%)					
N° de Medición	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5
	HRA	HRA	HRA	HRA	HRA
1	54	52	59,3	56	49
2	51	52,3	61	58	53,2
3	52,3	53,4	59,3	59,3	54
4	50,2	51	61	58	56
5	53,2	53,2	60,2	58	57
6	51	51	61	59,3	58
7	54	52	57	60,2	57
8	53,2	55	56,8	61	59,3
9	55	53,2	56,5	59,3	56
10	52,3	54	59,3	59,3	58
<b>Promedio</b>	<b>52,62</b>	<b>52,71</b>	<b>59,14</b>	<b>58,84</b>	<b>55,75</b>

Caso 1		
	N° de probeta	HRA
	1	52,62
	2	52,71
<b>Promedio</b>	3	59,14
	4	58,84
	5	55,75
	<b>Promedio Total</b>	<b>55,81</b>

(Fuente: Autor)

Tabla 4-12 Resultados del ensayo de dureza y su promedio total por caso

Caso 2 (Zn 85% - Al 15%)					
N° de Medición	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5
	HRA	HRA	HRA	HRA	HRA
1	62	61	57,2	62	57,5
2	56	62	62	63,9	56,5
3	59,9	62,4	60,2	64,3	56,8
4	55	65	63,9	64,5	55
5	61	65	54	65	57,5
6	58	64,8	62	65	57
7	58	61,6	58,4	65,4	59,9
8	57,5	59,9	62	63,1	60,2
9	57,4	62	59,9	65	58
10	60,2	61	62,8	65,4	60,2
<b>Promedio</b>	<b>58,5</b>	<b>62,47</b>	<b>60,24</b>	<b>64,36</b>	<b>57,86</b>

Caso 2		
	N° de probeta	HRA
	1	58,5
	2	62,47
<b>Promedio</b>	3	60,24
	4	64,36
	5	57,86
	<b>Promedio Total</b>	<b>60,69</b>

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-13 Resultados del ensayo de dureza y su promedio total por caso**

<b>Caso 3 (Zn 82% - Al 18%)</b>					
<b>N° de Medición</b>	<b>Probeta 1</b>	<b>Probeta 2</b>	<b>Probeta 3</b>	<b>Probeta 4</b>	<b>Probeta 5</b>
	<b>HRA</b>	<b>HRA</b>	<b>HRA</b>	<b>HRA</b>	<b>HRA</b>
1	59,3	59,9	54	52,7	52,3
2	59,3	57,5	57,4	56	51
3	63,1	54	60,2	57,5	53,8
4	63,1	56	53,3	57,5	56
5	51	50,2	62	58	51
6	65	57,5	59,9	57,5	57,5
7	63,1	49,8	63,4	58	61
8	56,5	56,5	61	61	62
9	50,3	53,2	65	59,9	64,8
10	55	56	63,1	60,2	64,3
<b>Promedio</b>	<b>58,57</b>	<b>55,06</b>	<b>59,93</b>	<b>57,83</b>	<b>57,37</b>

<b>Caso 3</b>		
	<b>N° de probeta</b>	<b>HRA</b>
	1	58,57
	2	55,06
<b>Promedio</b>	3	59,93
	4	57,83
	5	57,37
	<b>Promedio Total</b>	<b>57,75</b>

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-14 Resultados del ensayo de dureza y su promedio total por caso**

<b>Caso 4 (Zn 79% - Al 21%)</b>					
<b>N° de Medición</b>	<b>Probeta 1</b>	<b>Probeta 2</b>	<b>Probeta 3</b>	<b>Probeta 4</b>	<b>Probeta 5</b>
	<b>HRA</b>	<b>HRA</b>	<b>HRA</b>	<b>HRA</b>	<b>HRA</b>
1	62	62	57,5	63,1	56
2	65	58	59,9	64,3	56
3	65	58	61	66,1	59,9
4	50,2	59,3	58	59,9	57,5
5	59,9	60,2	62,4	66,1	59,9
6	59,3	59,3	57,5	65	54
7	61	62	64,3	66,1	60,2
8	60,2	61	58	65	51
9	61	62,4	62,4	67	55
10	60,2	62,4	60,2	57,5	57
<b>Promedio</b>	<b>60,38</b>	<b>60,46</b>	<b>60,12</b>	<b>64,01</b>	<b>56,65</b>

<b>CASO 4</b>		
	<b>N° de probeta</b>	<b>HRA</b>
	1	60,38
	2	60,46
<b>Promedio</b>	3	60,12
	4	64,01
	5	56,65
	<b>Promedio Total</b>	<b>60,32</b>

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-15 Resultados del ensayo de dureza y su promedio total por caso**

<b>Caso 5 (Zn76% - Al 24%)</b>					
<b>N° de Medición</b>	<b>Probeta 1</b>	<b>Probeta 2</b>	<b>Probeta 3</b>	<b>Probeta 4</b>	<b>Probeta 5</b>
	<b>HRA</b>	<b>HRA</b>	<b>HRA</b>	<b>HRA</b>	<b>HRA</b>
1	61	57,2	57,2	65	51
2	65	59,9	60,2	62	54
3	66,1	65	64,3	65,8	62
4	67	54	57	62	58,4
5	65	63,1	66,1	69,9	66,1
6	61	61	59,3	59,3	57
7	64,3	63,1	67,3	69,9	65
8	62	52	54	65	60,2
9	64,3	63,1	62	69,9	66,1
10	63,1	63,1	57,2	65	62,4
<b>Promedio</b>	<b>63,88</b>	<b>60,15</b>	<b>60,46</b>	<b>65,38</b>	<b>60,22</b>

<b>Caso 5</b>		
	<b>N° de probeta</b>	<b>HRA</b>
	1	63,88
	2	60,15
<b>Promedio</b>	3	60,46
	4	65,38
	5	60,22
	<b>Promedio Total</b>	<b>62,02</b>

(Fuente: Autor)

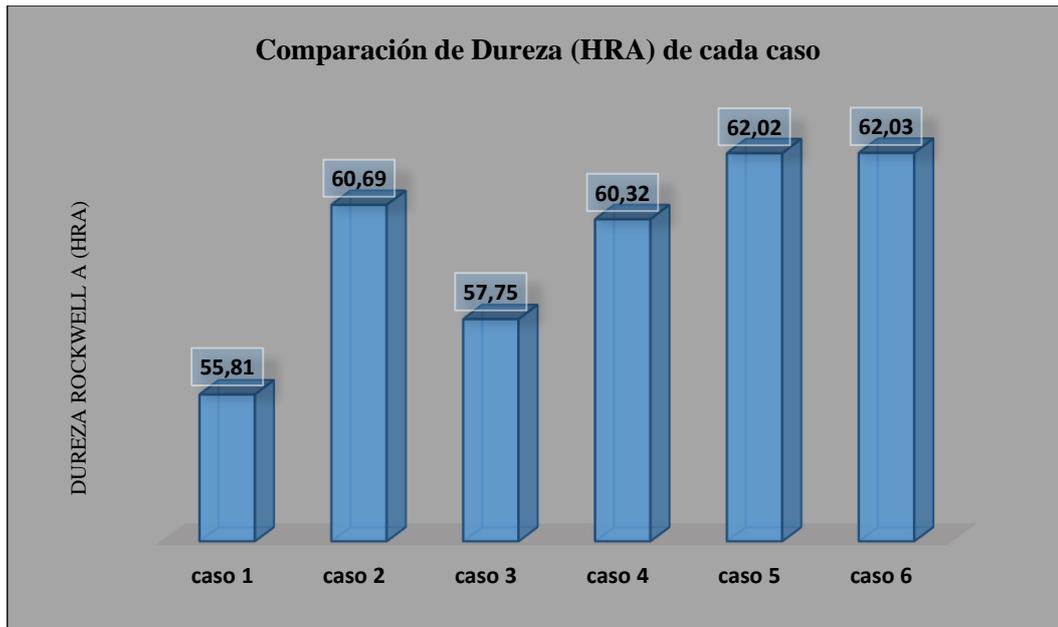
**Tabla 4-16 Resultados del ensayo de dureza y su promedio total por caso**

<b>Caso 6 (Zn 73% - Al 27%)</b>					
<b>N° de Medición</b>	<b>Probeta 1</b>	<b>Probeta 2</b>	<b>Probeta 3</b>	<b>Probeta 4</b>	<b>Probeta 5</b>
	<b>HRA</b>	<b>HRA</b>	<b>HRA</b>	<b>HRA</b>	<b>HRA</b>
1	48	48	48	48	59,9
2	64,3	66,1	53,2	67	69,9
3	48	66,1	62,8	65	74,1
4	59,3	59,3	52	62	72,2
5	57	65	63,1	69,1	73
6	67	63,1	54	60,2	72,2
7	58	65	65	67	72,2
8	65	60,2	57	59,9	67
9	55	67	69,1	67	70,2
10	51	62	66,1	54	66,8
<b>Promedio</b>	<b>57,26</b>	<b>62,18</b>	<b>59,03</b>	<b>61,92</b>	<b>69,75</b>

<b>CASO 6</b>		
	<b>N° de probeta</b>	<b>HRA</b>
	1	57,26
	2	62,18
<b>Promedio</b>	3	59,03
	4	61,92
	5	69,75
	<b>Promedio Total</b>	<b>62,03</b>

(Fuente: Autor)

	HRA
caso 1	55,81
caso 2	60,69
caso 3	57,75
caso 4	60,32
caso 5	62,02
caso 6	62,03



**Gráfico 4-5** Comparación de la dureza en la aleación Zn – Al por cada caso.  
(Fuente: Autor)

En la gráfica 4-3 se puede apreciar los diferentes valores de dureza obtenidos en la aleación Zn – Al (HRA) que son comparados para cada uno de los casos con diferentes porcentajes de cada material de la aleación. En el caso 1 y 3 obtenemos los valores mínimos de 55,81 y 57,75 HRA respectivamente, para el caso 2 y 4 se obtienen valores casi equivalentes de 60,69 y 60,32 HRA, para el caso 5 y 6 con valores casi similares de 62.02 y 62,03 se obtienen los valores máximos del ensayo de dureza.

### 4.2.3 Impacto

**Tabla 4-17 Resultados del ensayo de impacto y su promedio total por caso**

Caso 1		Caso 2		Caso 3	
N° Probeta	Joules	N° Probeta	Joules	N° Probeta	Joules
1	2	1	6	1	7
2	4	2	5,5	2	6
3	4	3	6	3	7
4	4,5	4	6	4	6
5	5	5	7	5	7
<b>Promedio</b>	<b>3,9</b>	<b>Promedio</b>	<b>6,1</b>	<b>Promedio</b>	<b>6,6</b>

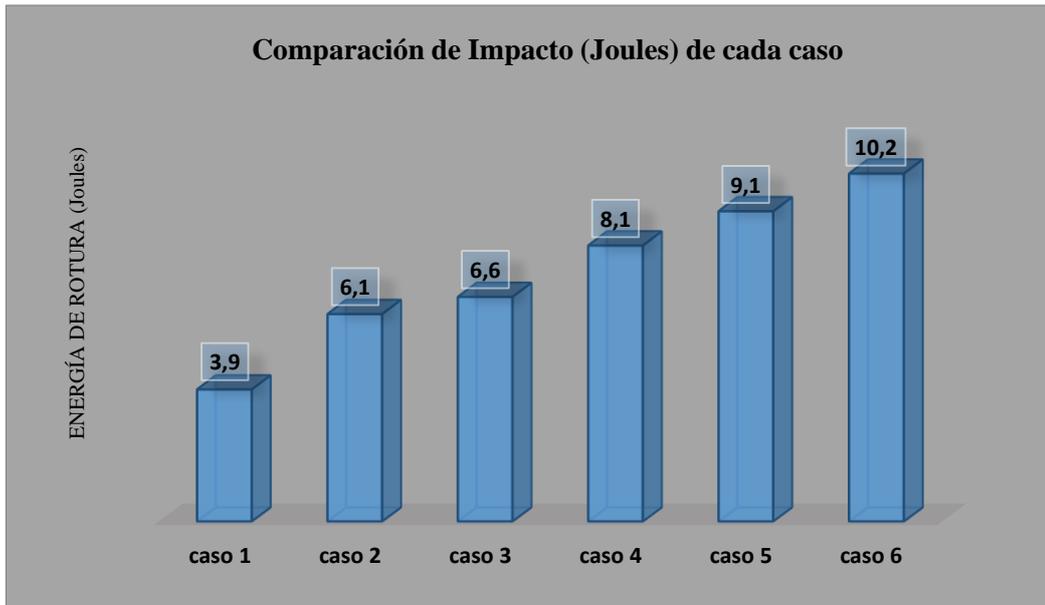
(Fuente: Autor)

**Tabla 4-18 Resultados del ensayo de impacto y su promedio total por caso**

Caso 4		Caso 5		Caso 6	
N° Probeta	Joules	N° Probeta	Joules	N° Probeta	Joules
1	8	1	9	1	10
2	8	2	9,5	2	10
3	8,5	3	9,5	3	10,5
4	9	4	9,5	4	10,5
5	7	5	8	5	10
<b>Promedio</b>	<b>8,1</b>	<b>Promedio</b>	<b>9,1</b>	<b>Promedio</b>	<b>10,2</b>

(Fuente: Autor)

	Joules
caso 1	3,9
caso 2	6,1
caso 3	6,6
caso 4	8,1
caso 5	9,1
caso 6	10,2



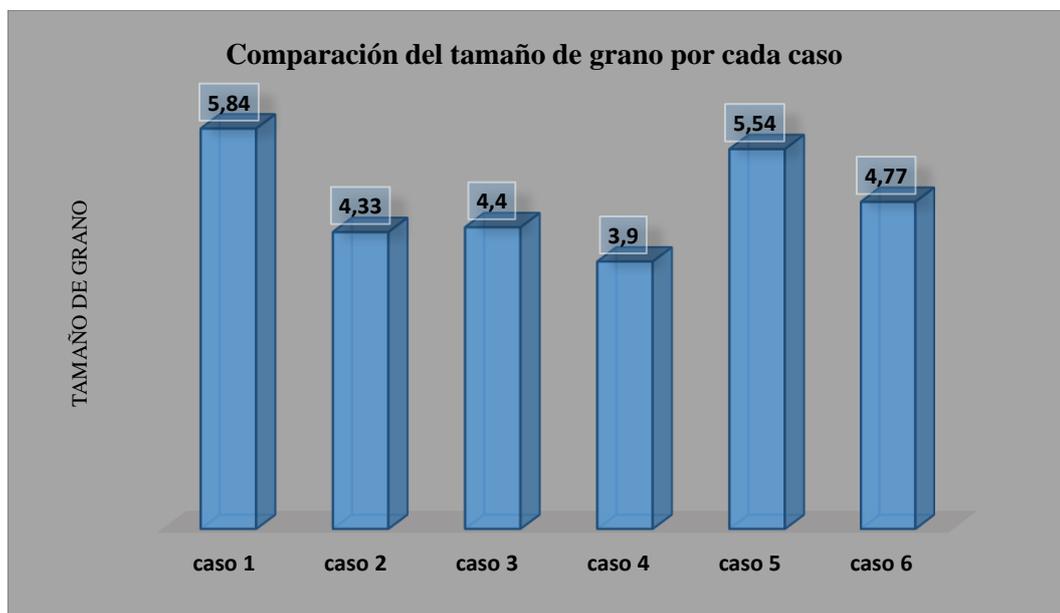
**Gráfico 4-6** Comparación de los resultados del ensayo de impacto en la aleación Zn – Al por cada caso.  
(Fuente: Autor)

En la gráfica 4-4 se puede apreciar los diferentes valores de impacto en Joules obtenidos en la aleación Zn – Al que son comparados para cada uno de los casos con diferentes porcentajes de cada material de la aleación. Como se puede observar los valores van aumentando paulatinamente para cada caso, en el número 1 con un valor de 3,9 joules, en el caso 2 con 6,1 joules, en el 3 un valor de 6,6 joules, en el número 4 8,1 joules, para el caso 5 un valor de 9,1 joules y finalmente para el caso número 6 el valor máximo de 10,2 joules.

#### 4.2.4 Metalográfico

**Tabla 4-19 Resultados del ensayo metalográfico (tamaño de grano)**

	Tamaño de grano
caso 1	5,84
caso 2	4,33
caso 3	4,40
caso 4	3,90
caso 5	5,54
caso 6	4,77



**Gráfico 4-7** Comparación de los resultados del ensayo metalográfico en la aleación Zn – Al por cada caso.  
(Fuente: Autor)

En la gráfica 4-5. Se puede apreciar que el valor máximo de tamaño de grano ASTM es de 5,84 y el mínimo de tamaño de grano ASTM de 3,9 cuyo tamaño promedio de grano ASTM es de 4,79.

La variación del tamaño de grano depende del proceso de obtención del material.

### 4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Una vez concluido los estudios y obtenido los resultados de los análisis de las propiedades mecánicas de la aleación ZnAl tales como tracción, dureza, impacto y análisis metalográfico, gracias a estos estudios se ha determinado que la aleación del caso número 5 con porcentajes de zinc igual al 76% y aluminio 24% posee las propiedades mecánicas más elevadas, tracción 180,91 MPa, porcentaje de elongación igual al 61%, una dureza de 62,02 HRA, y para las pruebas de impacto la energía de rotura igual a 9,1 joules. A diferencia de la aleación del caso número 3 con porcentajes de zinc igual al 82 % y aluminio 18 % que presento las propiedades más bajas con resistencia a la tracción de 98,54 MPa, porcentaje de elongación del 56%, dureza igual a 57,75 HRA y una energía de rotura de 6,6 joules. Estos resultados permiten determinar diferentes aplicaciones en las cuales la aleación obtenida podría ser utilizada dependiendo de los requerimientos o exigencias que el consumidor necesite.

El hecho de adicionar aluminio al zinc le provee a la aleación un aumento en la dureza y resistencia de la misma, permitiendo de esta forma la obtención de piezas fundidas de formas complejas, así como una fácil maquinabilidad, además las aleaciones de base zinc tienen una gran aptitud para el moldeo al poseer una alta colabilidad y un punto de fusión bajo, haciéndolas muy útiles para la elaboración de elementos metálicos de diferentes usos.

Las propiedades obtenidas de esta aleación nos permiten determinar que uno de los campos en los cuales podría ser usada es en la industria de maquinaria cnc, en sus elementos de maquina tales como guías de soporte, ranuras de sujeción (en el caso de routers), en las bases para guías de desplazamiento, también para ejes de soporte para rollos de material en laminadoras, en los cuales el aluminio es su principal componente, pero debido a las condiciones de uso su vida útil se ve comprometida, es aquí donde la aleación obtenida presenta propiedades mecánicas superiores lo cual la hace factible de su utilización en este campo de la industria. Por lo tanto se demuestra la hipótesis, ya que si se pueden desarrollar nuevos productos con la aleación ZnAl.

A continuación gracias a la herramienta estadística t de student se comparan la aleación del caso número 5 con los casos restantes, para demostrar que es la aleación con mejores propiedades respecto a las demás.

