



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

## **INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE PREVIO A  
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA MECÁNICA**

**TEMA:**

---

**“ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE PIEZAS FUNDIDAS EN ALUMINIO  
MEDIANTE CERA PERDIDA Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD”**

---

**AUTOR: Pamela Katerine Solórzano Saltos**

**TUTOR: Ing. Mg. Segundo Espín**

**AMBATO – ECUADOR**

**2013**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de Tutor de la presente investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera Mecánica, con el tema “ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE PIEZAS EN ALUMINIO MEDIANTE CERA PERDIDA Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD”, ejecutado por la señora Pamela Katerine Solórzano Saltos, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Certifico que la presente tesis es original de su autor y fue elaborada en su totalidad y ha sido concluida y puede continuar con el trámite correspondiente.

EL TUTOR

.....  
Ing. Mg. Segundo Espín

## **AUTORÍA**

El contenido del presente trabajo de investigación desarrollada bajo el tema “ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE PIEZAS FUNDIDAS EN ALUMINIO MEDIANTE CERA PERDIDA Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD”, así como las ideas, análisis, conclusiones y propuestas son de exclusiva responsabilidad del autor.

.....  
Egda. Pamela Katerine Solórzano Saltos  
C.I. 020188818-7

## **DEDICATORIA**

Agradezco de todo corazón a Dios y a mis padres Alvaro y Carmen por regalarme la vida, y por ser mis fuerzas y ganas de seguir adelante sin mirar atrás, sobre todo ser una parte muy fundamental en mi vida, a mis hermanos, por estar siempre conmigo y brindarme su apoyo, a mi esposo Iván por ser un complemento en mi vida y a mi hijo Ían por sus locuras y sus sonrisas que alegran mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por haberme dado la vida y darme la dicha de tener unos padres tan buenos y comprensibles quienes se han esforzado mucho por darme lo mejor y estar siempre presentes, a la Universidad Técnica de Ambato, a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, a sus profesores y en especial al Ingeniero Segundo Espín por su apoyo y sobre todo su comprensión, que supo guiarme en el desarrollo de este trabajo

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>PÁGINAS PRELIMINARES</b>	<b>PÁGINAS</b>
Página de Título	I
Página de aprobación del Tutor	II
Autoría	III
Página de dedicatoria	IV
Página de agradecimiento	V
Índice de contenidos	VI
Índice de figuras	XII
Índice de tablas	XIV
Resumen Ejecutivo	XVI

## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA

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
1.2.6.1 Delimitación del contenido	4
1.2.6.2 Delimitación Espacial	4
1.2.6.3 Delimitación temporal	4

1.3	Justificación	4
1.4	Objetivos	5
1.4.1	Objetivo General	5
1.4.2	Objetivos específicos	5

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1	Antecedentes Investigativos	6
2.2	Fundamentación Filosófica	9
2.3	Fundamentación Legal	9
2.4	Fundamentación teórica	10
2.4.1	Aluminio	10
2.4.1.1	Obtención del aluminio	11
2.4.1.2	Propiedades físicas del aluminio	12
2.4.2	Materiales metálicos	14
2.4.2.1	Propiedades de los metales	14
a)	Propiedades físicas	14
b)	Propiedades mecánicas	16
2.4.2.2	Punto de fusión de los metales	17
2.4.3	Tipos de fundiciones	21
2.4.3.1	Tipos de hornos	23
2.4.3.2	Problemas de fundición	24
2.4.3.3	La fundición de metales y aleaciones	25
2.4.3.4	Aleaciones para colada	25
2.4.3.5	Recocido del aluminio y sus aleaciones	26
2.4.3.6	Requisitos principales de un metal fundido antes del vaciado	26
2.4.3.7	Tamaño de grano	28
2.4.3.8	Clasificación del tamaño de grano	28
2.4.3.9	Granos y límites de granos	29

2.4.3.10 Crecimiento del grano	29
2.4.3.11 Ensayo de tracción	35
2.4.3.12 Dureza	36
2.4.3.13 Dureza Brinell	38
2.4.4 Cera perdida	40
2.4.4.1 Técnica de la cera perdida	41
2.4.4.2 Preparación y manejo de las ceras	43
2.4.3.3 Fundición a cera perdida	45
2.4.4.4 Densidad del metal y la cera	47
2.4.4.5 Proceso de la obtención de las piezas	47
2.5 Categorías fundamentales	50
2.6 Hipótesis	50
2.7 Señalamiento de variables	50
2.7.1 Variable independiente	50
2.7.2 Variable dependiente	50
2.7.3 Términos de relación	50

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

3.1 Enfoque	51
3.2 Modalidad y tipo de investigación	51
3.2.1 Modalidad de la investigación	51
3.2.1.1 Investigación de campos	52
3.2.1.2 Investigación bibliográfica	52
3.2.1.3 Investigación experimental	52
3.2.2 Nivel o tipo de investigación	52
3.2.2.1 Exploratoria	52

3.2.2.2 Descriptiva	52
3.2.2.3 Experimental	53
3.3 Población y muestra	54
3.3.1 Población	53
3.3.2 Tipo de muestra	53
3.3.2.1 Tamaño de muestra para la realización del estudio	53
3.4 Operacionalización de variables	56
3.4.1 Variable independiente	56
3.4.2 Variable dependiente	57
3.5 Técnicas de la recolección de información	58
3.5.1 Observación	58
3.6 Procesamiento y análisis	58
3.6.1 Plan de procesamiento de la información recogida	58
3.6.2 Plan de análisis e interpretación de resultados	59

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1 Proceso de análisis de resultados	60
4.2 Presentación de resultados	63
4.2.1 Evaluación de las probetas de aluminio mediante el método de la cera perdida	64
4.2.2 Evaluación de las probetas de aluminio puro utilizando el método de la parafina para la obtención de piezas	83
4.2.2.1 Comparación del índice de porosidad encontrada en las probetas mediante el moldeo en yeso, el moldeo en arena	90
4.3.3 Ensayos de tracción del Aluminio electrolítico fundido a 660°C	92
4.4 Interpretación de resultados	97
4.5 Verificación de la hipótesis	100

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 Conclusiones	102
5.2 Recomendaciones	103

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA**

6.1 Datos informativos	105
6.2 Antecedentes de la propuesta	105
6.3 Justificación	106
6.4 Objetivos	108
6.4.1 Objetivo general	106
6.4.2 Objetivos específicos	106
6.5 Análisis de factibilidad	107
6.5.1 Análisis económico	107
6.5.1.1 Costos directos	107
6.5.1.2 Costos indirectos	108
6.6 Fundamentación	111
6.7 Metodología	112
6.7.1 Adquisición del materia	113
6.7.1.1 Adquisición de la cera perdida	113
6.7.1.2 Aluminio	113
6.7.2 Obtención de piezas	114
a) Pasos para el diseño de figuras complejas	121
1 Extracción del molde	121
2 Obtención del líquido de la cera perdida	122
3 Realización de la figura en cera perdida	123
4 Obtención de la figura o pieza en cera perdida	123