**Tabla 4-20 Comparación 1 de valores de resistencia a la tracción (Sut)**

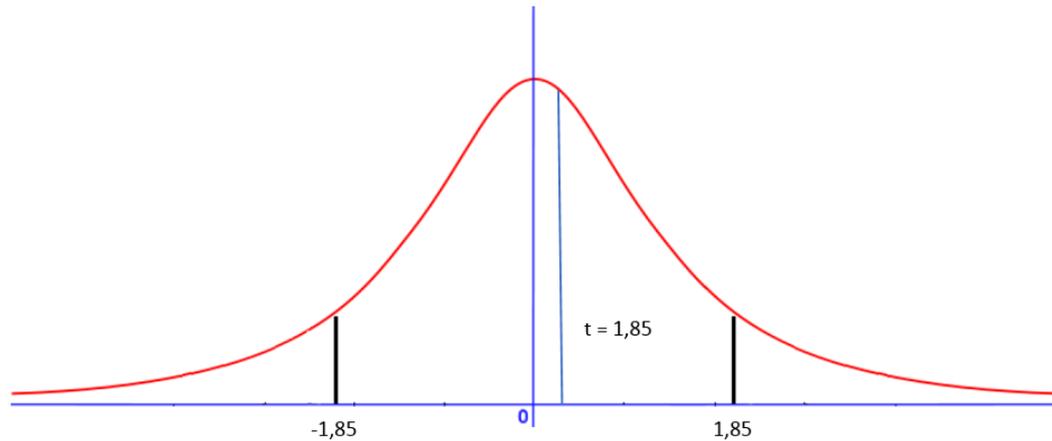
<b>Resistencia a la tracción (MPa)</b>		
<b>Probeta</b>	<b>Caso 1 (88% Zn - 12% Al)</b>	<b>Caso 5 (76% Zn - 24% Al)</b>
T1.1	196,22	181,72
T1.2	159,38	188,43
T1.3	168,71	174,63
T1.4	213,89	176,23
T1.5	181,20	183,52

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-21 Prueba 1 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales**

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	183,87846	180,90573
Varianza	472,55454	31,331267
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	251,94291	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	0,2961239	
P(T<=t) una cola	0,3873384	
Valor crítico de t (una cola)	1,859548	
P(T<=t) dos colas	0,7746769	
Valor crítico de t (dos colas)	2,3060041	

(Fuente: Autor)



El valor estadístico (t) es menor que el valor crítico, lo que quiere decir que no existen diferencias significativas.

**Tabla 4-22 Comparación 2 de valores de resistencia a la tracción (Sut)**

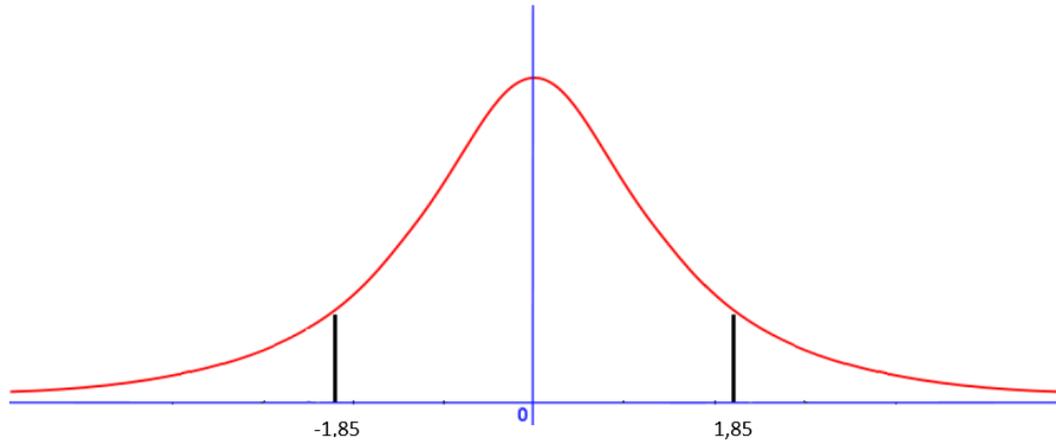
Resistencia a la tracción (MPa)		
Probeta	Caso 2 (85% Zn - 15% Al)	Caso 5 (76% Zn - 24% Al)
T2.1	135,48	181,72
T2.2	136,29	188,43
T2.3	147,39	174,63
T2.4	130,86	176,23
T2.5	106,14	183,52

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-23 Prueba 2 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales**

	Variable 1	Variable 2
Media	180,90573	131,23074
Varianza	31,331267	233,6552
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	132,49323	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	6,8235589	
P(T<=t) una cola	6,728E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1,859548	
P(T<=t) dos colas	0,0001346	
Valor crítico de t (dos colas)	2,3060041	

(Fuente: Autor)



El valor estadístico (t) es mayor que el valor crítico, lo que quiere decir que si existen diferencias significativas.

**Tabla 4-24 Comparación 3 de valores de resistencia a la tracción (Sut)**

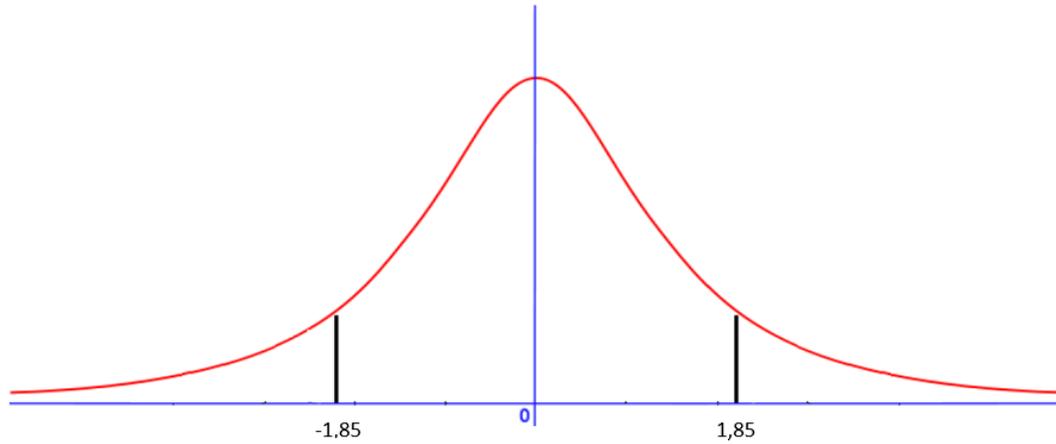
Resistencia a la tracción (MPa)		
Probeta	Caso 3 (82% Zn - 18% Al)	Caso 5 (76% Zn - 24% Al)
T3.1	110,78	181,72
T3.2	85,00	188,43
T3.3	96,80	174,63
T3.4	101,07	176,23
T3.5	99,06	183,52

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-25 Prueba 3 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales**

	Variable 1	Variable 2
Media	180,90573	98,541308
Varianza	31,331267	85,702969
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	58,517118	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	17,024259	
P(T<=t) una cola	7,20E-08	
Valor crítico de t (una cola)	1,859548	
P(T<=t) dos colas	1,439E-07	
Valor crítico de t (dos colas)	2,3060041	

(Fuente: Autor)



El valor estadístico (t) es mayor que el valor crítico, lo que quiere decir que si existen diferencias significativas.

**Tabla 4-26 Comparación 4 de valores de resistencia a la tracción (Sut)**

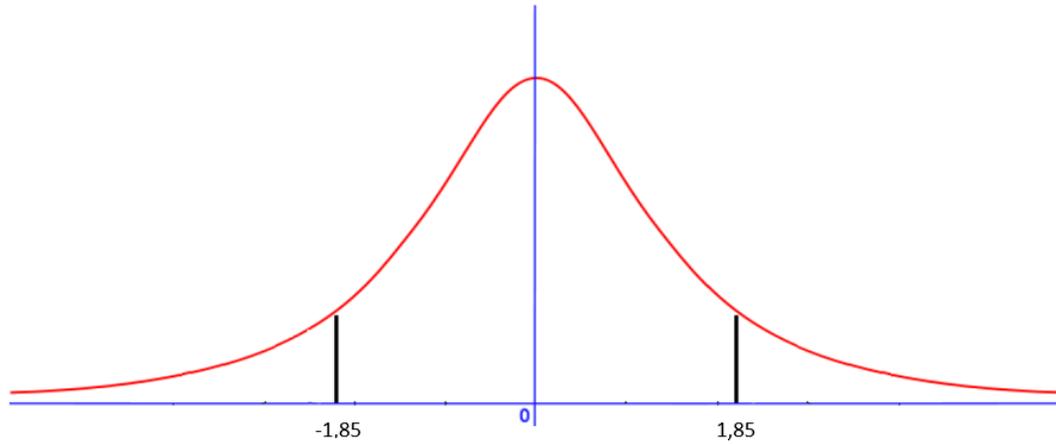
Resistencia a la tracción (MPa)		
Probeta	Caso 4 (79% Zn - 21% Al)	Caso 5 (76% Zn - 24% Al)
T4.1	127,73	181,72
T4.2	134,14	188,43
T4.3	129,28	174,63
T4.4	137,94	176,23
T4.5	127,55	183,52

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-27 Prueba 4 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales**

	Variable 1	Variable 2
Media	180,90573	131,32937
Varianza	31,331267	20,750087
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	26,040677	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	15,360966	
P(T<=t) una cola	1,602E-07	
Valor crítico de t (una cola)	1,859548	
P(T<=t) dos colas	3,204E-07	
Valor crítico de t (dos colas)	2,3060041	

(Fuente: Autor)



El valor estadístico (t) es mayor que el valor crítico, lo que quiere decir que si existen diferencias significativas.

**Tabla 4-28 Comparación 5 de valores de resistencia a la tracción (Sut)**

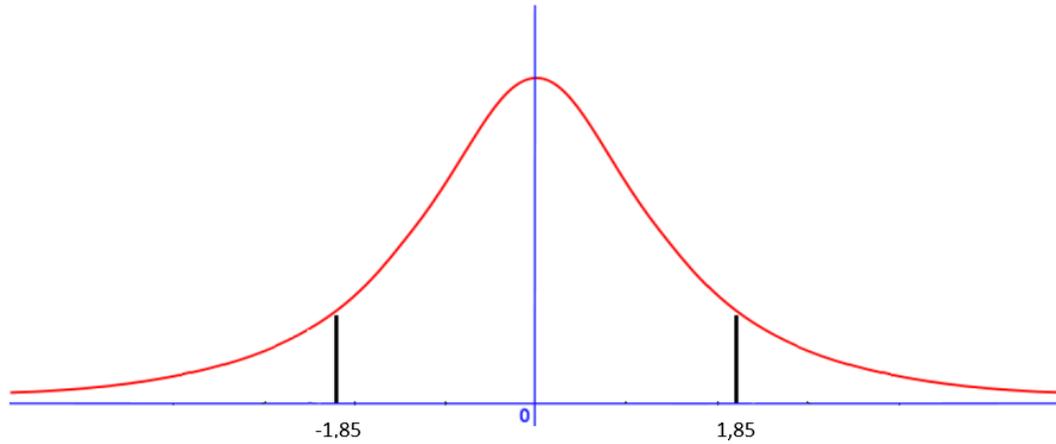
Resistencia a la tracción (MPa)		
Probeta	Caso 6 (73% Zn - 27% Al)	Caso 5 (76% Zn - 24% Al)
T6.1	116,67	181,72
T6.2	115,23	188,43
T6.3	111,54	174,63
T6.4	128,93	176,23
T6.5	120,07	183,52

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-29 Prueba 5 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales**

	Variable 1	Variable 2
Media	180,90573	118,48937
Varianza	31,331267	43,45379
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	37,392529	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	16,138979	
P(T<=t) una cola	1,091E-07	
Valor crítico de t (una cola)	1,859548	
P(T<=t) dos colas	2,182E-07	
Valor crítico de t (dos colas)	2,3060041	

(Fuente: Autor)



El valor estadístico (t) es mayor que el valor crítico, lo que quiere decir que si existen diferencias significativas.

**Tabla 4-30 Comparación 1 de valores de dureza (HRA)**

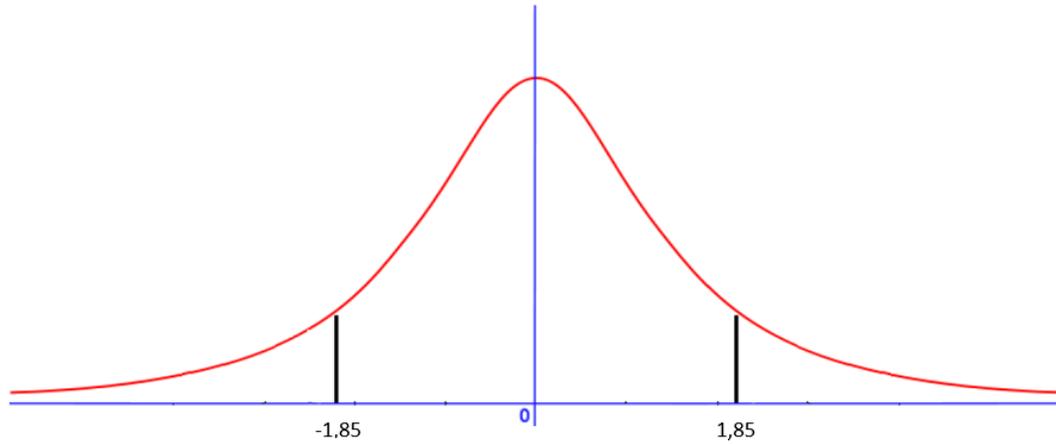
<b>Dureza (HRA)</b>		
<b>Probeta</b>	<b>Caso 1 (88% Zn - 12% Al)</b>	<b>Caso 5 (76% Zn - 24% Al)</b>
D1.1	52,62	63,88
D1.2	52,71	60,15
D1.3	59,14	60,46
D1.4	58,84	65,38
D1.5	55,75	60,22

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-31 Prueba 1 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales**

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	62,018	55,812
Varianza	5,97992	10,01487
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	7,997395	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	3,4698244	
P(T<=t) una cola	0,0042225	
Valor crítico de t (una cola)	1,859548	
P(T<=t) dos colas	0,0084449	
Valor crítico de t (dos colas)	2,3060041	

(Fuente: Autor)



El valor estadístico (t) es mayor que el valor crítico, lo que quiere decir que si existen diferencias significativas.

**Tabla 4-32 Comparación 2 de valores de dureza (HRA)**

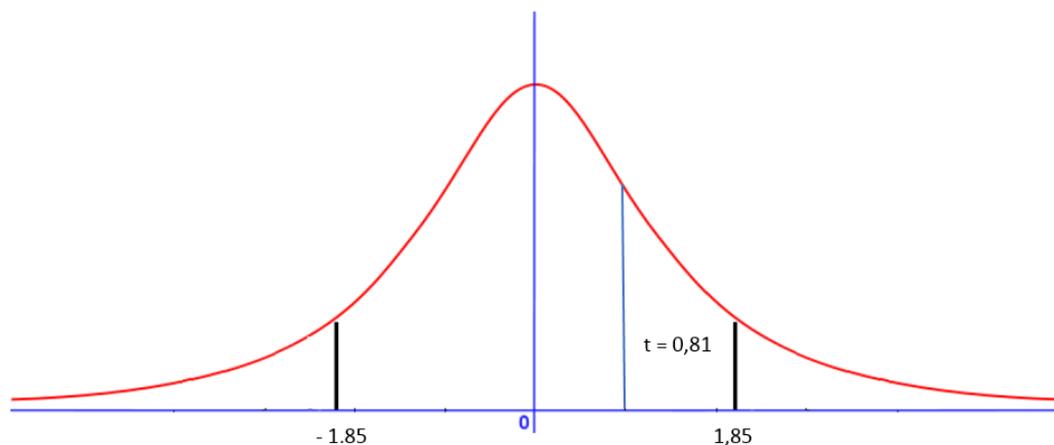
Dureza (HRA)		
Probeta	Caso 2 (85% Zn - 15% Al)	Caso 5 (76% Zn - 24% Al)
D2.1	58,5	63,88
D2.2	62,47	60,15
D2.3	60,24	60,46
D2.4	64,36	65,38
D2.5	57,86	60,22

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-33 Prueba 2 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales**

	Variable 1	Variable 2
Media	62,018	60,686
Varianza	5,97992	7,41118
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	6,69555	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	0,8139188	
P(T<=t) una cola	0,2196219	
Valor crítico de t (una cola)	1,859548	
P(T<=t) dos colas	0,4392438	
Valor crítico de t (dos colas)	2,3060041	

(Fuente: Autor)



El valor estadístico (t) es menor que el valor crítico, lo que quiere decir que no existen diferencias significativas.

**Tabla 4-34 Comparación 3 de valores de dureza (HRA)**

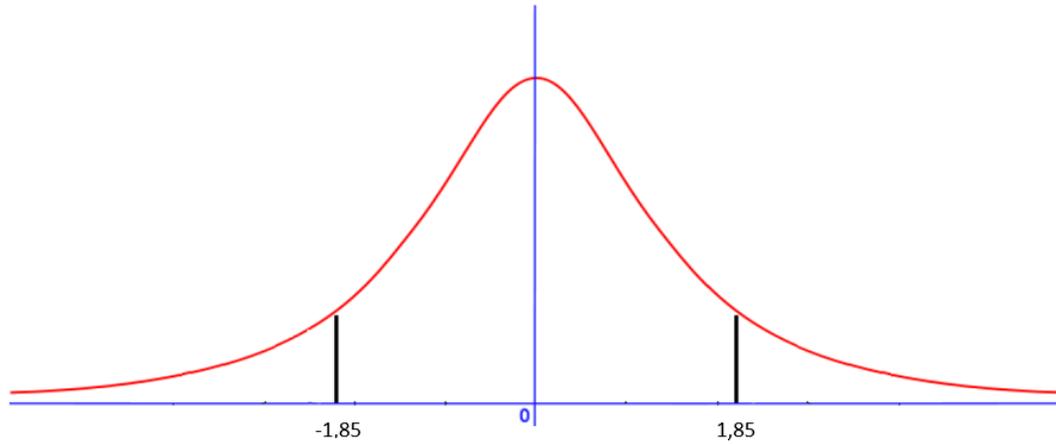
<b>Dureza (HRA)</b>		
<b>Probeta</b>	<b>Caso 3 (82% Zn - 18% Al)</b>	<b>Caso 5 (76% Zn - 24% Al)</b>
D3.1	58,57	63,88
D3.2	55,06	60,15
D3.3	59,93	60,46
D3.4	57,83	65,38
D3.5	57,37	60,22

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-35 Prueba 3 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales**

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	62,018	57,752
Varianza	5,97992	3,20292
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	4,59142	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	3,147874	
P(T<=t) una cola	0,0068211	
Valor crítico de t (una cola)	1,859548	
P(T<=t) dos colas	0,0136422	
Valor crítico de t (dos colas)	2,3060041	

(Fuente: Autor)



El valor estadístico (t) es mayor que el valor crítico, lo que quiere decir que si existen diferencias significativas.