5 Se realiza el molde con yeso	123
6 Secado	124
7 Colocar el metal fundido en el molde ya seco	125
8 Pieza	125
6.7.3 Obtención de la probeta para ensayos	126
6.7.4 Maquinado de las probetas	126
6.7.5 Mecanizado de las probetas	126
6.7.6 Realización del ensayo de tracción	128
6.7.6.1 Cálculo para el área inicial	131
6.7.6.2 Cálculo del área final de la probeta	131
6.7.6.3 Cálculo del porcentaje de alargamiento	131
6.7.6.4 Cálculo del porcentaje de la reducción de área	132
6.7.6.5 Cálculo de la resistencia última a la tracción	132
6.7.7 Preparación de la probeta	132
6.7.7.1 Desbaste grueso	132
6.7.7.2 Desbaste fino	133
6.7.7.3 Pulido grueso	133
6.7.7.4 Pulido fino	134
6.7.8 Ataque químico de la superficie	134
6.7.9 Evaluación y resultados	135
6.7.10 Ejecución del ensayo de dureza	138
6.8 Administración	140
6.9 Previsión de la evaluación	141
6.10 Bibliografía	142
6.10.1 Bibliografía de libros	142
6.10.2 Bibliografía de la biblioteca virtual U.T.A	142
6.10.3 Bibliografía de la página WEB	142
Anexos	144

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

### FIGURAS

Figura 2.1. Estructura cubica centrada en las caras	13
Figura 2.2. Como se realiza un molde para una fundición	27
Figura 2.3 Proceso de la solidificación	29
Figura 2.4. Representación esquemática del crecimiento de grano por difusión atómica	30
Figura 2.5. Método de comparación	32
Figura 2.6 Procedimiento planimétrico	33
Figura 2.7 Conteo de granos dentro de un área	33
Figura 2.8. Procedimiento de intersección	34
Figura 2.9. Conteo de granos interceptados por una línea de ensayo	34
Figura 2.10. Maquina de ensayo de tracción	35
Figura 2.11. Curva de tracción	36
Figura 2.12. Diagrama tensión- deformación del aluminio	36
Figura 2.13. Diferentes ensayos de dureza	37
Figura 2.14 Símbolos que describen la dureza Brinell	38
Figura 2.15. Cera de abeja, cera de castilla, cera amarilla o cera virgen	41
Figura 2.16 Parafina	42
Figura 2.17 Colofonia o brea seca	43
Figura 2.18 Colada a la cera perdida	46
Figura 4.1 Comparación de dureza de piezas en aluminio mediante la cera perdida	97
Figura 4.2. Comparación de dureza de piezas en aluminio mediante la parafina	98
Figura 4.3. Resistencia a la tracción última con probetas de aluminio electrolítico fundidas en un horno a gas y horno de inducción	98
Figura 4.4. Elongación de las probetas realizadas por el método de la arena fundido en el horno de inducción	99

Figura 4.5 Determinación del tamaño de grano mediante cera perdida	100
Figura 6.1 Costos para la realización de ensayos por los métodos cera perdida Vs parafina	109
Figura 6.2 Costos para la realización de ensayos metalográficos	110
Figura 6.3. Cera perdida, cera amarilla o cera de abeja	113
Figura 6.4. Aluminio electrolítico (cables de luz)	113
Figura 6.5 Pieza mecánica	116
Figura 6.6 Molde en yeso de la pieza mecánica	116
Figura 6.7 Preparación de la cera	11
Figura 6.8 Colocación de la cera en el molde	117
Figura 6.9 Piezas en cera perdida	118
Figura 6.10 Unión de piezas de cera	118
Figura 6.11 Molde en yeso	119
Figura 6.12 Secado del molde	119
Figura 6.13 Fundición del aluminio	120
Figura 6.14 Colocación del aluminio fundido en el molde	120
Figura 6.15 Pieza final	121
Figura 6.16 Diseño de figuras complejas en cera perdida	121
Figura 6.17 Obtención del negativo de la figura	122
Figura 6.18 Cera perdida o cera de abeja	122
Figura 6.19 Líquido de la cera perdida	122
Figura 6.20 Proceso de obtención de la figura con el negativo	123
Figura 6.21 Figura en cera perdida	123
Figura 6.22 El moldeo en yeso	124
Figura 6.23 Secado en el horno de mufla	124
Figura 6.24 Obtención de la cera al momento en que se está secando el molde	125
Figura 6.25 Aluminio fundido y colocación en el molde por el bebedero	125
Figura 6.26 Rotura del molde de yeso y se obtiene la figura deseada	126
Figura 6.27. Ejes de aluminio electrolítico	126
Figura 6.28. Ensayo de tracción, dimensiones	127

Figura 6.29. Probeta de Aluminio electrolítico	127
Figura 6.30. Probeta de Aluminio electrolítico para realizar el ensayo	128
Figura 6.31. Acoplamiento de la probeta en la Máquina Universal Tinius Olsen capacidad de 30 toneladas	128
Figura 6.32. Probeta después de haber realizado el ensayo de tracción	129
Figura 6.33. Probeta obtenida de la probeta de Aluminio	132
Figura 6.34. Desbaste fino (banco de cuatros lijas)	133
Figura 6.35. Desbaste fino en el banco de lijas utilizando alumina	133
Figura 6.36. Pulidora de paño	134
Figura 6.37. Reactivo Aleación de Aluminio	134
Figura 6.38. Microscopio con cámara digital	135
Figura 6.39. Computador con interfaz al microscopio	135
Figura 6.40. Durómetro FICM	138
Figura 6.41. Medidor manual FICM	138

## TABLAS

Tabla 2.1. Tabla de las propiedades del aluminio puro	11
Tabla 2.2. Comparación de las propiedades del aluminio e del acero	11
Tabla 2.3. Constantes del aluminio	12
Tabla 2.4. Muestra los puntos de fusión más comunes de los metales	17
Tabla 2.5. Gravedad específica, punto de fusión y peso de metales y Aleaciones	18
Tabla 2.6. Densidad de los metales	19
Tabla 2.7. Peso y aleaciones de los metales	20
Tabla 2.8. Designación y aliantes mayoritarios de las aleaciones de aluminio para colada	26
Tabla 2.9. Factor de corrección Q	32
Tabla 2.10. Tabla de selección de los grados de fuerza	39
Tabla 2.11. Tabla de selección de diámetro	39
Tabla 3.1. Como analizar correctamente	58