**Tabla 4-36 Comparación 4 de valores de dureza (HRA)**

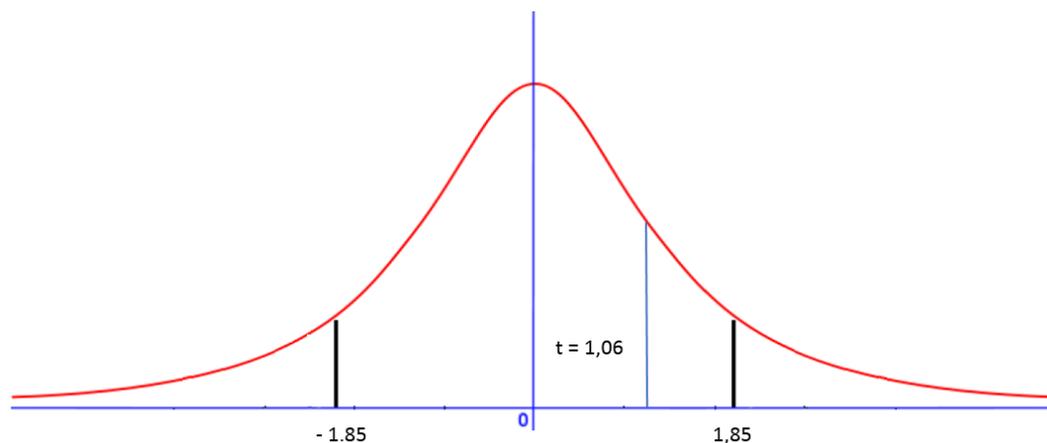
Dureza (HRA)		
Probeta	Caso 4 (79% Zn - 21% Al)	Caso 5 (76% Zn - 24% Al)
D4.1	58,57	63,88
D4.2	55,06	60,15
D4.3	59,93	60,46
D4.4	57,83	65,38
D4.5	57,37	60,22

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-37 Prueba 4 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales**

	Variable 1	Variable 2
Media	62,018	60,324
Varianza	5,97992	6,78703
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	6,383475	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	1,0601195	
P(T<=t) una cola	0,1600224	
Valor crítico de t (una cola)	1,859548	
P(T<=t) dos colas	0,3200447	
Valor crítico de t (dos colas)	2,3060041	

(Fuente: Autor)



El valor estadístico (t) es menor que el valor crítico, lo que quiere decir que no existen diferencias significativas.

**Tabla 4-38 Comparación 5 de valores de dureza (HRA)**

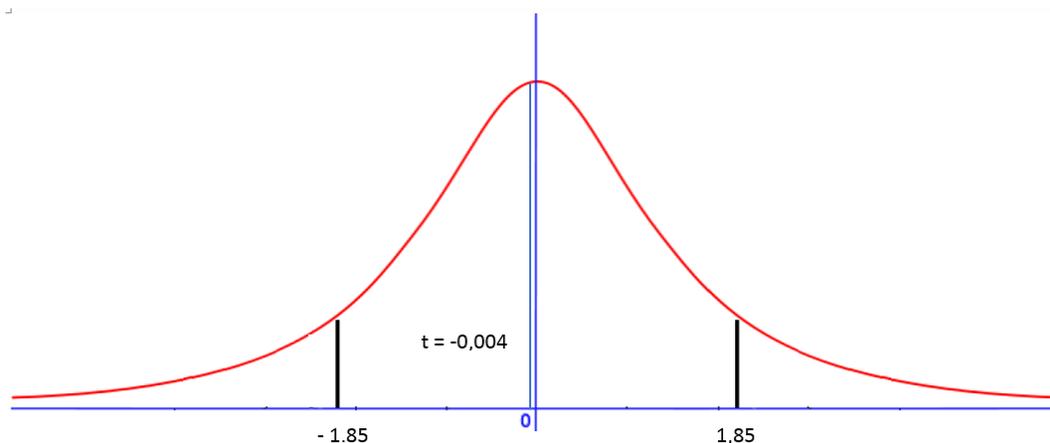
Dureza (HRA)		
Probeta	Caso 6 (73% Zn - 27% Al)	Caso 5 (76% Zn - 24% Al)
D6.1	57,26	63,88
D6.2	62,18	60,15
D6.3	59,03	60,46
D6.4	61,92	65,38
D6.5	69,75	60,22

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-39 Prueba 5 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales**

	Variable 1	Variable 2
Media	62,018	62,028
Varianza	5,97992	22,84647
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	14,413195	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	-0,004165	
P(T<=t) una cola	0,4983895	
Valor crítico de t (una cola)	1,859548	
P(T<=t) dos colas	0,996779	
Valor crítico de t (dos colas)	2,3060041	

(Fuente: Autor)



El valor estadístico (t) es menor que el valor crítico, lo que quiere decir que no existen diferencias significativas

**Tabla 4-40 Comparación 1 de valores de impacto (Joules)**

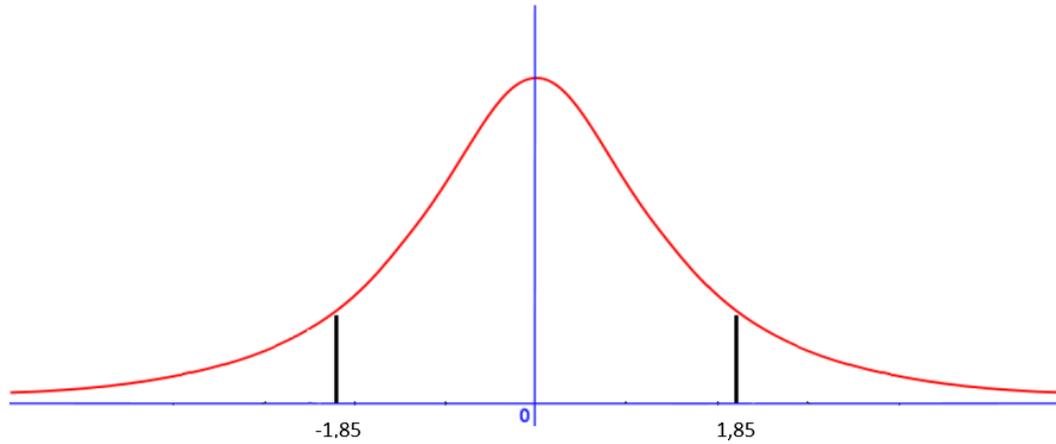
Impacto (Joules)		
Probeta	Caso 1 (88% Zn – 12% Al)	Caso 5 (76% Zn – 24% Al)
I1.1	2	9
I1.2	4	9,5
I1.3	4	9,5
I1.4	4,5	9,5
I1.5	5	8

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-41 Prueba 1 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales**

	Variable 1	Variable 2
Media	9,1	3,9
Varianza	0,425	1,3
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	0,8625	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	8,8530679	
P(T<=t) una cola	1,046E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1,859548	
P(T<=t) dos colas	2,091E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2,3060041	

(Fuente: Autor)



El valor estadístico (t) es mayor que el valor crítico, lo que quiere decir que si existen diferencias significativas.

**Tabla 4-42 Comparación 2 de valores de impacto (Joules)**

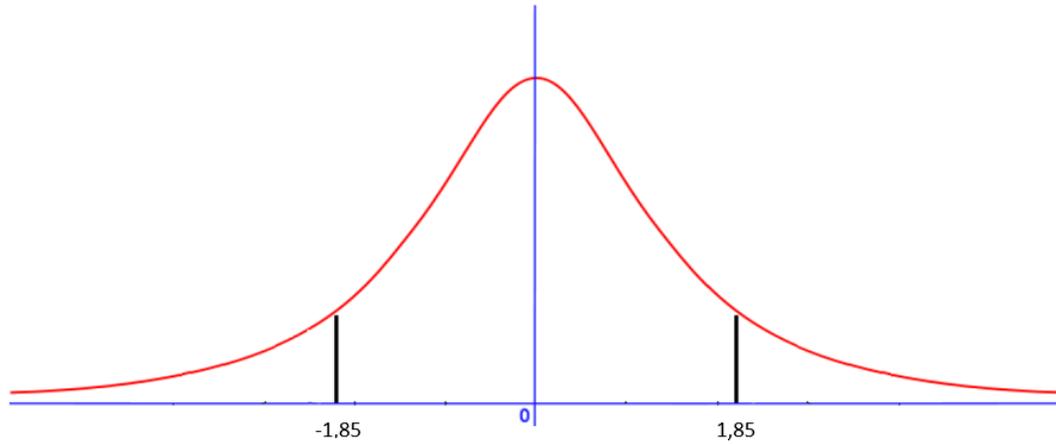
Impacto (Joules)		
Probeta	Caso 2 (85% Zn – 15% Al)	Caso 5 (76% Zn – 24% Al)
I2.1	6	9
I2.2	5,5	9,5
I2.3	6	9,5
I2.4	6	9,5
I2.5	7	8

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-43 Prueba 2 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales**

	Variable 1	Variable 2
Media	9,1	6,1
Varianza	0,425	0,3
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	0,3625	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	7,878386	
P(T<=t) una cola	2,438E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1,859548	
P(T<=t) dos colas	4,875E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2,3060041	

(Fuente: Autor)



El valor estadístico (t) es mayor que el valor crítico, lo que quiere decir que si existen diferencias significativas.

**Tabla 4-44 Comparación 3 de valores de impacto (Joules)**

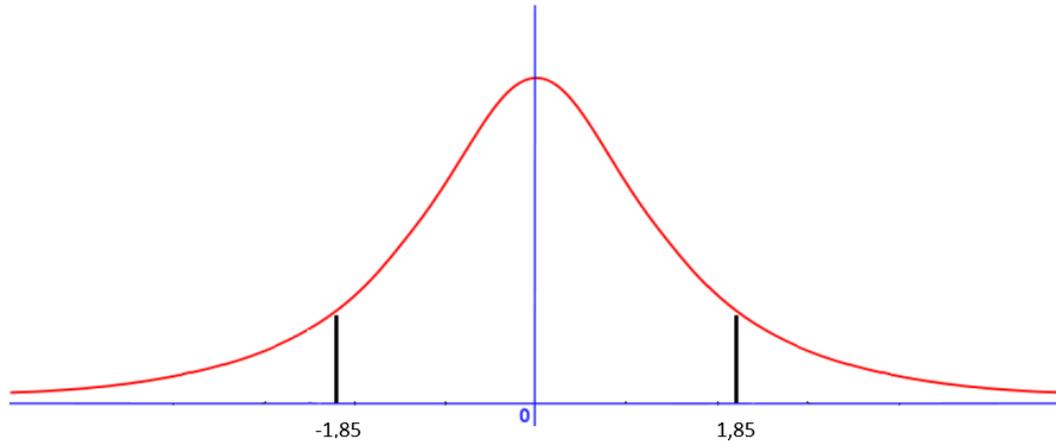
Impacto (Joules)		
Probeta	Caso 3 (82% Zn – 18% Al)	Caso 5 (76% Zn – 24% Al)
I3.1	7	9
I3.2	6	9,5
I3.3	7	9,5
I3.4	6	9,5
I3.5	7	8

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-45 Prueba 3 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales**

	Variable 1	Variable 2
Media	9,1	6,6
Varianza	0,425	0,3
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	0,3625	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	6,5653216	
P(T<=t) una cola	8,782E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1,859548	
P(T<=t) dos colas	0,0001756	
Valor crítico de t (dos colas)	2,3060041	

(Fuente: Autor)



El valor estadístico (t) es mayor que el valor crítico, lo que quiere decir que si existen diferencias significativas.

**Tabla 4-46 Comparación 4 de valores de impacto (Joules)**

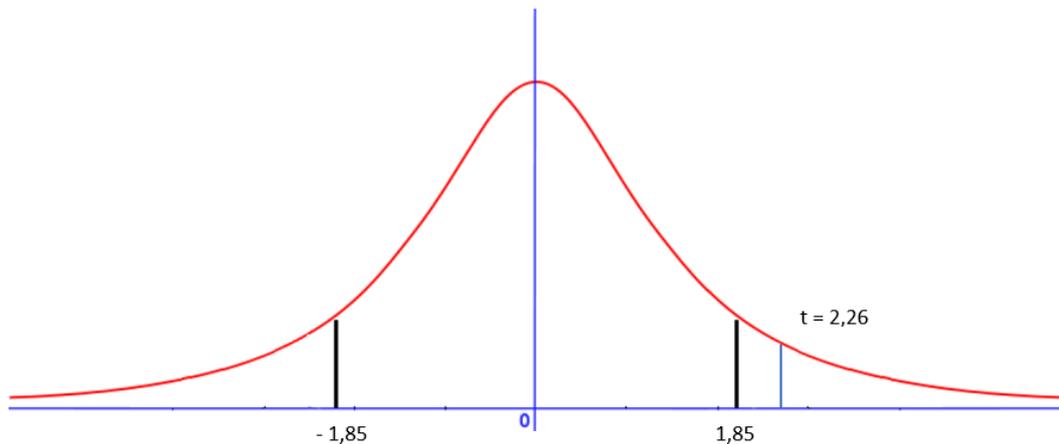
Impacto (Joules)		
Probeta	Caso 4 (79% Zn – 21% Al)	Caso 5 (76% Zn – 24% Al)
I4.1	8	9
I4.2	8	9,5
I4.3	8,5	9,5
I4.4	9	9,5
I4.5	7	8

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-47 Prueba 4 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales**

	Variable 1	Variable 2
Media	9,1	8,1
Varianza	0,425	0,55
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	0,4875	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	2,2645541	
P(T<=t) una cola	0,0266709	
Valor crítico de t (una cola)	1,859548	
P(T<=t) dos colas	0,0533419	
Valor crítico de t (dos colas)	2,3060041	

(Fuente: Autor)



El valor estadístico (t) es mayor que el valor crítico, lo que quiere decir que si existen diferencias significativas.

**Tabla 4-48 Comparación 5 de valores de impacto (Joules)**

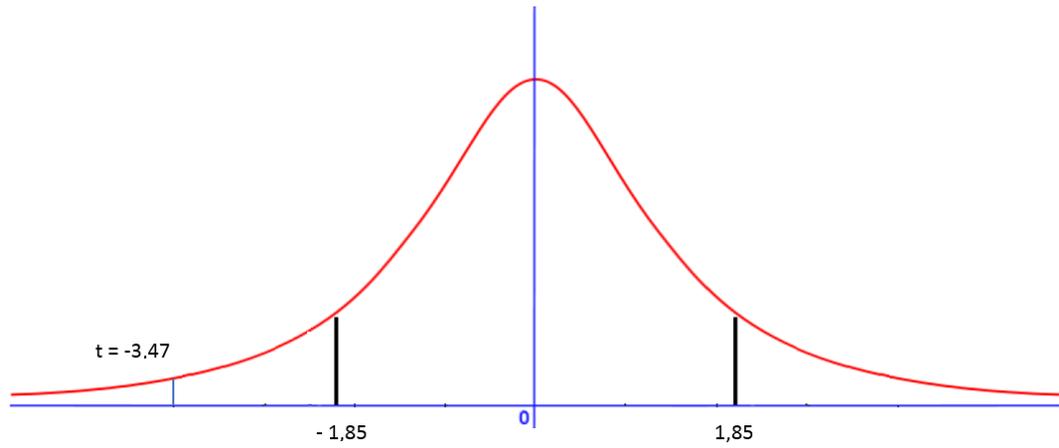
Impacto (Joules)		
Probeta	Caso 6 (82% Zn – 18% Al)	Caso 5 (76% Zn – 24% Al)
I6.1	8	9
I6.2	8	9,5
I6.3	8,5	9,5
I6.4	9	9,5
I6.5	7	8

(Fuente: Autor)

**Tabla 4-49 Prueba 5 t para dos muestras suponiendo varianzas iguales**

	Variable 1	Variable 2
Media	9,1	10,2
Varianza	0,425	0,075
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	0,25	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	-3,478505	
P(T<=t) una cola	0,004169	
Valor crítico de t (una cola)	1,859548	
P(T<=t) dos colas	0,0083379	
Valor crítico de t (dos colas)	2,3060041	

(Fuente: Autor)



El valor estadístico (t) es mayor que el valor crítico, lo que quiere decir que si existen diferencias significativas.

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Tanto el zinc como el aluminio de la aleación estudiada poseen un punto de fusión relativamente cercano.
- Este tipo de aleaciones tienen una alta colabilidad, también son de fácil moldeo.
- Es un material frágil pero tiene alta resistencia a la tracción para ciertas aplicaciones
- Para el ensayo de tracción se determinó que el caso número 5, con 76% zinc y 24% aluminio posee las propiedades más elevadas como resistencia a la tracción igual a 180,91 MPa.
- Para el ensayo de tracción se determinó que el caso número 5, con 76% zinc y 24% aluminio posee las propiedades más elevadas como porcentaje de elongación de %e 0,61%.
- Para el ensayo de dureza el caso número 5, con 76% zinc y 24% aluminio posee una dureza de 62,02 HRA la más elevada de todos los casos.
- En el ensayo de impacto con una de las mayores energías de rotura de los 6 casos tenemos la del caso 5 con 9,1 joules

- Al analizar la estructura metalográfica de las aleaciones por cada caso tenemos la presencia de dos fases  $\alpha$  = Matriz (Zn), fase  $\beta$  = presencia granular (Al).
- El valor promedio del tamaño de grano ASTM para el caso 1 es de 5,84; para el caso 2 es de 4,33; para el caso 3 es de 4,40; para el caso 4 es de 3,90; para el caso 5 es de 5,54 y para el 6 es de 4,77, la variación del tamaño de grano depende del proceso de obtención del material.
- Para este tipo de aleación al momento de fundirlo primero se debe poner el zinc y luego el aluminio, ya que el porcentaje de zinc es mayor y al ser su punto de fusión no tan alejado uno del otro existen pocas pérdidas.
- La aleación del caso número 5 con 76% zinc y 24% aluminio puede ser utilizada en elementos de máquinas para CNC como en bases para guías de desplazamiento, ranuras de sujeción, también para ejes de soporte para rollos de material en laminadoras, guías de soporte.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Para la fundición, utilizar el equipo de seguridad para evitar quemaduras, debido a que las temperaturas de fundición son elevadas ( $T > 420$ ).
- Para los análisis de tracción se recomienda asegurarse bien de las lecturas tomadas del deformímetro.
- En el ensayo de dureza asegurarse que el equipo se encuentre bien calibrado y las lecturas sean correctas.
- Para el ensayo de impacto asegurarse que este encerrado el péndulo de ensayo Charpy después de cada probeta ensayada.

- Al momento de pasar las probetas por el disco de pulido, hay que tratar de imprimir poca presión y que sea lo más uniforme posible para librar a la superficie de rayas o irregularidades.

## **CAPITULO VI**

### **6 PROPUESTA**

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS**

La búsqueda y creación de nuevas aleaciones son de un interés especial en la industria debido a las diferentes necesidades y requerimientos del consumidor, en mi caso la investigación de nuevas aleaciones con base zinc contribuirá un aporte significativo para el área de materiales permitiendo determinar materiales capaces de competir en la industria.

El análisis de la aleación se lo hizo en 6 casos con diferentes porcentajes de zinc y aluminio cada uno de los ensayos fueron realizados en los laboratorios de materiales de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi, provincia de Tungurahua, cantón Ambato, para la elaboración de los respectivos ensayos en esta investigación se puede nombrar a los siguientes equipos y materiales: para el ensayo de tracción, la maquina universal Tinius Olsen de 30 toneladas, se utilizó también el banco de lijas, pulidora, reactivos y el microscopio para el análisis metalográfico, el durómetro para obtener las diferentes mediciones en cada una de las muestras de la aleación, el péndulo Charpy para los ensayos de impacto en cada una de las probetas, así como también el nuevo microscopio de barrido para poder obtener una mejor apreciación de la microestructura de la aleación gracias a su mayor número de aumentos.

#### **6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

El estudio de las aleaciones base zinc se inició en la década de los sesentas por las compañías productoras de zinc para ser usadas como alternativas en las fundiciones, hierros maleables y bronces, ya que en aquel entonces los suministros de cobre escaseaban. La adición de aluminio al zinc permitió obtener como resultado nuevas

propiedades prometedoras, a nivel mundial se han realizado investigaciones de esta aleación, en México se desarrolló el material denominado Zinalco cuya base es el zinc.

Los estudios e investigaciones de esta combinación se ha dado de forma muy general a nivel global, por lo que no se detalla un proceso paso a paso para obtener esta aleación.

### **6.3 JUSTIFICACIÓN**

Ya que la presente investigación ha sido realizada con diferentes porcentajes de cada material en este caso zinc y aluminio se hace muy relevante determinar un proceso a seguirse el cual permitirá obtener la aleación con mejores y más elevadas propiedades (caso 5, 76% zinc y 24% aluminio) para así poder determinar su aplicación industrial.

### **6.4 OBJETIVOS**

#### **6.4.1 Objetivo general**

- Elaborar un procedimiento para la obtención de la aleación con porcentajes de 76% zinc y 24% aluminio la cual presenta las mejores y más elevadas propiedades de todos los casos investigados.

#### **6.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar el proceso más adecuado para obtener la aleación compuesta por 76% zinc y 24% aluminio.
- Determinar su aplicación industrial.

## **6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

La presente investigación fue factible de realizarse gracias a que existe la disponibilidad de recursos tanto humanos como equipos aptos para el área de ingeniería de materiales, en el caso de la fundición se contó con la ayuda de Siderúrgica Tungurahua quienes cuentan con todos los equipos necesarios para llevarla a cabo.

Para los ensayos respectivos los laboratorios de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica poseen los equipos necesarios para desarrollar la investigación sin mayor inconveniente estos equipos son:

Para el ensayo de tracción se lo realizo en el laboratorio de Ingeniería Civil en la maquina universal con el respaldo del ayudante a cargo.

Para los análisis de dureza, metalográfico y de impacto se lo realizaron en los laboratorios de Ingeniería Mecánica con sus respectivos equipos que se encuentran en perfecto funcionamiento.

## **6.6 FUNDAMENTACIÓN**

Para la presente propuesta se tomara la información recolectada en los capítulos II y IV que corresponde al marco teórico y a los análisis e interpretación de resultados donde se presenta toda la información necesaria, realizada para los 6 casos con diferentes porcentajes de cada elemento de la aleación, obteniendo así de esta manera la aleación con propiedades más elevadas cuya composición es de 76% zinc y 24% aluminio.

## **6.7 METODOLOGÍA**

Para proceder de la mejor manera con este estudio es necesario de una adecuada secuencia de procesos mismos que serán detallados a continuación:

1. Adquisición del material.
2. Preparación y fundición del material.
3. Ensayo de tracción.
4. Evaluación y resultado.
5. Preparación de la superficie para el análisis metalográfico.
6. Ataque químico
7. Observación microscópica de las probetas.
8. Análisis de la microestructura mediante software.
9. Realización del ensayo de dureza.
10. Realización del ensayo de impacto.
11. Determinación de la aplicación industrial.

### 6.7.1 Adquisición del material

El material que se utilizó para la investigación fue adquirido en la empresa Galvano de la ciudad de Quito para el caso del zinc con pureza del 99.9%, en cuanto al aluminio de pureza 99.9% fue obtenido en la Orfebrería metálica Ambato quienes trabajan con aluminio para la elaboración de capillas ardientes.



**Gráfico 6-1.** Zinc y aluminio  
(Fuente: Autor)

## 6.7.2 Preparación y fundición del material

Una vez obtenido la materia prima para el desarrollo de la práctica se procedió a la preparación de la misma, antes de la fundición procedemos a:

1. Cortar el material.
2. Pesar el material según los porcentajes de cada caso a analizarse.
3. Señalarlos y separarlos por cada caso antes de fundirlos.



a)

b)



c)



d)



e)



f)

**Gráfico 6-2** Preparación de probetas: a) corte del material, b) y c) pesaje de Al y Zn, d) molde para fundición, e) y f) lingotes de Zn – Al.

(Fuente: Autor)

A continuación observamos los pesos en gramos de cada caso, utilizados para cada uno de los ensayos, así como también el porcentaje obtenido por caso.

### Caso 1

- 4400 gr de ánodo de zinc (99,9% puro)
- 600 gr de aluminio (99,9% puro)

Caso 1	
Zn	87,884 %
Al	11,806 %
otros	0,310 %

### Caso 2

- 4300 gr de ánodo de zinc (99,9% puro)
- 760 gr de aluminio (99,9% puro)

Caso 2	
Zn	84,878 %
Al	14,790 %
Otros	0,298 %

### Caso 3

- 4300 gr de ánodo de zinc (99,9% puro)
- 940 gr de aluminio (99,9% puro)

Caso 3	
Zn	81,858 %
Al	17,792 %
otros	0,350 %

### Caso 4

- 4300 gr de ánodo de zinc (99,9% puro)
- 1140 gr de aluminio (99,9% puro)

caso4	
Zn	78,912%
Al	20,853%
otros	0,235%

### Caso 5

- 4300 gr de ánodo de zinc (99,9% puro)
- 1350 gr de aluminio (99,9% puro)

Caso 5	
Zn	75,886 %
Al	23,869 %
otros	0,245 %

### Caso 6

- 4200 gr de ánodo de zinc (99,9% puro)
- 1550 gr de aluminio (99,9% puro)

Caso 6	
Zn	72,890 %
Al	26,850 %
otros	0,260 %

Una vez establecidos los porcentajes y el peso tanto de zinc como aluminio para cada uno de los casos a estudiarse procedemos a fundirlos, gracias a la empresa Siderúrgica Tungurahua se obtuvo lingotes de esta aleación previa al mecanizado de probetas para sus respectivos ensayos.



**Gráfico 6-3** Lingotes fundidos de la aleación ZnAl  
(Fuente: Autor)

### 6.7.3 Ensayo de tracción

Para poder realizar el análisis de tracción se maquinaron las probetas bajo la norma ASTM E-8 espécimen 1, siendo este el único en ajustarse a las sujeciones de la maquina universal del laboratorio de Ingeniero civil, el torneado de las probetas se lo ha realizado en el taller del Ing. William Naula.



**Gráfico 6-4** Probeta maquinada para ensayo de tracción  
(Fuente: Autor)

### 6.7.4 Evaluación y resultado

A continuación se presenta el formato donde se evaluó cada una de las probetas de tracción.



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



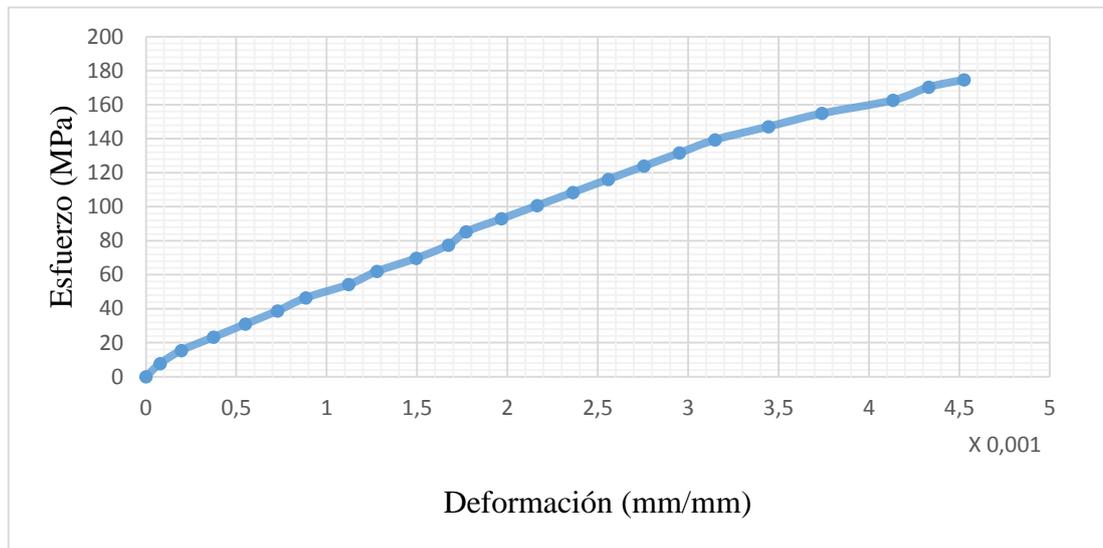
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**Datos Informativos**

<b>Probeta:</b> T5.3	<b>Fecha:</b> 13/03/2014	<b>Norma:</b> ASTM E-8
<b>Realizado por:</b> Santiago Santana	<b>Lugar:</b> Laboratorio de Ensayo de Materiales FICM	
<b>Instrumento:</b> Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
<b>Método:</b> Deformación controlada	<b>Material:</b> 76% Zinc – 24% Aluminio	

**Gráfica Esfuerzo – Deformación**

**Probeta 3**



**Resultados del Ensayo**

<b>Longitud inicial</b>	50,80 mm	2,00 in
<b>Diámetro inicial</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Longitud final</b>	51,00 mm	2,01 in
<b>Diámetro final</b>	12,70 mm	0,50 in
<b>Carga Máxima</b>	2255,80 Kg	4973,19 lb
<b>Módulo de Young (E)</b>	-----	----
<b>Resistencia a la tracción (Sut)</b>	174,63 MPa	25,32 KPsi
<b>Resistencia a la cedencia (Sy)</b>	----	----
<b>% de elongación (e)</b>	0,39%	
<b>% de reducción de área (RA)</b>	0%	

**Observaciones:**

La aleación no presenta módulo de elasticidad debido a q se fractura antes de su punto de cedencia

Las fórmulas que se presentan a continuación nos permitirán calcular los resultados del ensayo de tracción.

Área inicial:

$$A_0 = \frac{\pi * d_0^2}{4}$$

Deformación Ingenieril:

$$e = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Esfuerzo Ingenieril

$$S = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

Longitud de calibre:

$$L_{\text{inst}} = L_0 + \Delta L$$

Área instantánea:

$$A_{\text{inst}} = \frac{A_0 L_0}{L_{\text{inst}}}$$

$\epsilon$  Verdadera:

$$\ln = \frac{L_{\text{inst}}}{L_0}$$

$\sigma$  Verdadero:

$$\sigma = \frac{P_{\max}}{A_{\text{inst}}}$$

Porcentaje de elongación:

$$\%e = \left( \frac{L_f - L_0}{L_0} \right) * 100$$

Reducción de área:

$$\%RA = \left( \frac{d_f^2 - d_0^2}{d_f^2} \right) * 100$$

### 6.7.5 Preparación de la superficie para el análisis metalográfico

El análisis metalográfico de la aleación ZnAl se lo llevo a cabo en los laboratorios de materiales de la carrera de Ingeniería mecánica de la Universidad Técnica de Ambato tras seguir el procedimiento descrito a continuación.

1. Para una mejor manejo de las probetas se procede a cortar un pedazo de probeta cilíndrica de aproximadamente 1 pulgada de diámetro 1/2 pulgada de longitud.



**Gráfico 6-5** Corte de probeta ZnAl para análisis metalográfico  
(Fuente: Autor)

2. Como siguiente paso procedemos al desbaste de la probeta para lo cual utilizamos el banco de lijas de los laboratorios donde tenemos lijas de agua, comenzamos por la lija 240, después por la 320, 400 y 600 granos por pulgada cuadrada, para así poder eliminar irregularidades como marcas profundas que pueda poseer la probeta.



**Gráfico 6-6** Desbaste de probeta en el banco de lijas  
(Fuente: Autor)

3. A continuación tenemos el pulido, para esto pasamos al banco de pruebas de pulido donde tenemos un disco de pulido con un paño muy fino, la superficie debe de quedar libre de irregularidades y quedar brillante como un espejo para ayudarnos a obtener este resultado utilizamos Alúmina u oxido de aluminio disuelto en agua, la presión sobre el disco debe de ser lo más uniforme posible.



**Gráfico 6-7** Pulido de probetas  
(Fuente: Autor)

### 6.7.6 Ataque químico

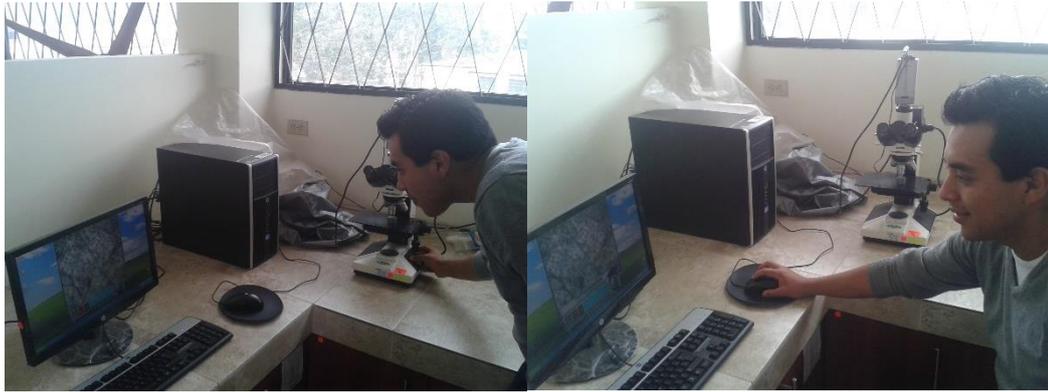
Después de que la probeta ha sido pulida y su superficie ha quedado libre de todo irregularidad se lava y se seca gracias a un ventilador, a continuación la probeta esta lista para ser atacada para esto utilizamos el reactivo químico para aleaciones de zinc a 8 seg luego para que la superficie atacada no sea quemada detenemos el ataque con agua y volvemos a secarla.



**Gráfico 6-8** Ataque químico y secado de probetas  
(Fuente: Autor)

### 6.7.7 Observación microscópica de las probetas

Ahora se procede a observar la probeta en el microscopio, se coloca la probeta en el porta objetos, se debe regular las perillas del macrométrico y micrométrico hasta obtener una imagen clara de la microestructura, capturamos y guardamos la imagen mediante el software en archivo jpg o bmp.



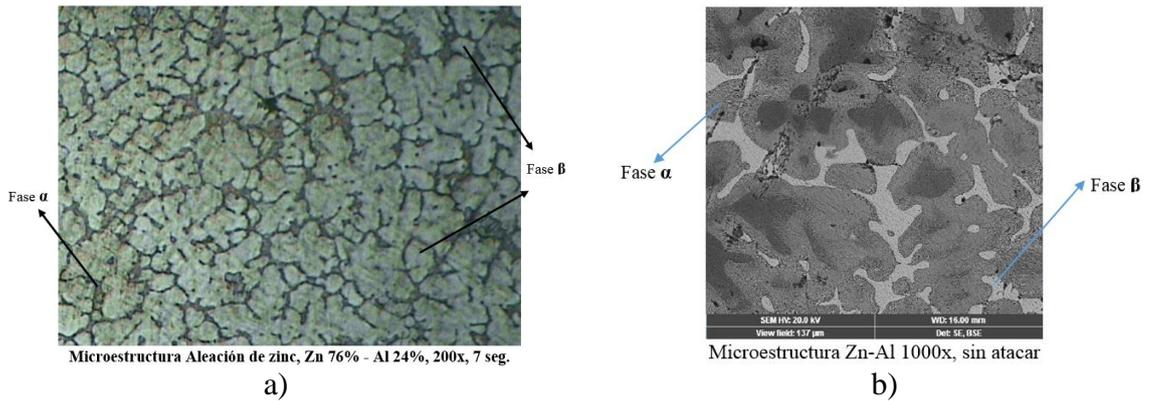
**Gráfico 6-9** Observación de la probeta en el microscopio FICM - UTA  
(Fuente: Autor)

### 6.7.8 Análisis de la microestructura mediante software

A continuación evaluamos la microestructura obtenida mediante software la probeta analizada corresponde al caso 5 con 76% zinc y 24% aluminio, en la microestructura del grafico 6-11 apreciamos que está conformada por dos fases, fase  $\alpha$  = Matriz (Zn), fase  $\beta$  = Presencia granular (Al) también se realizó un análisis en el microscopio de barrido gracias al cual se puede observar de mejor manera la microestructura del material analizado.



**Gráfico 6-10** Evaluación de la microestructura mediante software: a) Equipo de análisis metalográfico y b) Microscopio de barrido FICM –UTA  
(Fuente: Autor)



**Gráfico 6-11** Microestructura de la aleación 76% Zn - 24% Al atacada a 7seg con el reactivo para aleaciones de zinc observamos las dos fases  $\alpha$  = Matriz (Zn), fase  $\beta$  = Presencia granular (Al); a) Microscopio metalográfico y b) Microscopio de barrido.

(Fuente: Autor).

### 6.7.9 Realización del ensayo de dureza

Para realizar este ensayo se empleó el durómetro de los laboratorios de la carrera de Ingeniería mecánica de la Universidad Técnica de Ambato para este ensayo se aplicó la norma ASTM E-18, con escala de dureza Rockwell A (HRA) con indentador cónico y una carga de 588 N, obteniendo los siguientes resultados para la aleación 76% zinc y 24% aluminio.



**Gráfico 6-12.** Ensayo de dureza FICM - UTA  
(Fuente: Autor)

**Tabla 6-1** Valores de dureza HR Aleación 76% Zn – 24% Al

<b>Caso 5</b>		
	<b>N° de probeta</b>	<b>HRA</b>
	1	63,88
	2	60,15
<b>Promedio</b>	3	60,46
	4	65,38
	5	60,22
	<b>Promedio Total</b>	<b>62,02</b>

(Fuente: Autor)

### **6.7.10 Realización del ensayo de impacto**

Este ensayo fue realizado en los laboratorios de la carrera de ingeniería mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, mediante la norma ASTM E-23, se utilizó el péndulo disponible en la facultad y sus resultados para la aleación 76% zinc y 24% aluminio.



**Gráfico 6-13.** Péndulo para ensayo Charpy FICM - UTA  
(Fuente: Autor)

### **6.7.11 Determinación de la aplicación industrial**

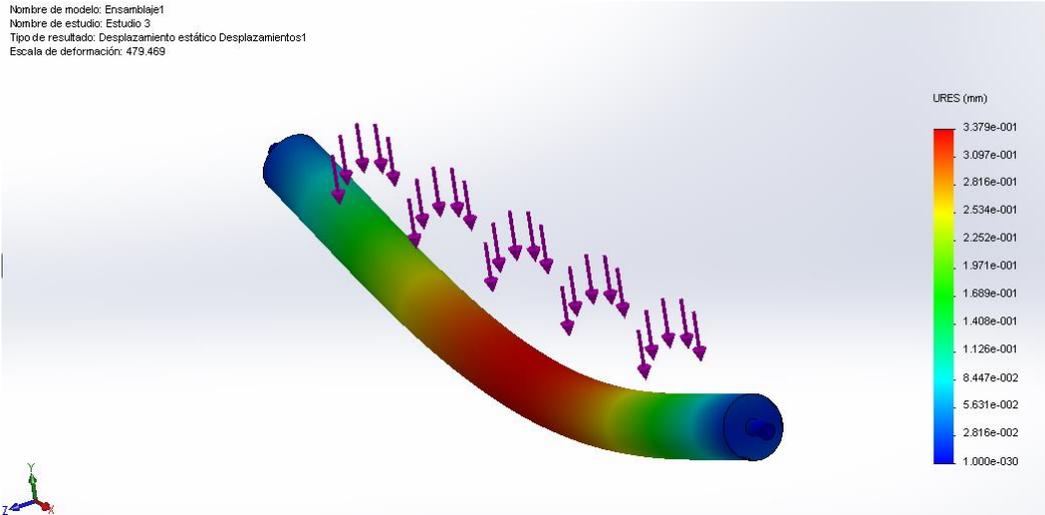
La aleación conformada por 76% zinc y 24% aluminio que se obtuvo del caso 5 se determinó que es apta para diferentes aplicaciones industriales, ya que es la que presenta propiedades mecánicas más elevadas con respecto a los otros casos, entre las cuales están como elementos de máquinas cnc como guías de soporte, ranuras de sujeción, en las bases para guías de desplazamiento, también para ejes de soporte para rollos de material en laminadoras en los cuales el aluminio es su principal componente.