Tabla 4.1 Conteo de poros	99
Tabla 6.1 Costos para realizar la obtención de piezas en aluminio mediante cera perdida	107
Tabla 6.2 Costo total de la inversión inicial para realizar los ensayos mediante el método de la cera perdida	108
Tabla 6.3 Costo total de la inversión para realizar los ensayos mediante el método de la parafina	108
Tabla 6.4 Costos finales en que se va a invertir para realizar los ensayos	108
Tabla 6.5 Costo total para el ensayo metalográfico mediante la cera perdida, Parafina que se utilizo para la obtención de piezas en aluminio	109
Tabla 6.6 Costo de cada una de las piezas diseñadas por el método de la cera perdida y la parafina	111
Tabla 6.7 Dimensiones establecidas para la obtención de probetas	127
Tabla 6.8. Administración de tesis	140

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El presente trabajo se logro realizar con una investigación basada en bibliografías, pruebas y ensayos, los cuales se pudo realizar en los Laboratorios de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Para el desarrollo de este trabajo se ha empezado por determinar cual método es el apropiado para desarrollar piezas mecánicas, en la que se logro determinar que los modelos se pueden desarrollar mediante la cera perdida ya que nos permite tallar o dar un acabado perfecto en el modelo, y además nos resulta mas conveniente realizar mediante el moldeo en yeso ya que se reduce la porosidad y evita inconvenientes a las personas que se dedican a la fundición en industrias, al pequeño artesano y con las personas involucradas con este tema para perfeccionar el acabado en piezas mecánicas optimizando de esta manera su incidencia en la calidad, y en los recursos económicos, tecnológicos y humanos.

Finalmente se logro determinar un procedimiento el cual nos servirá de guía para el desarrollo correcto de obtención de piezas en aluminio, además este trabajo se lo ha desarrollado bajo las normas aplicables a esta investigación.



# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1- TEMA DE INVESTIGACIÓN**

“ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE PIEZAS FUNDIDAS EN ALUMINIO MEDIANTE CERA PERDIDA Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD”

### **1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN**

A nivel mundial la evolución en la actualidad se dio en el siglo xx que se han enfocado para sus fines que venían utilizando los artistas y los joyeros en el desarrollo de piezas mediante la utilización de cera perdida, por esta razón las propiedades de los metales y las investigaciones de las aleaciones más resistentes a la corrosión.

Este nuevo método nace de la necesidad de los artesanos que tenían para la obtención de partes. Por ejemplo hoy en día en las pequeñas industrias y joyerías es necesaria la utilización de cera perdida ya que se pueden obtener el material de buena calidad.

En el Ecuador se realizaba la fundición de piezas para aquellas personas que necesitaban para la obtención de otros tipos de modelos de un objeto, estos se los elaboraban a través de modelos de la cera perdida ya que se podían obtener reproducciones fundidas de pequeños objetos y así poder realizar cualquier tipo de modelos ya sean para su venta y obtener un poco de capital. Por esta razón se fueron desarrollando distintos tipos de hornos para poder realizar la práctica con la cera perdida con el fin de poder ampliar dicha necesidad.

Además por la necesidad que tenían aquellos artesanos en la antigüedad del desarrollo de piezas, que han abarcado muchos aspectos para la elaboración más sencilla, sería mediante el método de la cera perdida; por esta razón en el Ecuador se han desarrollado pequeños hornos industriales y de la utilización de la cera perdida con la finalidad de obtener más rápido las piezas.

Por ello es importante señalar que el conocimiento técnico del método de la cera perdida nunca ha sido estático ya que se han ido obteniendo avances tecnológicos con el fin de producir productos útiles en una manera económica y eficaz. Una de las propiedades más importantes es la capacidad de los fundidores ya que prueban nuevos procedimientos, incluyendo técnicas inventadas y otras adoptadas y una de las más importantes que esto se ha ido evolucionando mucho mejor gracias a la tecnología.

Con el estudio de este procedimiento se pretende beneficiar al laboratorio de materiales acerca de la obtención de modelos en cera perdida de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, permitiendo que los procesos de fundición sean óptimos y de esta manera se pueda obtener piezas con mayor calidad.

Además las maquinarias han sido modificadas e innovadas con el fin de obtener un mejor acabado en la obtención de las piezas por medio de la cera perdida, para así poder realizar el trabajo cada vez con mucha más exactitud y sin problemas.

### **1.2.2.- ANÁLISIS CRÍTICO**

La necesidad que se ha ido presentando desde la antigüedad hasta la actualidad en los artesanos, se debe sobre el poco interés de las personas al poder analizar un nuevo método con el fin de obtener nuevas piezas, por esta razón se han elaborado hornos especialmente con el fin de poder aplicar la cera perdida ya que actualmente pueden ser de mucha necesidad en universidades e industrias con la finalidad de facilitar y mejorar el tiempo de proceso.

El limitado estudio de piezas fundidas en aluminio mediante cera perdida a provocado mucho interés en personas que elaboran piezas u objetos mediante este

nuevo método, por esta razón la utilización de equipos y máquinas representa una gran mejora en la producción y la calidad del producto final.

### **1.2.3.- PROGNOSIS**

Por la falta de un estudio de la obtención de piezas fundidas en aluminio mediante cera perdida y su incidencia en la calidad, causará el desinterés en el avance de la obtención de nuevas piezas a base de la cera perdida que tienen aplicaciones en la industria; por esta razón al no tomar decisiones inmediatas y al no presentarse alguna solución a estos problemas que se han venido presentando hace mucho tiempo atrás, se podrían presentar daños mucho mayores hacia los artesanos que han venido realizado sus objetos manualmente y sobre todo presentar grandes pérdidas económicas, por lo cual se realizaría la reducción de piezas hacia el mercado.

Sobre este tema se debería presentar formas más sencillas de la obtención de piezas por medio de cera pérdida, con el fin de evitar pérdidas humanas y económicas ya que hoy en día las personas de muchas industrias dependen de este tipo de procedimiento por su gran fiabilidad.

### **1.2.4.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Qué otros tipos de parámetros nos podrá facilitar la utilización de cera perdida con el fin de obtener piezas nuevas y de buena calidad?

### **1.2.5.- PREGUNTAS DIRECTRICES**

¿Qué parámetros se deberán tomar en cuenta para obtener piezas fundidas por el método de cera perdida?

¿Con el método de cera perdida se obtendrán piezas fundidas de calidad?

¿Qué proceso es el más apropiado para la obtención de piezas por cera perdida?

¿El método de cera perdida podrá ser aplicado en nuestro País?

¿Qué sucedería al no ser aplicado correctamente la cera perdida al momento de la elaboración de la pieza?

¿Los procedimientos de fundición son los correctos?

## **1.2.6.- DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.6.1.- DELIMITACIÓN DE CONTENIDO**

El estudio de la obtención de piezas mediante cera perdida está delimitado en el campo de la fundición, área de materiales, ingeniería mecánica y en el diseño de nuevos procesos para la elaboración de elementos mecánicos.