La aplicación que se ha determinado para la aleación como eje de soporte para rollos de material en laminadoras, maquinas utilizadas en el campo de la publicidad, este eje soporta el peso del rollo del material a utilizarse lo cual significaría que el eje está sometido a una carga distribuida, dicho eje es fabricado normalmente en aluminio.

En este caso con la ayuda de un software he realizado una simulación estática para que los resultados obtenidos sean lo más reales, con la utilización de los datos que se obtuvieron previamente en los diferentes ensayos de la aleación se los reemplazo en el programa y se manifestaron los siguientes resultados, en este caso se realizara la simulación con aluminio y con la aleación obtenida con las mejores propiedades.

El eje tubular a analizarse cuenta con las siguientes medidas de largo 152 cm, con un diámetro de 10 cm, y un espesor de 2 mm, la carga aplicada en este caso es de aproximadamente 1000 N.

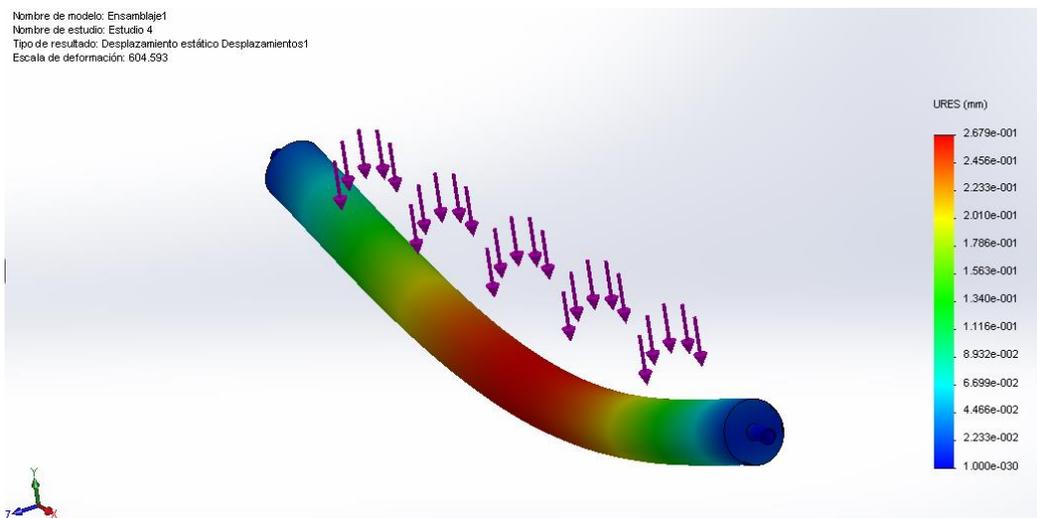
Para el análisis con material de aluminio podemos observar lo siguiente:



**Gráfico 6-14** Simulación del análisis estático en un eje de 152x100x10mm de aluminio  
 (Fuente: Autor)

Como se puede apreciar en el gráfico 6-14 la deformación máxima se daría en el centro del eje donde el color rojo es más intenso con una deformación de 3,379e-001mm.

Ahora si utilizamos la aleación zinc 76% y aluminio 24% obtenemos lo siguiente



**Gráfico 6-15** Simulación del análisis estático en un eje de 152x100x10mm de 76% Zn y 24% Al  
 (Fuente: Autor)



**Gráfico 6-16** Eje tubular  
(Fuente: Autor)

En la gráfica 6-15 apreciamos que la deformación máxima se da al igual que en el caso anterior en el centro del eje cuya deformación máxima corresponde al valor de  $2,679e-001$ mm.

Como se puede apreciar la deformación al utilizar la aleación ZnAl es menor que al utilizar solo aluminio en el eje tubular, lo cual demostraría que el uso para este tipo de elemento de maquina es factible e incluso su desplazamiento es menor lo cual permitirá alargar el tiempo de vida útil del eje.

Ver plano del eje en el anexo C4.

## 6.8 ADMINISTRACIÓN

A continuación en la tabla se detallaran el análisis económico necesario para poder desarrollar este estudio

**Tabla 6-2** Desglose económico de la investigación

Recursos Materiales			
Cantidad	Detalle	Costo Unitario	Costo Total
39,87	Libras de zinc	4,80	191,39
20	Libras de aluminio	1,75	35
1	Fundido de probetas	134,40	134,40
1	Pliego de lija N° 240	0,40	0,40
1	Pliego de lija N° 320	0,40	0,40
1	Pliego de lija N° 400	0,40	0,40
1	Pliego de lija N° 600	0,40	0,40

1	Guantes	1,50	1.50
30	Probetas para ensayo de tracción	9	270
30	Probetas para ensayo de metalográfico	3	90
30	Probetas para ensayo de impacto	6	180
-	Maquina Universal para tracción	0	0
-	Durómetro	0	0
-	Microscopio para metalografía	0	0
<b>Subtotal 1</b>			\$ 902,39
<b>Recursos Humanos</b>			
1	Mano de Obra		60
<b>Subtotal 2</b>			\$ 60
<b>Recursos Varios</b>			
-	Transporte	150	150
4	Resmas de hojas	5	20
-	Internet (Horas)	\$27/mes	100
-	Copias	20	20
-	Material de oficina	80	80
-	Impresiones y Empastados	150	150
<b>Subtotal 3</b>			\$520
<b>Total</b>			\$1482
<b>10% Improvistos</b>			\$148,2
<b>Costo Total de la investigación</b>			\$1630,2

(Fuente: Autor)

## 6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

La presente investigación fue realizada en los laboratorios de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi, ya que cuenta con los equipos necesarios con los que se llevó a cabo la mayor parte de análisis de la aleación obtenida, en cuanto a la fundición se lo realizó en la siderúrgica Tungurahua que cuenta con el equipo apropiado para poder fundir la aleación.

Gracias a esta investigación se puede apreciar que la aleación tiene diferentes aplicaciones en las que se podría utilizar según los requerimientos de ingeniería, se sugiere tomar muy en cuenta tanto las conclusiones como recomendaciones de este trabajo que pueden ser muy útiles para investigaciones futuras referentes a este tema.

## 6.10 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Avner, S., (1978), *Introducción a la Metalurgia Física*. México: Mc Graw Hill.
- [2] Callister, W., (2007), *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Séptima Edición: Editorial Reverté.
- [3] Kalpiajian, S., (2002), *Manufactura Ingeniería y Tecnología*, México DF, México.
- [4] Pando, F. y Zapatán, C. (2012). *Análisis Del Proceso De Fundición De Aluminio Y Propuesta De Mejoras En La Eficiencia De Produccion De Bases Dentadas En La Empresa Pressforja S.A* (Tesis de pregrado). Universidad Politecnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- [5] Saltos, J. y Vargas, J. (2009). *Diseño y construcción de un horno de crisol basculante, calentado por combustible para la fundición de aluminio* (Tesis de pregrado). ESPE, Latacunga, Ecuador
- [6] Sánchez, M. y Campos, S., (2010). *Tecnología De Materiales*, Primera Edición: Trillas.
- [7] Villamarin, D. y Vozmediano, B. (2010). *Proyecto de implementación, Adecuación e Instalaciones para los equipos de laboratorio de fundición de la ESPE* (Tesis de pregrado). ESPE, Latacunga, Ecuador.

### **Páginas web.**

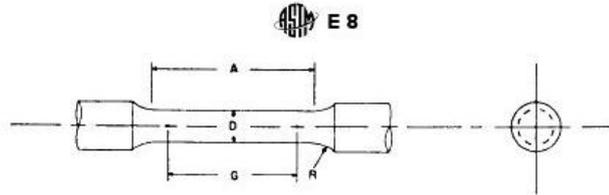
- [8] Zinc: Recuperado de:  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Zinc>

# **Anexos**

# **Anexo A**

## Anexo A1

Extracto de la Norma ASTM E 8 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.



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

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.<sup>2</sup>, 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.

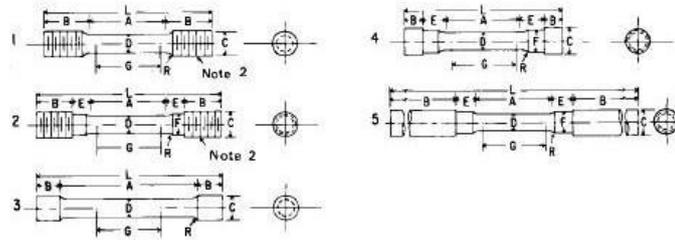
NOTE 11—The ends of copper or copper alloy specimens may be flattened 10 to 50 % from the original dimension in a jig similar to that shown in Fig. 10, to facilitate fracture within the gage marks. In flattening the opposite ends of the test specimen, care shall be taken to ensure that the four flattened 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
	in.				
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	1/16	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	8 1/2
B—Length of end section (Note 3)	1 3/8, approximately	1, approximately	3/4, approximately	3/4, approximately	3, min
C—Diameter of end section	3/8	3/8	2 3/16	3/8	3/8
E—Length of shoulder and fillet section, approximate	...	3/8	...	3/8	3/8
F—Diameter of shoulder	...	3/8	...	3/8	1 9/16

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

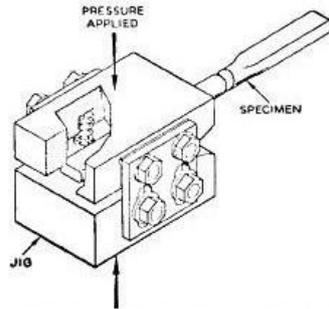


FIG. 10 Squeezing Jig for Flattening Ends of Full-Size Tension Test Specimens

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 1/4 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 1/8 in. but not less than 1/16 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 1/4 in., either a specimen of the form and

## Anexo A2

Extracto de la Norma ASTM E 18 Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Material.

### Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials<sup>1,2</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 18, 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 superscripted epsilon ( $\epsilon$ ) 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 cover the determination of the Rockwell hardness and the Rockwell superficial hardness of metallic materials, including test methods for the verification of machines for Rockwell hardness testing (Part B) and the calibration of standardized hardness test blocks (Part C).

1.2 Values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. SI units are provided for information only.

1.3 *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. (See Note 5.)*

**Note 1**—The National Institute of Standards and Technology (NIST) maintains the national Rockwell hardness standards for the United States. In June 1998, NIST released new Rockwell C scale (HRC) test blocks as Standard Reference Materials (SRMs). The blocks were calibrated using NIST's primary reference standardizing machine. The major benefit of the NIST standards is that their HRC levels are in line with the other industrialized countries around the world. The NIST HRC levels establish the hardness of materials slightly harder than the historical standards used in the United States for the past 75 years. The revision of E 18 requires that all performance verifications of Rockwell hardness indenters and hardness machines must be made using test blocks calibrated traceable to the Rockwell standards maintained by NIST. This can be accomplished through the use of commercial test blocks calibrated traceable to the NIST standards or by directly using the NIST SRMs. This requirement will apply only to the Rockwell scale(s) for which NIST supplies primary reference test blocks.

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 ASTM Standards:

A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products<sup>3</sup>

<sup>1</sup> These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E-28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.06 on Indentation Hardness Testing.

Current edition approved May 10, 2000. Published August 2000. Originally published as E 18 – 32 T. Last previous edition E 18 – 98.

<sup>2</sup> In this test method, the term Rockwell refers to an internationally recognized type of indentation hardness test as defined in Section 3, and not to the hardness testing equipment of a particular manufacturer.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.03.

B 19 Specification for Cartridge Brass Sheet, Strip, Plate, Bar, and Disks (Blanks)<sup>4</sup>

B 36/B36 M Specification for Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar<sup>4</sup>

B 96 Specification for Copper-Silicon Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar for General Purposes and Pressure Vessels<sup>4</sup>

B 97 Specification for Copper-Silicon Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar for General Purposes<sup>5</sup>

B 103/B 103 M Specification for Phosphor Bronze Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar<sup>4</sup>

B 121/B 121 M Specification for Leaded Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar<sup>4</sup>

B 122/B 122 M Specification for Copper-Nickel-Tin Alloy, Copper-Nickel-Zinc Alloy (Nickel Silver), and Copper-Nickel Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar<sup>4</sup>

B 130 Specification for Commercial Bronze Strip for Bullet Jackets<sup>4</sup>

B 134 Specification for Brass Wire<sup>4</sup>

B 152 Specification for Copper Sheet, Strip, Plate, and Rolled Bar<sup>4</sup>

B 291 Specification for Copper-Zinc-Manganese Alloy (Manganese Brass) Sheet and Strip<sup>4</sup>

B 370 Specification for Copper Sheet and Strip for Building Construction<sup>4</sup>

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>6</sup>

E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications<sup>7</sup>

E 140 Hardness Conversion Tables for Metals<sup>6</sup>

#### 3. Terminology

##### 3.1 Definitions:

3.1.1 *calibration*—determination of the values of the significant parameters by comparison with values indicated by a reference instrument or by a set of reference standards.

3.1.2 *Rockwell hardness number, HR*—a number derived from the net increase in the depth of indentation as the force on

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 02.01.

<sup>5</sup> Discontinued, see 1981 Annual Book of ASTM Standards, Part 6.

<sup>6</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

<sup>7</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

an indenter is increased from a specified preliminary test force to a specified total test force and then returned to the preliminary test force.

3.1.2.1 *Discussion—Indenters*—Indenters for the Rockwell hardness test include a diamond spheroconical indenter and steel ball indenters of several specified diameters.

3.1.2.2 *Discussion—Rockwell hardness numbers* are always quoted with a scale symbol representing the indenter and forces used. The hardness number is followed by the symbol HR and the scale designation.

3.1.2.3 *Examples*—64 HRC = Rockwell hardness number of 64 on Rockwell C scale. 81 HR30N = Rockwell superficial hardness number of 81 on Rockwell 30N scale.

3.1.3 *Rockwell hardness test*—an indentation hardness test using a verified machine to force a diamond spheroconical indenter (diamond indenter), or hard steel ball indenter under specified conditions, into the surface of the material under test in two operations, and to measure the difference in depth of the indentation under the specified conditions of preliminary and total test forces (minor and major loads, respectively).

3.1.4 *Rockwell superficial hardness test*—same as the Rockwell hardness test except that smaller preliminary and total test forces are used.

3.1.5 *verification*—checking or testing to assure conformance with the specification.

4. Significance and Use

4.1 The Rockwell hardness test is an empirical indentation hardness test. Rockwell hardness tests provide useful information about metallic materials. This information may correlate to tensile strength, wear resistance, ductility, and other physical characteristics of metallic materials, and may be useful in quality control and selection of materials.

4.2 Rockwell hardness testing at a specific location on a part may not represent the physical characteristics of the whole part or end product.

4.3 Rockwell hardness tests are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments, and have been used extensively in industry for this purpose.

4.4 Performance verifications of Rockwell hardness indenters and hardness machines shall be made using test blocks calibrated traceable to the Rockwell standards maintained by NIST when primary reference test blocks are available from NIST for the specific Rockwell scale.

A. GENERAL DESCRIPTION AND TEST PROCEDURE FOR ROCKWELL HARDNESS AND ROCKWELL SUPERFICIAL HARDNESS TESTS

5. Principles of Test and Apparatus

5.1 *General Principles*—The general principles of the Rockwell hardness test are illustrated in Fig. 1 (diamond indenter) and Fig. 2 (ball indenters) and the accompanying Table 1 and Table 2. In the case of the Rockwell superficial test the general principles are illustrated in Fig. 3 (diamond indenter) and Fig. 4 (ball indenter) and the accompanying Table 3 and Table 4.

5.1.1 See *Equipment Manufacturer's Instruction Manual* for a description of the machine's characteristics, limitations, and respective operating procedures. Typical applications of the various hardness scales are shown in Tables 5 and 6. Rockwell hardness values are usually determined and reported in accordance with one of these standard scales. An indenter

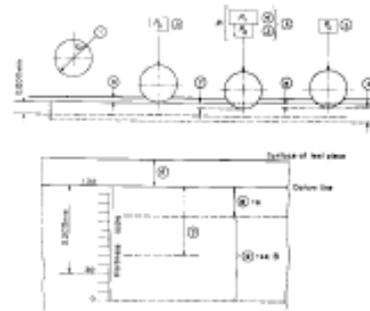


FIG. 2 Rockwell Hardness Test with Steel Ball Indenter (Rockwell B Example) (Table 2)

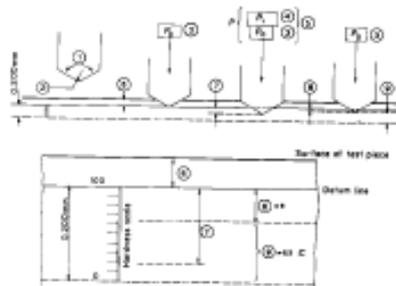


FIG. 1 Rockwell Hardness Test with Diamond Indenter (Rockwell C Example) (Table 1)

(diamond cone or steel ball) is forced into the surface of a test piece in two steps under specified conditions (see Section 7) and the difference in depth of indentation is measured as *e*.

5.1.2 The unit measurement for *e* is 0.002 mm and 0.001 mm for the Rockwell hardness test and Rockwell superficial hardness test, respectively. From the value of *e*, a number known as the Rockwell hardness is derived. There is no Rockwell hardness value designated by a number alone because it is necessary to indicate which indenter and force have been employed in making the test (see Table 5 and Table 6).

5.2 *Description of Machine and Method of Test*—The tester for making Rockwell hardness determinations is a machine that measures hardness by determining the difference in penetration depths of an indenter under two specified forces, called

## Anexo A3

Extracto de la Norma ASTM E 10 standard test method for Brinell hardness of metallic materials.

### Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 10; 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 ( $\epsilon$ ) 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 This test method (Test Method A) covers the determination of the Brinell hardness of metallic materials, including methods for the verification of Brinell hardness testing machines (Test Method B) and the calibration of standardized hardness test blocks (Test Method C).

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

NOTE 1—In common terminology, the equivalent force in kgf is substituted for N.

1.3 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.

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 ASTM Standards:

- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>2</sup>
- E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications<sup>3</sup>
- E 74 Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines<sup>2</sup>
- E 140 Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Rockwell Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness<sup>2</sup>

#### 3. Terminology

##### 3.1 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.1.1 *Brinell hardness number*—a number, which is proportional to the quotient obtained by dividing the test force by the curved surface area of the indentation which is assumed to be spherical and of the diameter of the ball.

$$HBW = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{See Table 1}) \quad (1)$$

where:

$D$  = diameter of the ball, mm,

$F$  = test force, N, and

$d$  = mean diameter of the indentation, mm.