### **1.2.6.2.- DELIMITACIÓN ESPACIAL**

Se realizó un estudio de la obtención de piezas fundidas en aluminio mediante cera perdida y se determinó el proceso, el mismo que será mucho más sencillo y económico, fue realizado en el laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi.

### **1.2.6.3.- DELIMITACIÓN TEMPORAL**

La ejecución de esta investigación sobre el estudio de obtención de piezas fundidas en aluminio mediante cera perdida se desarrollo en el periodo Enero 2012- Mayo 2013.

## **1.3.-JUSTIFICACIÓN**

En los trabajos que se realizaban antiguamente se debía tener mucho cuidado y sobre todo era de mucha utilización de material, se los realizaban en la casa o en pequeños talleres, por esta razón en la actualidad se han utilizado hornos pequeños, y sobre todo que nos da una gran facilidad para la elaboración de las piezas mediante la cera perdida, por la que es mucho más sencilla y se necesita de un método más fácil para la producción de piezas, por tal motivo se realizo el estudio de la obtención de piezas fundidas y se mejoro el procedimiento para aumentar la producción y mejorar la calidad del producto final.

Una de las razones por la que se justificó realizar el proyecto, estudio de obtención de piezas fundidas en aluminio mediante cera perdida, se debe a la necesidad que se ha venido presentando desde hace mucho tiempo atrás, con el fin de implementar un nuevo método para la obtención de piezas o de otra forma de elaboración y que sea de mucha facilidad tanto para industrias como para laboratorios de la Universidad y sobre todo aumentar su interés con relación a este tema.

La ejecución de este proyecto nos permitió sobre todo dar a conocer sobre este nuevo método a los estudiantes de la Universidad Técnica de Ambato, Carrera de Ingeniería Mecánica, con el fin de que puedan desarrollar nuevos diseños de piezas y un desarrollo que podrá evitar daños hacia la persona, y pérdidas mayores de materiales con el fin de poder emplear menor tiempo para realizar el proceso y una de las importantes es la vida útil de la máquina y la calidad del producto.

#### **1.4.- OBJETIVOS**

##### **1.4.1.- Objetivo general**

- Realizar el estudio de un proceso para la obtención de piezas fundidas en aluminio mediante cera perdida para mejorar su calidad.

##### **1.2.2.-Objetivos específicos**

- Analizar los parámetros necesarios para la obtención de piezas fundidas mediante cera perdida.
- Obtener las probetas mediante cera perdida bajo las normas ASTM-E8, para realizar ensayos de tracción.
- Determinar las propiedades mecánicas de las piezas obtenidas.
- Obtener piezas mecánicas que son difíciles de fabricar por otros métodos.
- Determinar los defectos que se pueden presentar en la pieza.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1.- ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

El moldeado por cera perdida o fundición a la cera perdida es un procedimiento escultórico de tradición muy antigua que sirve para obtener figuras de metal por medio de un molde que se elabora a partir de un prototipo tradicionalmente modelado en cera de abeja. <sup>[1]</sup> (2006, Valencia A: Pág 377)

El proceso llamado fundición a la cera perdida para la fabricación de piezas, tiene una antigüedad de miles de años. En su esencia básica, el proceso consiste en la fabricación de un modelo de cera u otro material fusible, luego se construye un molde alrededor de él, entonces se funde la cera dejando una cavidad que es una réplica exacta del modelo original. <sup>[1]</sup> (2006, Valencia A: Pág 377)

El proceso de fundición por cera perdida (FCP) frente a los demás métodos de fundición, posibilita piezas de formas muy complicadas. Generalmente tampoco es necesario disponer hoyos para la obtención de aberturas o cavidades.

El proceso de fundición por cera perdida se viene utilizando desde hace tiempo para obtener reproducciones fundidas de pequeños seres vivientes o plantas, como objetos de adorno, por esta razón se han podido realizar diferentes esculturas como un gorrión, este fue recubierto con material cerámico, luego quemada y después en el espacio hueco fue vertido el bronce fundido. Es digna de señalar la fidelidad en la reproducción de los detalles, pero además se divisa la dificultad de realizar piezas de espesores delgados, llegando a ser inclusive macizas. <sup>[1]</sup> (2006, Valencia A: Pág 379)

“La fundición en cera perdida se lo utilizaba como un medio de producción de piezas metálicas, mas antiguas de la humanidad. Pueden observarse ejemplos en la misma naturaleza”

Las piezas más antiguas que se conocen fundidas por este método provienen del Asia Menor y tienen unos 4000 años. Este método fue utilizado en Egipto y en China unos 1500 años más tarde. También en Perú y Ecuador han sido desarrolladas piezas de esta índole. Es así que fueron fundidas en aluminio, recipientes, utensilios, piezas de adorno, estatuillas, entre otros. Las piezas, en parte, con paredes muy delgadas y gran riqueza ornamental. <sup>[1]</sup> (2006, Valencia A: Pág 381)

La fundición a cera perdida es un método para fabricar formas metálicas complejas al crear un molde o patrón de cerámica, con el cual se pueden crear ciertas piezas metálicas. Los minerales fundidos son una materia esencial usada en el proceso de construcción de moldes de cerámica. El molde de cerámica se construye con una variedad de materiales fundidos para permitir que resista la exposición a temperaturas muy altas por el proceso de caldeo y colada. Luego que se desprende el molde de cerámica, la pieza metálica se revela y en muchas ocasiones se necesita pulir o acabar con un material abrasivo.

Nuestros productos minerales fundidos, el óxido de aluminio café y la espinela fundida, se utilizan en la construcción de moldes y en el acabado metálico de la pieza del proceso de fundición a cera perdida. Muchas piezas metálicas o de aleación se fabrican con la fundición a cera perdida.

En el proceso de reproducción se conjugan dos factores muy importantes, una técnica depurada con el paso de los años, y una elaboración artesanal, que dan a cada pieza un trato individualizado. Se utiliza este método, por su probada fiabilidad a la hora de reproducir cualquier superficie. La calidad del bronce una vez terminado es la copia exacta de la obra que salió de manos del artista, cumpliendo por lo tanto con las máximas exigencias.

La Micro fusión o Cera Perdida es una técnica de reproducción de piezas iguales, a partir de un modelo original. Por este medio es posible reproducir cualquier diseño de joyería de manera múltiple.

La fundición a la cera perdida es una técnica o proceso que se emplea para obtener piezas de configuración complicadas, esta tecnología es muy empleada en joyería, fundición artística y otras ya que en una serie de casos elimina el labrado por corte. Para obtener una pieza por medio de la fundición a la cera perdida lo primero que se debe hacer es seleccionar los materiales para la confección de los modelos, o sea, la pieza a obtener.

Todo el proceso a la cera perdida se desarrolla teniendo en cuenta dos factores: Factor técnico, los materiales y medios han evolucionado hasta una mayor calidad a través del tiempo. Factor artesanal, aquí siempre el proceso sigue un trato de artesanía exclusiva para cada pieza. <sup>[2]</sup> (Robert E: Pág 110)

El método a la cera perdida es, sin duda, el más utilizado para la creación de grandes y pequeñas obras en bronce, dado su gran fiabilidad para copiar cualquier superficie y así poder conseguir la mejor copia del original.

En cuanto a la cera, está esencialmente destinada a constituir el delgado espacio que el bronce ocupará a continuación, sustituyendo a la cera. Esta va a perderse en cada tirada. De ahí viene el nombre de este sistema. <sup>[2]</sup> (Robert E: Pág 111)

Además la cera perdida o micro fusión se denomina al más antiguo estilo de fundición de los metales. Actualmente mediante avances tecnológicos se lo ha transformado en el más moderno y versátil proceso. Los distintos métodos de moldeo pueden variar para crear piezas únicas o producción masiva, por esta razón la cera perdida o micro fusión fue la solución para muchas piezas complejas con superficies planas, dimensiones precisas y pequeños detalles, que combinan con los conocimientos de la industria.

“En nuestros días, la cera perdida es un procesos que ha ido creciendo y desarrollando nuevos métodos para lograr mayor precisión, diseños difíciles de obtener con el fin de satisfacer la creciente demanda de mejorar la calidad”

## **2.2.- FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA**

Lo que nos guió a la investigación es el medio científico por lo cual se podrá obtener información relevante y fidedigna es decir que podamos entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento.

Dicha investigación nos ayudó a mejorar el estudio porque permitió establecer contacto con la realidad y sobre todo su finalidad fue radicar en formulas nuevas o modificar las existentes, además nos condujo eficazmente mediante una serie de elementos que hicieron accesible el objeto al conocimiento y de cuya sabia elección y aplicación, lo que dependió en gran medida del éxito del trabajo y del proyecto que se desarrolló.

Una de las finalidades más importantes al desarrollo de este proyecto fue obtener conocimientos y solucionar problemas que se presenten ya sean científicos, filosóficos o técnicos por la cual se desarrolló mediante un proceso como es la del estudio de la obtención de piezas fundidas en aluminio mediante cera perdida para mejorar la calidad, tiempo y la producción, por esta razón en la actualidad es posible un mejor estudio de las funciones y las propiedades que ofreció el método de cera perdida.

## **2.3.- FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

Las normas que se aplicaron en el estudio son las siguientes:

ASTM B26.- Especificación estándar para fundiciones en arena de aleaciones de aluminio.

ASTM B85 Especificación estándar para fundiciones de aleaciones de aluminio.

ASTM B108 Especificación estándar para fundiciones de aluminio moldes permanentes.

ASTM E112 Especificación en las mediciones micro estructurales cuantitativas más comunes en el tamaño de grano de metales y aleaciones.

ASTM E3 Especificación en muestras o análisis metalográficas.

ASTM E21 Pruebas de temperaturas y tensión de materiales metálicos.

ASTM E8 Especificaciones para los ensayos de tracción.

## **2.4.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.4.1 ALUMINIO**

“El Aluminio es un metal no ferroso de gran importancia, dada su combinación poco usual de ligereza y resistencia por lo que tiene muchos usos en los que otros metales no son adecuados. Considerado sobre la base de peso por peso, el aluminio tiene el doble de conductividad del Cu y tiene también una alta ductilidad a temperaturas elevadas. El aluminio esta aleado, por lo general con otros metales como cobre, Mg, Zn, Si, Cr y Mn, lo que aumenta su utilidad. <sup>[3]</sup> (Gonzales V: Pág 172)

El aluminio metálico o sus aleaciones, en particular las de magnesio, se emplean en estructuras para aviones, automóviles, camiones y vagones de ferrocarril, para conductores eléctricos y para partes estructurales fundidas y forjadas. Cuando se utiliza de manera correcta el aluminio resiste muy bien la corrosión. Su resistencia y su ductilidad aumentan a temperaturas por debajo de cero, que es lo opuesto de lo que sucede con el hierro y el acero”.

**Tabla 2.1 Tabla de las propiedades del aluminio puro**

Propiedades del Aluminio	
Estructura cristalina	FCC
Densidad	2700
Temperatura de fusión (°C)	660
Temperatura de ebullición (°C)	2467
Calor específico ( $\frac{J}{kg.K}$ )	900
Coefficiente de dilatación térmica	23,5
Conductividad térmica (W/m.K)	338
Conductividad eléctrica	64
Resistencia a la corrosión	Buena
Modulo de elasticidad (Gpa)	70
Resistencia a la tracción (Mpa)	700
Color	Plateado - Blanco

**Fuente:** Gonzales V, Mancini, Héctor L. (2005). Ciencia de los materiales

**Tabla 2.2 Comparaciones de las propiedades del Aluminio y del Acero**

PROPIEDADES	ACERO	ALUMINIO
Limite elástico $\frac{kg}{mm^2}$	35 - 41	12
Módulo de elasticidad $\frac{kg}{mm^2}$	23	10
Alargamiento (%)	20.000	7.000
Dureza (HB)	25 - 37	11
Conductividad térmica $W/m^{\circ}K$	50 - 67	15
Resistencia eléctrica $\Omega mm^2/m$	58	235
Coefficiente de dilatación lineal $1/^{\circ}K$	0,13	0,02655
	$12 \times 10^{-6}$	$23,6 \times 10^{-6}$

**Fuente:** Neely J. (2002). Metalurgia y materiales industriales México. Tomo I. Editorial Linusa S.A,

#### 2.4.1.1 OBTENCIÓN DEL ALUMINIO

El procedimiento utilizado con preferencia para la obtención del aluminio electrolítico es la electrolisis en fusión. Para ello se disuelve oxido de aluminio a unos 950 grados centígrados en una mezcla fundida de fluoruro de aluminio y criolita y se desdobra mediante corriente continua en aluminio puro y oxígeno. El aluminio líquido se aspira periódicamente y se vacía en moldes. <sup>[3]</sup> (Gonzales V: Pág 176)