The Brinell hardness is denoted by the symbol: HBW.

3.1.1.1 *Discussion*—In former standards, a steel ball was allowed for hardness values below 450. In cases when a steel ball was used, the Brinell hardness was denoted by HB or HBS.

3.1.1.2 *Discussion*—The symbol HBW is preceded by the hardness value. When conditions other than those specified in 11.1.2 are used, the hardness value is supplemented by an index indicating the test conditions in the order:

(1) Diameter of the ball, in mm,

(2) A value representing the test force in kgf (see Table 3), and,

(3) Duration of loading, in s.

Examples:

350 HBW 5/750 = Brinell hardness of 350 determined with a ball of 5-mm diameter and with a test force of 7.355 kN (750 kgf) applied for 10 to 15 s.  
600 HBW 1/30/20 = Brinell hardness of 600 determined with a ball of 1-mm diameter and with a test force of 294.2 N (30 kgf) applied for 20 s.

3.1.1.3 *Discussion*—Brinell hardness numbers vary with the test force used; however, test results will generally be in agreement when the ratio of the test force to the square of the ball diameter is held constant (see Table 3).

3.1.1.4 *Discussion*—Table 2 lists the Brinell hardness numbers corresponding to various diameters of indentations for 29.4 kN (3000 kgf), 14.7 kN (1500 kgf), and 4.90 kN (500 kgf) test forces making it unnecessary to calculate for each test the value of the Brinell hardness number by the above equation in Table 1 when these forces are used with a 10-mm diameter ball.

3.1.2 *Brinell hardness test*—an indenter (tungsten carbide ball with diameter  $D$ ) is forced into the surface of a test piece and the diameter of the indentation  $d$  left in the surface after removal of the test force,  $F$ , is measured. (see Table 1 and Figs. 1 and 2.)

3.1.2.1 *Discussion*—The tungsten carbide ball may be used for materials with a Brinell hardness not exceeding 650.

3.1.3 *calibration*—adjustment of the significant parameters by comparison with values indicated by a reference instrument or by a set of reference standards.

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.06 on Indentation Hardness Testing.

Current edition approved February 10, 2001. Published April 2001. Originally published as E 10 – 24 T. Last previous edition E 10 – 00a.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

TABLE 1 Symbols and Designations

NOTE 1—Constant =  $\frac{1}{E_a} = \frac{1}{9\,806\,65} = 0.102$

Symbol	Designation
$D$	Diameter of the ball, mm
$F$	Test force, N
$d$	Mean diameter of the indentation, mm
$h$	Depth of the indentation, mm
	$= D - \sqrt{D^2 - d^2}$
HBW	Brinell hardness
	$= \text{Constant} \times \frac{\text{Test force}}{\text{Surface area of indentation}}$
	$= 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$

3.1.4 *verification*—checking or testing to assure conformance with the specification.

#### 4. Significance and Use

4.1 The Brinell hardness test is an empirical indentation hardness test. Brinell hardness tests provide useful information about metallic materials. This information may correlate to tensile strength, wear resistance, ductility, or other physical characteristics of metallic materials, and may be useful in quality control and selection of materials. Brinell hardness testing at the specific location on a part may not represent the physical characteristics of the whole part or end product. Brinell hardness tests are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments, and they have been used extensively in industry for this purpose.

#### TEST METHOD A—GENERAL DESCRIPTION AND TEST PROCEDURE FOR BRINELL HARDNESS TESTS

##### 5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—Equipment for Brinell hardness testing usually consists of a testing machine which supports the test specimen and applies an indenting force to a ball in contact with the specimen. The design of the testing machines shall be such that no rocking or lateral movement of the indenter or specimen occurs while the force is being applied. The design of the testing machine shall ensure that the force to the indenter shall be applied smoothly and without impact forces. Precautions shall be taken to prevent a momentary high test force caused by the inertia of the system, hydraulic system overshoot, etc. See equipment manufacturer's instruction manual for a description of the machine's characteristics, limitations, and respective operating procedure.

##### 5.2 Brinell Balls:

5.2.1 The standard ball for Brinell hardness testing shall be 10.000 mm in diameter with a deviation from this value of not more than 0.005 mm in any diameter. The ball shall be polished and free of surface defects. Smaller balls having the diameters and tolerances indicated in Table 4 may be used also provided the precautions set forth in 8.1 are observed.

5.2.2 The tungsten carbide ball indenter shall have a minimum hardness of 1500 HV10.

NOTE 2—Caution: The Brinell test is not recommended for material

having hardness over 650 HBW (see 8.1).

5.2.2.1 The chemical composition of tungsten carbide balls shall be:

Tungsten Carbide (WC)	Balance
Cobalt (Co)	5.0 to 7.0 %
Total other Carbides	2.0 % max

5.2.2.2 The use of hardened steel ball indenters has been eliminated from this test method. Only tungsten carbide balls may now be used for this test method.

5.2.3 If a ball is used to test a specimen which shows a Brinell hardness greater than 650, the result should be considered suspect and the ball inspected for damage. If there is any evidence of damage, the ball shall be replaced.

5.3 *Measuring Device*—The divisions of the micrometer scale of the microscope or other measuring devices used for the measurement of the diameter of the indentations shall be such as to permit the direct measuring of the diameter to 0.1 mm and the estimation of the diameter to 0.05 mm.

NOTE 3—This requirement applies to the construction of the device only and is not a requirement for measurement of the indentation.

##### 6. Test Specimen

6.1 There is no standard shape or size for a Brinell test specimen. The specimen upon which the indentation is made shall conform to the following:

6.1.1 *Thickness*—The thickness of the specimen tested shall be such that no bulge or other marking showing the effect of the test force appears on the side of the piece opposite the indentation. As a general rule, the thickness of the specimen shall be at least ten times the depth of the indentation (Table 5).

6.1.2 The minimum width shall conform with the requirements of 8.3.

6.1.3 *Finish*—When necessary, the surface on which the indentation is to be made shall be filed, ground, machined or polished with abrasive material so that the edge of the indentation shall be clearly defined to permit the measurement of the diameter to the specified accuracy (see 9.1). Care should be taken to avoid overheating or cold working the surface.

##### 7. Verification of Testing Machine

7.1 *Verification Methods*—The hardness testing machine shall be verified in accordance with one of the two acceptable methods of verifying Brinell hardness testing machines as given in Test Method B.

7.2 *Test Force Range*—When direct verification is used, the Brinell hardness testing machine is acceptable for use over a test force range within which the error in test force does not exceed  $\pm 1\%$ . When indirect verification is used, the Brinell hardness machine is acceptable for use over a test force range within which the mean hardness value obtained is within  $\pm 3\%$  of the Brinell hardness of the standardized test blocks used.

##### 8. Procedure

8.1 *Magnitude of Test Force*—Typically, the force in the standard Brinell test shall be 29.42 kN (3000 kgf), 14.7 kN (1500 kgf), or 4.90 kN (500 kgf). It is recommended that the diameter of the indentation be between 24 and 60 % of the ball diameter. A lower limit in indentation diameter is necessary

## Anexo A4

Extracto de la Norma ASTM E 3 Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens.

### Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 3; 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 reappraisal. A superscripted epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

#### 1. Scope

1.1 The primary objective of metallographic examinations is to reveal the constituents and structure of metals and their alloys by means of the light microscope. In special cases, the objective of the examination may require the development of less detail than in other cases but, under nearly all conditions, the proper selection and preparation of the specimen is of major importance. Because of the diversity in available equipment and the wide variety of problems encountered, the following text presents for the guidance of the metallographer only those practices which experience has shown are generally satisfactory; it cannot and does not describe the variations in technique required to solve individual problems.

NOTE 1—For a more extensive description of various metallographic techniques, refer to Samuels, L. E., *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*, American Society for Metals (ASM) Metals Park, OH, 3rd Ed., 1982; Petzow, G., *Metallographic Etching*, ASM, 1978; and VanderVoort, G., *Metallography: Principles and Practice*, McGraw Hill, NY, 1984.

1.2 *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.*

#### 2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards:*  
E 7 Terminology Relating to Metallography<sup>2</sup>  
E 45 Practice for Determining the Inclusion Content of Steel<sup>2</sup>  
E 340 Test Method for Macroetching Metals and Alloys<sup>2</sup>  
E 407 Test Methods for Microetching Metals and Alloys<sup>2</sup>  
E 1077 Test Method for Estimating the Depth of Decarburization of Steel Specimens<sup>2</sup>  
E 1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures<sup>2</sup>  
E 1558 Guide to Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens<sup>2</sup>

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E-4 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.01 on Sampling, Specimen Preparation, and Photography.

Current edition approved Jan. 15, 1995. Published March 1995. Originally published as E 3 – 21 T. Last previous edition E 3 – 80 (1986).

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

#### 3. Significance and Use

3.1 Microstructures have a strong influence on the properties and successful application of metals and alloys. Determination and control of microstructure requires the use of metallographic examination.

3.2 Many specifications contain a requirement regarding microstructure; hence, a major use for metallographic examination is inspection to ensure that the requirement is met. Other major uses for metallographic examination are in failure analysis, and in research and development.

3.3 Proper choice of specimen location and orientation will minimize the number of specimens required and simplify their interpretation. It is easy to take too few specimens for study, but it is seldom that too many are studied.

#### 4. Selection of Metallographic Specimens

4.1 The selection of test specimens for metallographic examination is extremely important because, if their interpretation is to be of value, the specimens must be representative of the material that is being studied. The intent or purpose of the metallographic examination will usually dictate the location of the specimens to be studied. With respect to purpose of study, metallographic examination may be divided into three classifications:

4.1.1 *General Studies or Routine Work*—Specimens from locations that are most likely to reveal the maximum variations within the material under study should be chosen. For example, specimens should be taken from a casting in the zones wherein maximum segregation might be expected to occur as well as specimens from sections where segregation should be at a minimum. In the examination of strip or wire, test specimens should be taken from each end of the coils.

4.1.2 *Study of Failures*—Test specimens should be taken as closely as possible to the fracture or to the initiation of the failure. Before taking the metallographic specimens, study of the fracture surface should be complete, or, at the very least, the fracture surface should be documented. Specimens should be taken in many cases from a sound area for a comparison of structures and properties.

4.1.3 *Research Studies*—The nature of the study will dictate specimen location, orientation, etc. Sampling will usually be more extensive than in routine examinations.

4.2 Having established the location of the metallographic samples to be studied, the type of section to be examined must

be decided. For a casting, a section cut perpendicular to the surface will show the variations in structure from the outside to the interior of the casting. In hot-worked or cold-worked metals, both transverse and longitudinal sections should be studied. Special investigations may at times require specimens with surfaces prepared parallel to the original surface of the product. In the case of wire and small rounds, a longitudinal section through the center of the specimen proves advantageous when studied in conjunction with the transverse section.

4.3 Cross sections or transverse sections taken perpendicular to the main axis of the material are more suitable for revealing the following information:

4.3.1 Variations in structure from center to surface.

4.3.2 Distribution of nonmetallic impurities across the section.

4.3.3 Decarburization at the surface of a ferrous material (see Test Method E 1077).

4.3.4 Depth of surface imperfections.

4.3.5 Depth of corrosion.

4.3.6 Thickness of protective coatings, and

4.3.7 Structure of protective coating.

4.4 Longitudinal sections taken parallel to the main axis of the material are more suitable for revealing the following information:

4.4.1 Inclusion content of steel (see Practice E 45).

4.4.2 Degree of plastic deformation, as shown by grain distortion.

4.4.3 Presence or absence of banding in the structure (see Practice E 1268), and

4.4.4 The quality attained with any heat treatment.

4.5 The locations of surfaces examined should always be given in reporting results and in any illustrative micrographs. A suitable method of indicating surface locations is shown in Fig. 1.

## 5. Size of Metallographic Specimens

5.1 The specimens to be polished for metallographic examination are generally not more than about 12 to 25 mm (0.5 to 1.0 in.) square, or approximately 12 to 25 mm in diameter if the material is round. The height of the specimen should be no greater than necessary for convenient handling during polishing.

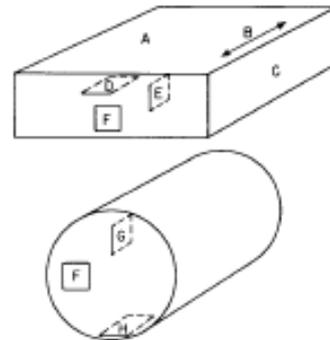
5.2 It is not always possible to secure specimens having the dimensions given in 5.1, when the material to be examined is smaller than the ideal dimensions. For example, in the polishing of wire, strip, and other small articles, it is necessary to mount the specimens because of their size and shape.

5.2.1 Larger samples may be mounted or not, as the available equipment dictates. However, the larger the specimen, the more difficult it is to prepare, especially by manual methods.

5.2.2 Specimens that are too small to be handled readily during polishing should be mounted to ensure a surface satisfactory for microscopical study. There are, based on technique used, three fundamental methods of mounting specimens (see Sections 7-9).

## 6. Cutting of Metallographic Specimens

6.1 In cutting the metallographic specimen from the main



Symbol in Diagram	Suggested Designation
A	Roller surface
B	Direction of rolling
C	Roller edge
D	Longitudinal (or lengthwise) section parallel to roller surface
E	Longitudinal section perpendicular to roller surface
F	Transverse section
G	Radial longitudinal section
H	Tangential longitudinal section

FIG. 1 Method of Designating Location of Area Shown in Photomicrograph.

body of the material, care must be exercised to minimize altering the structure of the metal. Three common types of sectioning are as follows:

6.1.1 Sawing, whether by hand or machine with lubrication, is easy and fast, and relatively cool. It can be used on all materials with hardnesses below approximately 35 HRC. It does produce a rough surface containing extensive plastic flow that must be removed in subsequent preparation.

6.1.2 An abrasive cut-off wheel will produce a smooth surface often ready for fine grinding. This method of sectioning is normally faster than sawing. The choice of cut-off wheel, lubricant, cooling conditions, and the grade and hardness of metal being cut will influence the quality of the cut. A poor choice of cutting conditions can easily overheat the specimen, producing an alteration of the microstructure. As a general rule, soft materials are cut with a hard bond wheel and hard materials with a soft bond wheel. Aluminum oxide abrasive wheels are preferred for ferrous metals and silicon carbide wheels are preferred for nonferrous alloys. Abrasive cut-off wheels are essential for sectioning metals with hardnesses above about 35 HRC. Extremely hard metallic materials and ceramics may be more effectively cut using diamond-impregnated cutting wheels. Manufacturer's instructions should be followed as to the choice of wheel and speeds.

6.1.3 Flame cutting completely alters the structure of the metal at the flame cut edge. If flame cutting is necessary to remove the specimen, it should be cut sufficiently large so that it can be recut to the proper size by some other method that will not substantially alter the structure. Exercise care to ensure that

## Anexo A5

Extracto de la Norma ASTM E 140 Standard Hardness Conversion Tables for Metals.

### Standard Hardness Conversion Tables for Metals<sup>1</sup> Relationship Among Brinell Hardness Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness

This standard is issued under the fixed designation E 140; 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 reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

$\epsilon^1$  Note—Equation X3.16 was corrected editorially in September 1999.

$\epsilon^2$  Note—Table 3 was editorially revised in April 2000. Equations X2.8 and X5.1 were editorially revised in May 2000.

$\epsilon^3$  Note—Equations X1.6, X1.8, X2.5, X3.6, X3.7, X3.11, X3.14, X3.16, X4.1, X4.6, X5.1, X6.3, X7.5 and X9.7 as well as Section X7.1.2 were editorially revised in May 2001.

#### 1. Scope

1.1 Conversion Table 1 presents data in the Rockwell C hardness range on the relationship among Brinell hardness, Vickers hardness, Rockwell hardness, Rockwell superficial hardness, Knoop hardness, and Scleroscope hardness of non-austenitic steels including carbon, alloy, and tool steels in the as-forged, annealed, normalized, and quenched and tempered conditions provided that they are homogeneous.

1.2 Conversion Table 2 presents data in the Rockwell B hardness range on the relationship among Brinell hardness, Vickers hardness, Rockwell hardness, Rockwell superficial hardness, Knoop hardness, and Scleroscope hardness of non-austenitic steels including carbon, alloy, and tool steels in the as-forged, annealed, normalized, and quenched and tempered conditions provided that they are homogeneous.

1.3 Conversion Table 3 presents data on the relationship among Brinell hardness, Vickers hardness, Rockwell hardness, Rockwell superficial hardness, and Knoop hardness of nickel and high-nickel alloys (nickel content over 50 %). These hardness conversion relationships are intended to apply particularly to the following: nickel-aluminum-silicon specimens finished to commercial mill standards for hardness testing, covering the entire range of these alloys from their annealed to their heavily cold-worked or age-hardened conditions, including their intermediate conditions.

1.4 Conversion Table 4 presents data on the relationship among Brinell hardness, Vickers hardness, Rockwell hardness, and Rockwell superficial hardness of cartridge brass.

1.5 Conversion Table 5 presents data on the relationship

between Brinell hardness and Rockwell B hardness of austenitic stainless steel plate in the annealed condition.

1.6 Conversion Table 6 presents data on the relationship between Rockwell hardness and Rockwell superficial hardness of austenitic stainless steel sheet.

1.7 Conversion Table 7 presents data on the relationship among Brinell hardness, Vickers hardness, Rockwell hardness, Rockwell superficial hardness, and Knoop hardness of copper.

1.8 Conversion Table 8 presents data on the relationship among Brinell hardness, Rockwell hardness, and Vickers hardness of alloyed white iron.

1.9 Conversion Table 9 presents data on the relationship among Brinell hardness, Vickers hardness, Rockwell hardness, and Rockwell superficial hardness of wrought aluminum products.

1.10 Many of the conversion values presented herein were obtained from computer-generated curves of actual test data. Most Rockwell hardness numbers are presented to the nearest 0.1 or 0.5 hardness number to permit accurate reproduction of these curves. Since all converted hardness values must be considered approximate, however, all converted Rockwell hardness numbers shall be rounded to the nearest whole number in accordance with Practice E 29.

1.11 Appendix XI-Appendix X9 contain equations developed from the data in Tables 1-9, respectively, to convert from one hardness scale to another. Since all converted hardness values must be considered approximate, however, all converted hardness numbers shall be rounded in accordance with Practice E 29.

1.12 Conversion of hardness values should be used only when it is impossible to test the material under the conditions specified, and when conversion is made it should be done with discretion and under controlled conditions. Each type of hardness test is subject to certain errors, but if precautions are

<sup>1</sup> These conversion tables are under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.06 on Indentation Hardness Testing.

Current edition approved Oct. 10, 1997. Published December 1997. Originally published as E 140 - 58. Last previous edition E 140 - 95.