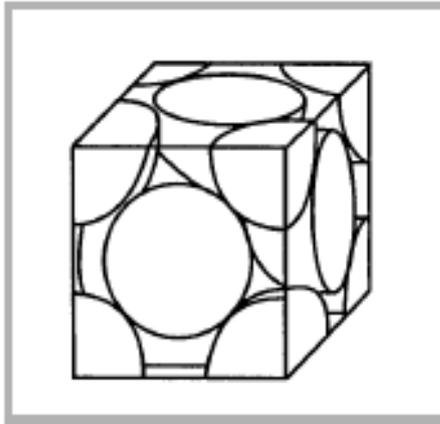
**Tabla 2.3 Constantes del Aluminio**

Símbolo	Al
Numero atómico	13
Peso atómico	26,98
Cristaliza en la red cubica centradas en las caras	$a=4.04 \cdot 10^{-8}$ cm
Peso especifica	2,699
Conductividad eléctrica a 20°	34.6 m/Ohm./ mm <sup>2</sup> 2,655*10 <sup>-6</sup> Ohm
Resistencia eléctrica a 20°	cm <sup>2</sup> /cm
Conductividad calorífica a 0°	0,53 cal/cm.* S.* °C
Coefficiente de dilatación lineal de 20 a 100°	23.6 *10 <sup>-6</sup> °C*
Punto de fusión	660
Calor latente de fusión	94,5 calorías/gr
Calor especifico medio	0.215 cal/g.°C
Punto de ebullición	2450 °C
Calor de combustión	380.8K cal/mol
Equivalente electroquímico	0.3354 gr/Amp.Hora
Modulo de elasticidad	7200 Kg/mm <sup>2</sup>
Resistencia a la tracción, fundido	9 – 12 Kg/mm <sup>2</sup>
Resistencia a la tracción, recocido (blando)	7 – 11 Kg/mm <sup>2</sup>
Resistencia a la tracción, laminado (duro)	18 – 28 Kg/mm <sup>2</sup>
Dureza fundido	24 – 32 HB
Dureza recocido	15 – 2 HB
Dureza laminado duro	45 – 60 HB
Alargamiento fundido	18 – 25%
Alargamiento laminado duro	3 – 5%
Contracción en la solidificación fundido en arena	1,6%
Contracción en la solidificación fundido en coquilla	1,83%

**Fuente:** Neely J. (2002) Metalurgia y materiales industriales México. Tomo I. Editorial Linusa S.A,

### 2.4.1.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL ALUMINIO

El aluminio es un material blanco y brillante, que una vez pulido se asemeja en su aspecto con la plata. Cristalizando en una red cúbica centradas en las caras, su peso especifico es de 2,699 Kg/dm<sup>3</sup>, casi tres veces mas pequeño que el del hierro y ligeramente mayor que el magnesio. Su conductividad eléctrica es un 60% superior a la del cobre y 3,5 veces la del hierro. Su punto de fusión es de 660 °C, con una temperatura de ebullición de 2.450 °C. Este punto de fusión, relativamente bajo, facilita su conformación mediante fusión y moldeo. <sup>[3]</sup> (Gonzales V: Pág 180)



**Figura 2.1 Estructura cubica centrada en las caras**

**Fuente:** Neely J. (2002). Metalurgia y materiales industriales México. Tomo I. Editorial Linusa S.A

En general se pueden establecer un análisis entre las diferentes propiedades del aluminio con el acero, respecto a su resistencia, elasticidad, dureza, conductividad térmica y coeficiente de dilatación lineal.

### **Resistencia**

La resistencia a la tracción del aluminio es de  $12 \text{ kg/mm}^2$ , notablemente inferior a la resistencia mecánica del acero, lo que hace que deba ser tratado para que aumente.

### **Elasticidad**

El límite elástico del aluminio es de  $40 \text{ kg/mm}^2$ , notablemente inferior que el del acero, con lo que su tendencia a la recuperación de la forma inicial es menor. Ello da origen a un comportamiento frágil. <sup>[3]</sup> (Gonzales V: Pág 187)

### **Dureza:**

El aluminio es mas blando que el acero, por esta razón, el golpeteo directo del martillo sobre las herramientas de sufrir pueden dar origen a estiramientos con cierta facilidad, por este motivo la dureza del aluminio es mucho más baja que la del acero.

### **Conductividad térmica:**

La conductividad térmica del aluminio es de  $235 \text{ W/m}^\circ\text{K}$  aproximadamente cuatro veces superior a la del acero.

### **Resistencia eléctrica:**

La resistencia eléctrica del aluminio, al igual que la térmica, es mucho más baja que el acero; en concreto es de  $0,02655 \Omega mm^3/m$ ; es decir unas cinco veces más bajas.

### **Coefficiente de dilatación lineal:**

“El aluminio tiene un coeficiente lineal de  $23,6 \times 10^{-6} 1/^\circ K$ , es decir que puede variar su temperatura, es el doble que el acero”

## **2.4.2 MATERIALES METÁLICOS**

Estos materiales son sustancias inorgánicas compuestas por una o más elementos metálicos y pueden contener algunos elementos no metálicos. Son ejemplos de elementos metálicos el hierro, el cobre, el aluminio, el níquel y el titanio. Los materiales metálicos pueden contener elementos no metálicos como carbono, nitrógeno y oxígeno. Los metales tienen una estructura cristalina en la que los átomos están dispuestos de manera ordenada. <sup>[4]</sup> (1978, Reed: Pág 47)

En general, los metales son buenos conductores térmicos y eléctricos. Muchos metales son relativamente resistentes y dúctiles a la temperatura ambiente y presentan alta resistencia, incluso a altas temperaturas.

Los científicos e ingenieros especializados en materiales buscan constantemente mejorar las propiedades de las aleaciones actuales y diseñar y producir nuevas aleaciones con mejores propiedades de fuerza, resistencia a altas temperaturas, deformación y fatiga. Las aleaciones actuales pueden perfeccionarse con mejores técnicas químicas, controlando la composición y las técnicas de procesado.

### **2.4.2.1 PROPIEDADES DE LOS METALES**

“Las propiedades de los metales se clasifican en físicas y mecánicas.  
**a) Las propiedades físicas:** dependen del tipo de aleación y las más importantes son:

·Peso específico

- .Calor específico
- Dilatación térmica
- Temperatura de fusión y solidificación
- Conductividad térmica y eléctrica
- Resistencia al ataque químico

### **Peso específico**

El peso específico puede ser absoluto o relativo: el primero es el peso de la unidad de volumen de un cuerpo homogéneo. El peso específico relativo es la relación entre el peso de un cuerpo y el peso de igual volumen de una sustancia tomada como referencia; para los sólidos y líquidos se toma como referencia el agua destilada a 4°C.

### **Calor específico.**

Tiene la capacidad de elevar la temperatura desde 1 °C de 1 Kg de una sustancia, además el calor específico se lo considera como un intervalo de temperaturas

### **Punto de fusión.**

Es la temperatura a la cual un material pasa del estado sólido al líquido, transformación que se produce con absorción de calor. El punto de solidificación es la temperatura a la cual un líquido pasa al estado sólido, durante la transformación hay cesión de calor. Casi siempre coinciden los puntos de fusión y de solidificación.

### **Calor latente de fusión.**

Es el calor necesario para vencer las fuerzas moleculares del material (a la temperatura de fusión) y transformarlo de sólido en líquido.” <sup>[5]</sup> (2009, Molera: Pág 277)

### **Resistencia a la corrosión.**

La corrosión de los metales puede originarse por:

- Reacciones químicas con los agentes corrosivos
- Reacciones electroquímicas producidas por corrientes electrolíticas generadas en elementos galvánicos formados en la superficie con distinto potencial. Las corrientes electrolíticas se producen con desplazamiento de iones metálicos.

La corrosión electrolítica puede producirse por:

- Heterogeneidad de la estructura cristalina
- Tensiones internas producidas por deformación en frío o tratamientos térmicos mal efectuados.
- Diferencia en la ventilación externa

La protección de los metales contra la corrosión puede hacerse por:

- Adición de elementos especiales que favorecen la resistencia a la corrosión.
- Revestimientos metálicos resistentes a la corrosión
- Revestimientos con láminas de resinas sintéticas o polímeros.

## **b) Propiedades mecánicas**

“Se denomina propiedades mecánicas a la forma en que los materiales responden a la aplicación de fuerzas. Este comportamiento depende del tipo de enlace interatómico, la disposición de los átomos o moléculas en estructuras cristalinas, el tipo y número de imperfecciones (que están siempre presentes en los sólidos) y de la micro estructura granular.

Según el mecanismo que opera en su deformación bajo las cargas aplicadas, los materiales de ingeniería se pueden clasificar en tres grupos principales: visco elástico, como el hormigón, elástico, como el caucho, y elastoplásticos, entre los que se encuentra el importante grupo de materiales metálicos estructurales. Como la selección del material para una aplicación específica depende de sus propiedades mecánicas, es importante conocer algunos de los ensayos empleados para medirlas y entender el significado de la información obtenida con ellos.

Uno de los ensayos más útil para evaluar las propiedades metálicas es el ensayo de tracción. Determina su resistencia a la tracción, en una máquina de ensayos donde se somete a una fuerza de tracción uniaxial  $F$  que va aumentando hasta que la probeta se rompa, se mide con un extensómetro el alargamiento. Para que se cumpla la condición de uniaxialidad, la probeta debe estar bien alineada con respecto a las mordazas, esto es muy importante en materiales frágiles” [5] (2009, Molera: Pág 290)

#### 2.4.2.2 PUNTO DE FUSIÓN APROXIMADO DE LOS METALES:

**Tabla 2.4 Muestra los puntos de fusión de los metales más comunes.**

METALES	PUNTO DE FUSIÓN
Estaño	240 °C (450°F)
Plomo	340 °C (650°F)
Zinc	420 °C (787°F)
Aluminio	620°-650 °C (1150°-1200°F)
Bronce	880°-920 °C (1620°-1680°F)
Latón	930°-980 °C (1700°-1800°F)
Plata	960 °C (1760°F)
Cobre	1050 °C (1980°F)
Hierro fundido	1220 °C (2250°F)
Metal monel	1340 °C (2450°F)
Acero de alto carbono	1370 °C (2500°F)
Acero medio para carbono	1430 °C (2600°F)
Acero inoxidable	1430°C (2600°F)
Níquel	1450 °C (2640°F)
Acero de bajo carbono	1510 °C (2750°F)
Hierro forjado	1593°C (2900°F)
Tungsteno	3396 °C (6170°F)

**Fuente:** Viñas G, Héctor L. (2005). Ciencia de los Materiales

**Tabla 2.5** indica los puntos de fusión, calores específicos medios y calores latentes de fusión de algunos de los metales y aleaciones más corrientes empleados en fundición.

<b>Metal o aleación</b>	<b>Temperatura de fusión °C</b>	<b>Calor específico del sólido</b>	<b>Calor específico del líquido</b>	<b>Calor latente de fusión</b>
Estaño	232	0.056	0.061	14
Plomo	327	0.031	0.04	6
Zinc	420	0.094	0.121	28
Magnesio	650	0.25	.....	72
Aluminio	657	0.23	0.39	85
Latón	900	0.092	.....	.....
Bronce	900 a 960	0.09	.....	.....
Cobre	1083	0.094	0.156	43
Fundición gris	1200	0.16	0.20	70
Fundición blanda	1100	0.16	.....	.....
Acero	1400	0.12	.....	50
Níquel	1455	0.11	.....	58

**Fuente:** Viñas G, Héctor L. (2005). Ciencia de los Materiales

**Tabla 2.6** Tomada de la Modelización de las transformaciones de fase en caliente continuo.

<b>METAL</b>	<b>DENSIDAD</b>
Platino	21.50
Oro de 24 k	19.32
Oro de 18 k	15.58
Mercurio	13.50
Oro de 14 k	13.07
Oro de 10 k	11.57
Plomo	11.30
Plata 999	10.49
Plata 925	10.36
Cobre	9.00
Latón	8.40 a 8.70
Níquel	8.29
Hierro	7.87
Pewter	7.70
Bronce	7.40 a 8.90
Estaño	7.29
Cinc	7.10
Cromo	7.10
Aluminio	2.70

**Fuente:** García C, García A. (2005). Editorial Universidad Complutense en Madrid

**Tabla 2.7.- Gravedad específica, punto de fusión y peso de metales y aleaciones**

Tomada del Manual de Ingenieros Químicos Perry Robert Editorial Farco España

Metal	Punto de fusión		Gravedad Específica	Peso en onzas en Troy <i>pulg</i> <sup>3</sup>
	F	C		
Aluminio	1220	660	2.70	1.423
Antimonio	1167	630	6.62	3.488
Berilio	2340	1282	1.82	0.959
Bismuto	520	271	9.80	5.163
Cadmio	610	321	8.65	4.557
Carbón	-	-	2.20	1.170
Chromium	3430	1888	7.19	3.788
Cobalto	2723	1495	8.90	8.90
Cobre	1981	1083	8.96	4.719
Oro	1945	1063	19.32	10.180
18k verde	1810	988	15.90	8.375
18k amarillo	1700	927	15.58	8.211
18k Blanco	1730	943	14.64	7.712
18k rojo	1655	902	15.18	7.998
14k verde	1765	963	14.20	7.482
14k amarillo	1615	879	13.07	6.885
14k blanco	1825	996	12.61	6.642
14k rojo	1715	935	13.26	6.986
10k verde	1580	860	11.03	5.810
10k amarillo	1665	907	11.57	6.096
10k blanco	1975	1079	11.07	5.832
10k rojo	1760	960	11.59	6.106
Iridio	4449	2454	22.50	11.849
Hierro (puro)	2802	1539	7.87	4.145
Plomo	621	328	11.34	5.973
Magnesio	1202	650	1.74	.917
Manganeso	2273	1245	7.43	3.914
Molibdeno	4760	2625	10.20	5.347
Níquel	2651	1455	8.90	4.691
Osmio	4892	2700	22.50	11.854
Paladio	2831	1555	12.00	6.322
Fosforo	111	44	1.82	.959
Platino	3224	1773	21.45	11.301
Rhodio	3571	1965	12.44	6.553
Ruthenio	4500	2500	12.20	6.428