TABLE 1 Approximate Hardness Conversion Numbers for Non-Austenitic Steels (Rockwell C Hardness Range)<sup>A, B</sup>

Rockwell C Hardness Number 150 kgf (HRC)	Vickers Hardness Number (HV)	Brinell Hardness Number <sup>C</sup>		Knoop Hardness, Number 500-gf and Over (HK)	Rockwell Hardness Number		Rockwell Superficial Hardness Number			Scleroscope Hardness Number <sup>D</sup>	Rockwell C Hardness Number 150 kgf (HRC)
		10-mm Standard Ball, 3000-kgf (HBS)	10-mm Carbide Ball, 3000-kgf (HBW)		A Scale, 60-kgf (HRA)	D Scale, 100-kgf (HRD)	15-N Scale, 15-kgf (HR 15-N)	30-N Scale, 30-kgf (HR 30-N)	45-N Scale, 45-kgf (HR 45-N)		
68	940	—	—	920	85.6	76.9	93.2	84.4	75.4	97.3	68
67	900	—	—	895	85.0	76.1	92.9	83.6	74.2	95.0	67
66	865	—	—	870	84.5	75.4	92.5	82.8	73.3	92.7	66
65	832	—	(739)	846	83.9	74.5	92.2	81.9	72.0	90.6	65
64	800	—	(722)	822	83.4	73.8	91.8	81.1	71.0	88.5	64
63	772	—	(705)	799	82.8	73.0	91.4	80.1	69.9	86.5	63
62	746	—	(688)	776	82.3	72.2	91.1	79.3	68.8	84.5	62
61	720	—	(670)	754	81.8	71.5	90.7	78.4	67.7	82.6	61
60	697	—	(654)	732	81.2	70.7	90.2	77.5	66.6	80.8	60
59	674	—	634	710	80.7	69.9	89.8	76.6	65.5	79.0	59
58	653	—	615	690	80.1	69.2	89.3	75.7	64.3	77.3	58
57	633	—	595	670	79.6	68.5	88.9	74.8	63.2	75.6	57
56	613	—	577	650	79.0	67.7	88.3	73.9	62.0	74.0	56
55	595	—	560	630	78.5	66.9	87.9	73.0	60.9	72.4	55
54	577	—	543	612	78.0	66.1	87.4	72.0	59.8	70.9	54
53	560	—	525	594	77.4	65.4	86.9	71.2	58.6	69.4	53
52	544	(500)	512	576	76.8	64.6	86.4	70.2	57.4	67.9	52
51	528	(487)	496	558	76.3	63.8	85.9	69.4	56.1	66.5	51
50	513	(475)	481	542	75.9	63.1	85.5	68.5	55.0	65.1	50
49	498	(464)	469	526	75.2	62.1	85.0	67.6	53.8	63.7	49
48	484	451	455	510	74.7	61.4	84.5	66.7	52.5	62.4	48
47	471	442	443	495	74.1	60.8	83.9	65.8	51.4	61.1	47
46	458	432	432	480	73.6	60.0	83.5	64.8	50.3	59.8	46
45	446	421	421	466	73.1	59.2	83.0	64.0	49.0	58.5	45
44	434	409	409	452	72.5	58.5	82.5	63.1	47.8	57.3	44
43	423	400	400	438	72.0	57.7	82.0	62.2	46.7	56.1	43
42	412	390	390	426	71.5	56.9	81.5	61.3	45.5	54.9	42
41	402	381	381	414	70.9	56.2	80.9	60.4	44.3	53.7	41
40	392	371	371	402	70.4	55.4	80.4	59.5	43.1	52.6	40
39	382	362	362	391	69.9	54.6	79.9	58.6	41.9	51.5	39
38	372	353	353	380	69.4	53.8	79.4	57.7	40.8	50.4	38
37	363	344	344	370	68.9	53.1	78.8	56.8	39.6	49.3	37
36	354	336	336	360	68.4	52.3	78.3	55.9	38.4	48.2	36
35	345	327	327	351	67.9	51.5	77.7	55.0	37.2	47.1	35
34	336	319	319	342	67.4	50.8	77.2	54.2	36.1	46.1	34
33	327	311	311	334	66.8	50.0	76.6	53.3	34.9	45.1	33
32	318	301	301	326	66.3	49.2	76.1	52.1	33.7	44.1	32
31	310	294	294	318	65.8	48.4	75.6	51.3	32.5	43.1	31
30	302	286	286	311	65.3	47.7	75.0	50.4	31.3	42.2	30
29	294	279	279	304	64.8	47.0	74.5	49.5	30.1	41.3	29
28	286	271	271	297	64.3	46.1	73.9	48.6	28.9	40.4	28
27	279	264	264	290	63.8	45.2	73.3	47.7	27.8	39.5	27
26	272	258	258	284	63.3	44.6	72.8	46.8	26.7	38.7	26
25	266	253	253	278	62.8	43.8	72.2	45.9	25.5	37.8	25
24	260	247	247	272	62.4	43.1	71.6	45.0	24.3	37.0	24
23	254	243	243	266	62.0	42.1	71.0	44.0	23.1	36.3	23
22	248	237	237	261	61.5	41.6	70.5	43.2	22.0	35.5	22
21	243	231	231	256	61.0	40.9	69.9	42.3	20.7	34.8	21
20	238	226	226	251	60.5	40.1	69.4	41.5	19.6	34.2	20

<sup>A</sup> In the table headings, force refers to total test forces.  
<sup>B</sup> Appendix X1 contains equations converting determined hardness scale numbers to Rockwell C hardness numbers for non-austenitic steels. Refer to 1.11 before using conversion equations.  
<sup>C</sup> The Brinell hardness numbers in parentheses are outside the range recommended for Brinell hardness testing in 8.1 of Test Method E 10.  
<sup>D</sup> These Scleroscope hardness conversions are based on Vickers—Scleroscope hardness relationships developed from Vickers hardness data provided by the National Bureau of Standards for 13 steel reference blocks, Scleroscope hardness values obtained on these blocks by the Shore Instrument and Mfg. Co., Inc., the Roll Manufacturers Institute, and members of this institute, and also on hardness conversions previously published by the American Society for Metals and the Roll Manufacturers Institute.

## Anexo A6

### Extracto de la Norma ASTM E 23 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.

#### Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials<sup>1</sup>

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 reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

*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), pre-cracking 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 Methods<sup>2</sup>
- E 399 Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials<sup>3</sup>
- E 604 Test Method for Dynamic Tear Energy of Metallic Materials<sup>3</sup>
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 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 April 10, 2001. Published June 2001. Originally published as E 23 – 33 T. Last previous edition E 23 – 00.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

E 1271 Practice for Qualifying Charpy Verification Specimens of Heat-treated Steel<sup>3</sup>

E 1313 Guide for Recommended Formats for Data Records Used in Computerization of Mechanical Test Data for Metals<sup>4</sup>

#### 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 XI.

#### 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.

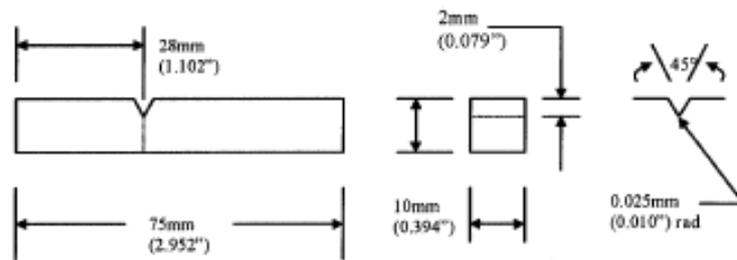
##### 6.2 Inspection and Verification

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

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.01.

E 23



Norm 1—Permissible variations shall be as follows:

Notch length to edge	$90 \pm 2^\circ$
Cross-section dimensions	$\pm 0.025 \text{ mm } (\pm 0.001 \text{ in.})$
Length of specimen	$+0, -2.5 \text{ mm } (\pm 0, -0.100 \text{ in.})$
Angle of notch	$\pm 1^\circ$
Radius of notch	$\pm 0.025 \text{ mm } (\pm 0.001 \text{ in.})$
Notch depth	$\pm 0.025 \text{ mm } (\pm 0.001 \text{ in.})$
Adjacent sides shall be at	$90^\circ \pm 10 \text{ min}$
Finish requirements	$2 \mu\text{m } (80 \mu\text{in.})$ on notched surface and opposite face; $4 \mu\text{m } (125 \mu\text{in.})$ on other two surfaces

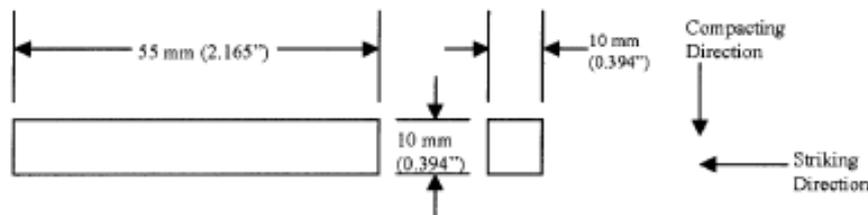
FIG. 2 Izod (Cantilever-Beam) Impact Test Specimen, Type D



Norm 1—Two Izod specimens may be cut from this bar.

Norm 2—Blow shall be struck on narrowest face.

FIG. 3 Izod Impact Test Bar for Die Castings Alloys



Norm 1—Permissible variations shall be as follows:

Adjacent sides shall be at	$90^\circ \pm 10 \text{ min}$
Cross section dimensions	$\pm 0.125 \text{ mm } (0.005 \text{ in.})$
Length of specimen	$+0, -2.5 \text{ mm } (\pm 0, -0.100 \text{ in.})$

FIG. 4 Charpy (Simple Beam) Impact Test Specimens for Metal Powder Structural Parts

7.2.3 Identification marks shall only be placed in the following locations on specimens: either of the 10-mm square ends; the side of the specimen that faces up when the specimen is positioned in the anvils (see Note 1); or the side of the specimen opposite the notch. No markings, on any side of the specimen, shall be within 15 mm of the center line of the notch. An electrostatic pencil may be used for identification purposes, but caution must be taken to avoid excessive heat.

Norm 1—Careful consideration should be given before placing identification marks on the side of the specimen to be placed up when positioned

in the anvils. If the test operator is not careful, the specimen may be placed in the machine with the identification marking resting on the specimen supports. Under these circumstances, the absorbed energy value obtained may be unreliable.

## 8. Procedure

### 8.1 Preparation of the Apparatus:

8.1.1 Perform a routine procedure for checking impact machines at the beginning of each day, each shift, or just prior to testing on a machine used intermittently. It is recommended that the results of these routine checks be kept in a log book for

## Anexo A7

Extracto de la Norma ASTM E 112 Standard Test Methods for Determining Average Grain Size.

### Standard Test Methods for Determining Average Grain Size<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 112; 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 reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

$\epsilon^1$  Note—Equations A1.4, A1.5 and A1.6 were editorially revised in April 2000.

#### INTRODUCTION

These test methods of determination of average grain size in metallic materials are primarily measuring procedures and, because of their purely geometric basis, are independent of the metal or alloy concerned. In fact, the basic procedures may also be used for the estimation of average grain, crystal, or cell size in nonmetallic materials. The comparison method may be used if the structure of the material approaches the appearance of one of the standard comparison charts. The intercept and planimetric methods are always applicable for determining average grain size. However, the comparison charts cannot be used for measurement of individual grains.

#### 1. Scope

1.1 These test methods cover the measurement of average grain size and include the comparison procedure, the planimetric (or Jeffries) procedure, and the intercept procedures. These test methods may also be applied to nonmetallic materials with structures having appearances similar to those of the metallic structures shown in the comparison charts. These test methods apply chiefly to single phase grain structures but they can be applied to determine the average size of a particular type of grain structure in a multiphase or multiconstituent specimen.

1.2 These test methods are used to determine the average grain size of specimens with a unimodal distribution of grain areas, diameters, or intercept lengths. These distributions are approximately log normal. These test methods do not cover methods to characterize the nature of these distributions. Characterization of grain size in specimens with duplex grain size distributions is described in Test Methods E 1181. Measurement of individual, very coarse grains in a fine grained matrix is described in Test Methods E 930.

1.3 These test methods deal only with determination of planar grain size, that is, characterization of the two-dimensional grain sections revealed by the sectioning plane. Determination of spatial grain size, that is, measurement of the size of the three-dimensional grains in the specimen volume, is beyond the scope of these test methods.

1.4 These test methods describe techniques performed manually using either a standard series of graded chart images

for the comparison method or simple templates for the manual counting methods. Utilization of semi-automatic digitizing tablets or automatic image analyzers to measure grain size is described in Test Methods E 1382.

1.5 These test methods deal only with the recommended test methods and nothing in them should be construed as defining or establishing limits of acceptability or fitness of purpose of the materials tested.

1.6 The measured values are stated in SI units, which are regarded as standard. Equivalent inch-pound values, when listed, are in parentheses and may be approximate.

1.7 *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.*

1.8 The paragraphs appear in the following order:

Section	Number
Scope	1
Referenced Documents	2
Terminology	3
Significance and Use	4
Generalities of Application	5
Sampling	6
Test Specimens	7
Calibration	8
Preparation of Photomicrographs	9
Comparison Procedure	10
Planimetric (Jeffries) Procedure	11
General Intercept Procedures	12
Heyn Linear Intercept Procedure	13
Circular Intercept Procedures	14
Hillard Single-Circle Procedure	14.2
Abrams Three-Circle Procedure	14.3
Statistical Analysis	15
Specimens with Non-equiaxed Grain Shapes	16
Specimens Containing Two or More Phases or Constituents	17

<sup>1</sup> These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E-4 on Metallography and are the direct responsibility of Subcommittee E04.08 on Grain Size.

Current edition approved May 10, 1996. Published July 1996. Originally published as E 112 – 55 T. Last previous edition E 112 – 95.

10.2.3 *Plate III*—Twinned grains (contrast etch). Includes nominal grain diameters of 0.200, 0.150, 0.120, 0.090, 0.070, 0.060, 0.050, 0.045, 0.035, 0.025, 0.020, 0.015, 0.010, 0.005 mm at 75X.

10.2.4 *Plate IV*—Austenite grains in steel (McQuaid-Ehn). Includes grain size numbers 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, at 100X.

10.3 Table 1 lists a number of materials and the comparison charts that are suggested for use in estimating their average grain sizes. For example, for twinned copper and brass with a contrast etch, use Plate III.

*Note 1*—Examples of grain-size standards from Plates I, II, III, and IV are shown in Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, and Fig. 4.

10.4 The estimation of microscopically-determined grain size should usually be made by direct comparison at the same magnification as the appropriate chart. Accomplish this by comparing a projected image or a photomicrograph of a representative field of the test specimen with the photomicrographs of the appropriate standard grain-size series, or with suitable reproductions or transparencies of them, and select the photomicrograph which most nearly matches the image of the test specimen or interpolate between two standards. Report this estimated grain size as the ASTM grain size number, or grain diameter, of the chart picture that most closely matches the image of the test specimen or as an interpolated value between two standard chart pictures.

10.5 Good judgment on the part of the observer is necessary to select the magnification to be used, the proper size of area (number of grains), and the number and location in the specimen of representative sections and fields for estimating the characteristic or average grain size. It is not sufficient to visually select what appear to be areas of average grain size. Recommendations for choosing appropriate areas for all procedures have been noted in 5.2.

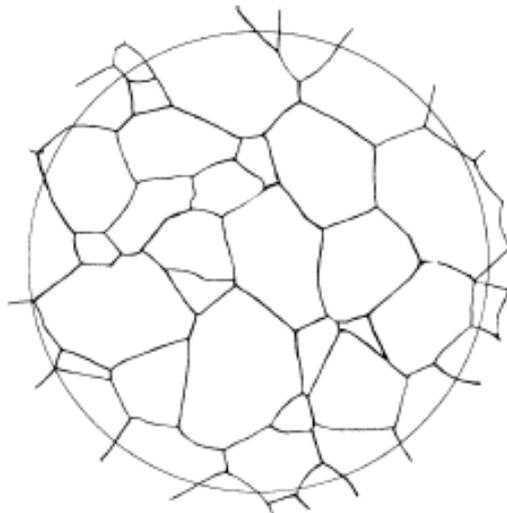


FIG. 1 Example of Un-twinned Grains (Flat Etch) from Plate I. Grain Size No. 3 at 100X

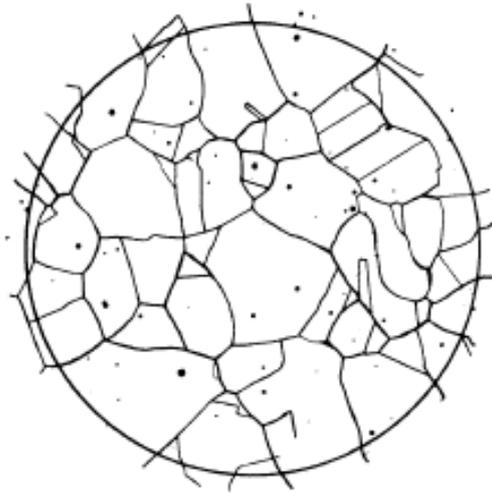


FIG. 2 Example of Twin Grains (Flat Etch) from Plate II. Grain Size No. 3 at 100X



FIG. 3 Example of Twin Grains (Contrast Etch) from Plate III. Grain Size 0.090 mm at 75X

10.6 Grain size estimations shall be made on three or more representative areas of each specimen section.

10.7 When the grains are of a size outside the range covered by the standard photographs, or when magnifications of 75X or 100X are not satisfactory, other magnifications may be employed for comparison by using the relationships given in Note 2 and Table 2. It may be noted that alternative magnifications

# **Anexo B**

## Anexo B1

### Análisis químico prueba 1

Rx

Sample : SANTIAGO ILBA  
Operator: HT  
Comment : 1  
Group : VARRIDO  
Date : 2014-06-23 18:37:58

#### Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time (sec)	DT (%)
Ti-U	Rh 50	8-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	37
Na-Sc	Rh 15	152-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	41

#### Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
ZnO	87,884 %	( 0.059)	Quan-FP	ZnKa	2127.4416
Al2O3	11,806 %	( 0.126)	Quan-FP	AlKa	1.3482
Fe2O3	0,073 %	( 0.008)	Quan-FP	FeKa	31.0715
SO3	0,131 %	( 0.012)	Quan-FP	S Ka	0.7954
SiO2	0,081 %	( 0.015)	Quan-FP	SiKa	0.0760
Cl	0,021 %	( 0.020)	Quan-FP	ClKa	0.8480
MnO	0,004 %	( 0.003)	Quan-FP	MnKa	1.1856

## Anexo B2

### Análisis químico prueba 2

Rx

Sample : SANTIAGO ILBA  
 Operator: HT  
 Comment : (2)  
 Group : VARRIDO  
 Date : 2014-06-23 18:50:58

Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time (sec)	DT (%)
Ti-U	Rh 50	8-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 99	38
Na-Sc	Rh 15	152-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 99	42

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
ZnO	84.878 %	( 0.059)	Quan-FP	ZnKa	2191.6883
Al2O3	14,790 %	( 0.125)	Quan-FP	AlKa	1.3047
SO3	0,109 %	( 0.015)	Quan-FP	S Ka	1.3534
SiO2	0,091 %	( 0.020)	Quan-FP	SiKa	0.1516
Fe2O3	0,056 %	( 0.004)	Quan-FP	FeKa	6.0252
CaO	0,042 %	( 0.013)	Quan-FP	CaKa	0.4996
K2O	0,030 %	( 0.008)	Quan-FP	K Ka	0.0757
MnO	0,004 %	( 0.003)	Quan-FP	MnKa	1.1248

### Anexo B3

### Análisis químico prueba 3

Sample : SANTIAGO ILBA 1.513 % ( 0.008 ) Quan-FP FeKa 36.3394  
 Operator : LV 0.159 % ( 0.011 ) Quan-FP SiKa 0.0296  
 Comment : 3 0.138 % ( 0.005 ) Quan-FP K Ka 0.1182  
 Group : VARRIDO 0.050 % ( 0.003 ) Quan-FP MnKa 0.9830  
 Date : 2014-06-27 23:04:54

Rx

#### Measurement Condition

Instrument: EDX-720 Atmosphere: Vac. Collimator: 10(mm) Spin: Off

Analyte	TG	kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time (sec)	DT (%)
Ti-U	Rh	50	9-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 99	39
Na-Sc	Rh	15	155-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	39

#### Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
ZnO	81,858 %	( 0.056 )	Quan-FP	ZnKa	2033.0518
Al2O3	17,792 %	( 0.142 )	Quan-FP	AlKa	1.6168
Fe2O3	0,159 %	( 0.005 )	Quan-FP	FeKa	10.6208
SiO2	0,080 %	( 0.011 )	Quan-FP	SiKa	0.0257
K2O	0,074 %	( 0.005 )	Quan-FP	K Ka	0.1146
MnO	0,037 %	( 0.003 )	Quan-FP	MnKa	1.0842

## Anexo B4

### Análisis químico prueba 4

Sample : SANTIAGO ILBA  
 Operator: LV  
 Comment : 4  
 Group : VARRIDO  
 Date : 2014-06-27 23:28:11

Rx

Edición:

Measurement Condition

Instrument: EDX-720 Atmosphere: Vac. Collimator: 10(mm) Spin: Off

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	9-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	39
Na-Sc	Rh 15	163-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	40

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
ZnO	78,912 %	( 0.054)	Quan-FP	ZnKa	2025.0254
Al2O3	20,853 %	( 0.145)	Quan-FP	AlKa	1.8588
Fe2O3	0,077 %	( 0.004)	Quan-FP	FeKa	4.0587
CaO	0,053 %	( 0.012)	Quan-FP	CaKa	0.4528
SiO2	0,049 %	( 0.011)	Quan-FP	SiKa	0.0262
K2O	0,039 %	( 0.005)	Quan-FP	K Ka	0.0879
MnO	0,017 %	( 0.003)	Quan-FP	MnKa	0.8650

## Anexo B5

### Análisis químico prueba 5

Sample : SANTIAGO ILBA  
 Operator: LV  
 Comment : 5  
 Group : VARRIDO  
 Date : 2014-06-27 23:37:47

Rx

#### Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	9-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	39
Na-Sc	Rh 15	167-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	42

#### Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
ZnO	75,886 %	( 0.051)	Quan-FP	ZnKa	2027.1790
Al2O3	23,869 %	( 0.150)	Quan-FP	AlKa	2.3284
Fe2O3	0,090 %	( 0.004)	Quan-FP	FeKa	6.9430
SiO2	0,085 %	( 0.010)	Quan-FP	SiKa	0.0263
NiO	0,070 %	( 0.002)	Quan-FP	NiKa	0.9010

## Anexo B6

### Análisis químico prueba 6

Sample : SANTIAGO ILBA  
Operator: LV  
Comment : 6  
Group : VARRIDO  
Date : 2014-06-27 23:46:59

R x

#### Measurement Condition

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	9-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	38
Na-Sc	Rh 15	155-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	40

#### Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
ZnO	72,890 %	( 0.050)	Quan-FP	ZnKa	1976.6552
Al2O3	26,850 %	( 0.155)	Quan-FP	AlKa	2.4876
Fe2O3	0,154 %	( 0.008)	Quan-FP	FeKa	36.3394
SiO2	0,068 %	( 0.011)	Quan-FP	SiKa	0.0296
K2O	0,024 %	( 0.005)	Quan-FP	K Ka	0.1182
MnO	0,014 %	( 0.003)	Quan-FP	MnKa	0.9830

# **Anexo C**

## Anexo C1

MEMBRO DE LA AMERICAN ELECTRO PLATE AND SUPPLY ASSOCIATION (AESPA)  
R.U.C.: 1790331702001  
AUT. SRI: 1113606704

**FACTURA**  
S 001-001 00055779

Fecha: 20 NOV 2013

FACTURADO A:  
 Cliente: 000510 SANTANA TELLO CARLOS RAUL  
 R.U.C. / C.I.: 0501005534 Ciudad: AMBATO TUNGURAHUJA  
 Dirección: MONTE DEL CAJAS Y CAMINO AL REY  
 Telf.: 032520798

Guía de Remisión N°:  
 Orden de Compra: PEDIDO 43914 Forma de Pago: CREDITO 0 DIAS  
 Vencimiento: 20-noviembre-2013 Vendedor: OFICINA

Observaciones:

COD.	CANT.	DETALLE	P. UNITARIO	TOTAL
MPAN00013	35.90	ANODOS DE ZINC	4.80	170.88

ATENCION  
 EMITIR Y ENVIAR COMPROBANTE DE RETENCION DENTRO DE LOS 5 DIAS EMITIDA LA FACTURA  
 \*NO SE RECIBIRAN RETENCIONES PASADO ESE TIEMPO\*

Subtotal \$ 170.88  
 Descuento \$ 0.00  
 I.V.A. 0 % \$ 0.00  
 I.V.A. 12 % \$ 20.51  
 FLETE \$  
 TOTAL \$ 191.39

San: CIENTO NOVENTA Y UNO DOLARES con 39/100 -----

Debto y pagare incondicionalmente en el lugar que es mi "reconvenir", a la orden de Metaquímica Galvano, a ..... días  
 fijo contados desde la fecha de suscripción de este pagare, la cantidad que aparece en el total de este documento más el  
 interés de mora desde su vencimiento, así como el adicional de mora permitido por la ley sin preaviso.

AUTORIZADO ELABORADO DESPACHADO RECIBI CONFORME

FECHA DE EMISIÓN: 20/11/2013 a las 09:00:00 AM AUTENTICACIÓN N° 2013 - TEL: 032-4667 - FECHA DE AUTENTICACIÓN: 27/06/2013  
 ORIGINAL AUTENTICADO COPIA CELESTE EMISOR COPIA ROSADA COPIA NO VALIDA PARA EFECTOS FISCALITARIOS

## CERTIFICADO DE ANALISIS

FECHA : 41970  
 REF. ZINSA : SAP-8135  
 MATERIAL : ANODOS DE ZINC PLANOS  
 PESO NETO : 5000  
 NR. DE ATADOS : 3  
 NR. LINGOTES : 275  
 MARCAS : ZINC PLATES

(VALORES EN % PESO)

NR. LOTE	Al	Cu	Pb	Cd	Fe	Sn	Zn
335-14	0.0001	0.0007	0.0022	0.0004	0.001	0.0001	99.9955
336-14	0.0001	0.0007	0.0018	0.0004	0.0012	0.0001	99.9957
338-14	0.0001	0.0009	0.0023	0.0004	0.001	0.0001	99.9952

ZINC INDUSTRIAS NACIONALES S.A.  
 COD REGISTRO: 91201-R01

ZINC INDUSTRIAS NACIONALES S.A.  
 ZINSA

## Anexo C2

 <b>Representaciones</b> hierro - acero - aluminio	<b>ONTANEDA HUANCA MILTON DARWIN</b> DIRECCION: AMAGASI DEL INCA DE LOS NOGALES N52-157 Y AMAGASI DEL INCA TELÉFONOS: 2614 261 / 0998 647 092 Quito - Ecuador <b>"OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD"</b>	R.U.C.: 1101053096001 <b>FACTURA S 001-001-</b>  <span style="font-size: 1.2em; color: red;">0001136</span> AUT. SRI.1115561149																															
	Cliente: CESAR SERNA Fecha: Quito, 18 de febrero de 2015 Dirección:	RUC/I: 0500666078001 Teléfono: 023252044	VENCE: 20/03/2015 CREDITO: 30 Días																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">CÓDIGO</th> <th style="width: 10%;">CANT.</th> <th style="width: 60%;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="width: 10%;">VIUNIDAD</th> <th style="width: 10%;">TOTAL \$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PAL1(4X8)P</td> <td style="text-align: center;">20.00</td> <td>PLANCHA ALUMINIO LISO 1,0 mm (1,22 m x 2,44 m) PVC ✓</td> <td style="text-align: center;">29.46</td> <td style="text-align: right;">589.20</td> </tr> <tr> <td>PAL1.5(4X8)P</td> <td style="text-align: center;">40.00</td> <td>PLANCHA ALUMINIO LISO 1,5 mm (1,22 m x 2,44 m) PVC ✓</td> <td style="text-align: center;">46.34</td> <td style="text-align: right;">1,853.60</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right; padding-right: 20px;"> <span style="font-size: 1.5em; opacity: 0.5;">GLOBALCER</span>  <span style="font-size: 1.5em; opacity: 0.5;">PONTON</span> </td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td style="text-align: right;"><b>SUBTOTAL \$</b></td> <td style="text-align: right;">2,442.80</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td style="text-align: right;">IVA 12 %</td> <td style="text-align: right;">293.14</td> </tr> </tbody> </table>		CÓDIGO	CANT.	DESCRIPCIÓN	VIUNIDAD	TOTAL \$	PAL1(4X8)P	20.00	PLANCHA ALUMINIO LISO 1,0 mm (1,22 m x 2,44 m) PVC ✓	29.46	589.20	PAL1.5(4X8)P	40.00	PLANCHA ALUMINIO LISO 1,5 mm (1,22 m x 2,44 m) PVC ✓	46.34	1,853.60	<span style="font-size: 1.5em; opacity: 0.5;">GLOBALCER</span> <span style="font-size: 1.5em; opacity: 0.5;">PONTON</span>								<b>SUBTOTAL \$</b>	2,442.80				IVA 12 %	293.14	<small>INDUSTRIA GRAFICA CARTAGO - Martínez Mota Edwin Fernando - RUC: 170880416001 - Ad. SRI: 7872 - Tel: 345 1635 MP - DEL 1101 - AL 1200 Fecha de Autorización 12/Sepiembre/2014 Fecha de Caducidad 12/Sepiembre/2016</small>	
CÓDIGO	CANT.	DESCRIPCIÓN	VIUNIDAD	TOTAL \$																													
PAL1(4X8)P	20.00	PLANCHA ALUMINIO LISO 1,0 mm (1,22 m x 2,44 m) PVC ✓	29.46	589.20																													
PAL1.5(4X8)P	40.00	PLANCHA ALUMINIO LISO 1,5 mm (1,22 m x 2,44 m) PVC ✓	46.34	1,853.60																													
<span style="font-size: 1.5em; opacity: 0.5;">GLOBALCER</span> <span style="font-size: 1.5em; opacity: 0.5;">PONTON</span>																																	
			<b>SUBTOTAL \$</b>	2,442.80																													
			IVA 12 %	293.14																													

### GUANGDONG GUANGYUN ALUMINIUM INDUSTRY CO., LTD

NO.41, YUNFU HIGH-TECH DEVELOPMENT ZONE, YUNFU CITY, GUANGDONG PROVINCE, CHINA

### MILL TEST REPORT

TO: ACEROS Y ALUMINIO ACERAL CIA LTDA/  
 NUEVA VENTURA AGUILERA N58-70 Y JUAN MOLINEROS, QUITO, ECUADOR  
 RUC: 1792283507001

INVOICE NO: 14EC-AY01/02  
 DATE: APR 29, 2014

DESCRIPTION OF GOODS:  
 ALUMINIUM SHEET AND COIL

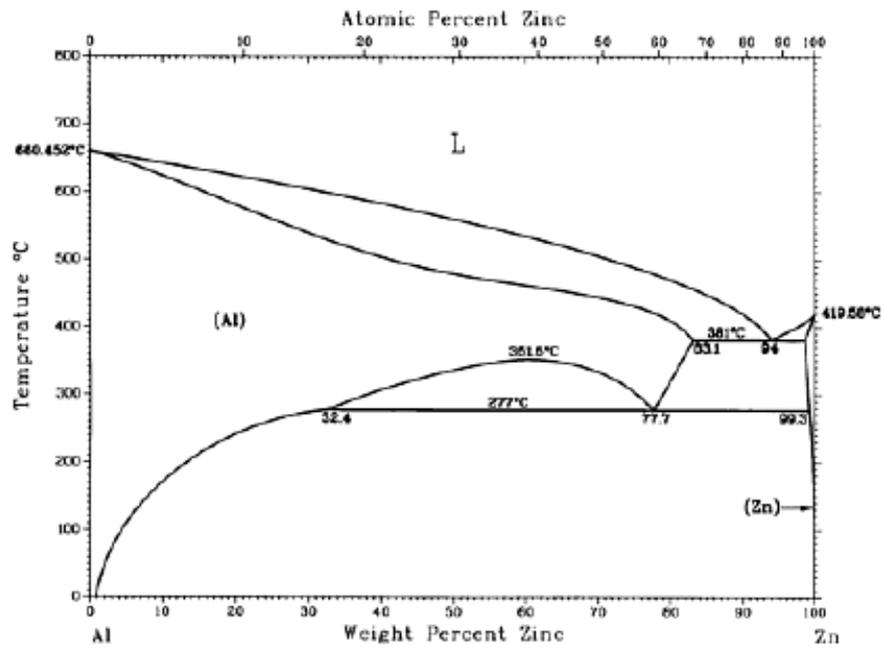
NO.	ALLOY & TEMPER	SIZE(MM)	T.S (MPA)	ELONGATION (%)	AL (%)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti
1	AA1200H14 (PVC)	1.5X1220X2440	129	7.9	R	0.26	0.34	0.02	0.02	/	0.04	/	0.02
2		0.4X1000X2000	128	4.6	R	0.25	0.31	0.02	0.02	/	0.04	/	0.01
3		3.0X1220X2440	131	6.2	R	0.25	0.33	0.02	0.01	/	0.05	/	0.02
4		6.0X1220X2440	134	7.5	R	0.26	0.31	0.02	0.02	/	0.04	/	0.02
5		0.4X1220XCOIL	129	4.9	R	0.21	0.29	0.02	0.03	/	0.03	/	0.02
6		0.5X1220XCOIL	129	5.1	R	0.24	0.28	0.02	0.02	/	0.04	/	0.02
7		0.7X1220XCOIL	129	5.2	R	0.22	0.25	0.021	0.02	/	0.04	/	0.01
8	AA3003H14 (small S bar)	1.5X1220X2440	158	11	R	0.12	0.28	0.11	1.2	/	0.02	/	/
9		2.0X1220X2440	161	12	R	0.13	0.29	0.11	1.21	/	0.02	/	/
10		3.0X1220X2440	162	12	R	0.13	0.29	0.1	1.2	/	0.03	/	/

  
 GUANGDONG GUANGYUN ALUMINIUM INDUSTRY CO., LTD

## Anexo C3

### Al-Zn (Aluminum - Zinc)

J.L. Murray, 1983

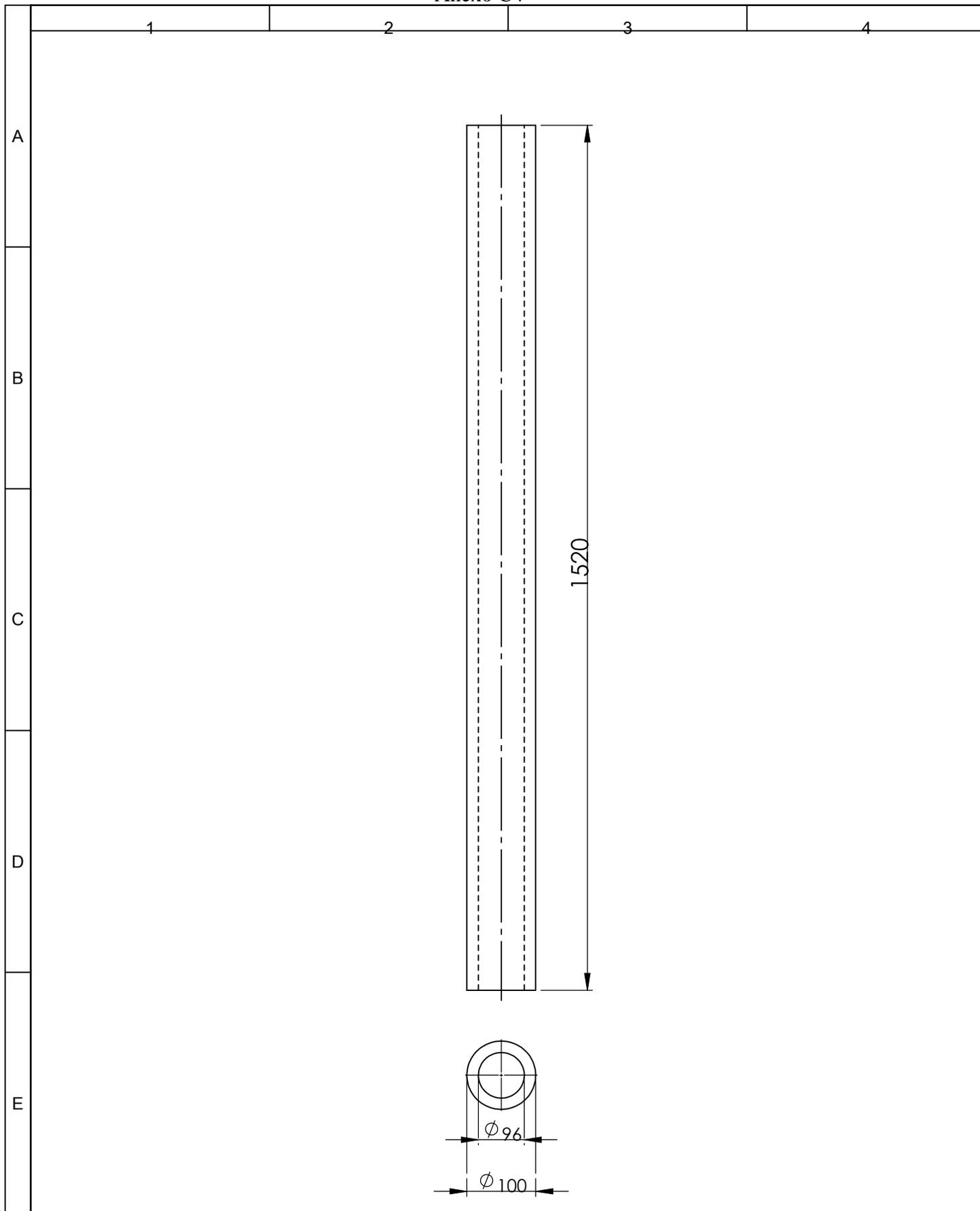


Al-Zn phase diagram

#### Al-Zn crystallographic data

Phase	Composition, wt% Zn	Pearson symbol	Space group
(Al)	0 to 83.1	<i>cF4</i>	<i>Fm</i> $\bar{3}m$
(Zn)	98.8 to 100	<i>hP2</i>	<i>P6</i> $_3/mmc$
<b>Metastable phases</b>			

Anexo C4



				Tolerancia $\pm 0,1$		Materiales: Aleación 76% Zn - 24% Al	
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Eje</b> 96	Escala: 1:10
				Dib.	23/02/2015 S. SANTANA		
				Rev.	23/02/2015 Ing S. ESPÍN Mg.		
					Apro.	23/02/2015 Ing S. ESPÍN Mg.	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 1 DE 1	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