**Fuente:** García Caballero, García de Andrés. (2005). Editorial Universidad Complutense en Madrid.

### 2.4.3.- TIPOS DE FUNDICIONES

#### **“Fundición a la arena**

A partir de un modelo maestro en estereolitografía, o bien en LAB mecanizado, realizamos con nuestro socio los moldes para la obtención de piezas de fundición por moldeo a la arena. Se coloca el modelo, con las dimensiones exactas de la pieza que se quiere obtener, en un marco metálico, y se apisona en torno a este modelo la arena mezclada con la resina. Después del endurecimiento del conjunto, se vierte una aleación de aluminio o una aleación de tipo Zamak, en la huella que sólo sirve una vez. La tecnología arena permite obtener piezas de gran calidad mecánica. La fundición a la arena se reserva para las producciones en muy pequeña cantidad o a la unidad, cuando la creación de un molde metálico permanente no se justifica.

#### **Fundición por Inyección:**

La fundición en esta forma y tratándose de gran cantidad de piezas, exige naturalmente un número considerable de moldes. Es evidente que el costo de cada pieza aumenta con el precio del molde.

En las técnicas modernas para la fundición de pequeñas piezas, se aplican maquinas con moldes de metal, que duran mucho tiempo, pudiendo fundirse en ellos millares de piezas, el metal se inyecta en el molde a presión, por cuya razón este sistema se denomina por inyección. El peso de las piezas que se pueden fundir por inyección en moldes mecánicos, varía entre 0.5 gramos hasta 8 kilos. Por lo general se funden por inyección piezas de Zinc, Estaño, Aluminio, y Plomo con sus respectivas aleaciones.

La parte más delicada de la máquina para fundir por inyección es el molde. Este molde tiene que ser hecho con mucho cuidado y exactitud, tomando en cuenta los coeficientes de contracción y las tolerancias para la construcción de las piezas, de acuerdo con el metal y la temperatura con la que se inyecta.” <sup>[6]</sup> (2006, Sidney H: Pág 304)

La cantidad de piezas que pueden fundir en un molde y con una sola maquina es muy grande, además, en una hora pueden fabricarse de 200 a 2000 piezas según su

tamaño y forma, por lo tanto, repartiendo el costo del molde, de la maquina, así como también los gastos de mano de obra para la manutención del equipo y teniendo en cuenta la gran producción, a de verse que las piezas fundidas en serie por inyección resultan de bajo costos.

### **Fundición en Coquillas**

Si se echa un metal fluido en un molde permanente, fabricado de hierro o acero, se efectúa la fundición en coquillas. Este método tiene una ventaja importante en comparación con la fundición en arena; se puede fundir con la pieza misma, roscas exteriores mayores, agujeros, etc.

Las piezas coladas en coquillas tienen una superficie pareja y limpia por lo que, generalmente, no es necesario un trabajo posterior de acabado. La exactitud de la medida es mucho más grande que la fundición de arena; pero mucho menor que cuando se funde por inyección.

“Se puede obtener un grano muy fino si la pieza obtenida es mediante la fundición en coquilla, por lo que las propiedades mecánicas son mejores que las piezas obtenidas en molde de arena” <sup>[6]</sup> (2006, Sidney H: Pág 309)

### **Fundición Centrífuga**

“Mediante la fundición centrífuga se pueden obtener piezas mas económicas que por otros métodos, ya que su proceso consiste en hacer girar el molde mientras se solidifica el metal, para acomodar el metal en el molde. De esta manera se obtienen mayores detalles sobre las superficies de la pieza y adquiere propiedades físicas superiores”

### **Moldeo con yeso.**

Los moldes de yeso se usan para colar metales no férreos tales como: oro, plata, aluminio, magnesio, cobre y sus aleaciones, particularmente bronce y latón. El yeso puede emplearse como material de revestimiento en el método a la cera perdida o para moldear cajas completas en dos mitades. El material de moldeo es una lechada o papilla de yeso calcinado con adiciones de talco para evitar que se agriete el molde,

productos como el óxido de magnesio para acelerar el fraguado u otros para retardarlo.

Para obtener el molde, se vierte en una caja la lechada sobre la placa modelo, generalmente metálica y fabricada cuidadosamente. Después de unos minutos a la temperatura ambiente, la mezcla comienza a fraguar y adquiere la consistencia suficiente para que se pueda retirar el modelo. El molde se introduce en una estufa para eliminar el agua. <sup>[6]</sup> (2006, Sidney H: Pág 311)

Las ventajas del moldeo en yeso estriban en que se obtienen superficies muy bien acabadas, con perfecta reproducción de los detalles del molde, elevada precisión en las medidas (entre 0,8 y 1%), que en muchos casos elimina el mecanizado y se consiguen piezas por lo general exentas de porosidad superficial y tensiones internas. El principal inconveniente es la oxidación de los metales féreos, por lo que estos no pueden utilizarse.

#### **2.4.3.1 TIPPOS DE HORNOS**

##### **Los hornos para fusión del metal**

Pueden clasificarse convenientemente en cuatro grupos principales, según el grado de contacto que tenga lugar entre la carga y combustible o sus productos de combustibles.

. Hornos en los cuales la carga se encuentra en contacto íntimo con el combustible y los productos de combustión. El horno más importante en este grupo es el de cubilote.

· Hornos en los que la carga está aislada del combustible pero en contacto con los productos de la combustión. Este tipo de hornos es el horno hogar abierto para la fabricación de acero.

· Hornos en que la carga se encuentra aislada tanto del combustible como de los productos de la combustión. El principal es el horno que se emplea un crisol que puede calentarse ya sea por coque, gas o petróleo.

. “Horno de inducción que emplea corriente alterna y que pasa a través de una bobina para desarrollar un campo magnético en el metal, y la corriente inducida ocasiona el calentamiento rápido y la fundición del metal” <sup>[7]</sup> (2005, Garcia: Pág 295)

· Hornos eléctricos. Pueden ser de tipo de acero o de inducción.

### **Tipos de hornos usados en fundición:**

Hornos rotatorios.

· Hornos de crisol.

· Hornos de crisol de tipo sosa.

· Hornos basculantes.

· Hornos de aire.

· Horno de mufla

· Hornos eléctricos.

### **2.4.3.2 PROBLEMAS DE LA FUNDICIÓN.**

A menudo en las secciones estrechas restringidas por el molde, se producen grietas llamadas laceraciones en caliente, debido a que el metal se contrae cuando solidifica (hasta 6% para algunos metales). Algunas veces se encuentran cavidades de contracción, que debilitan a las piezas coladas, en secciones más gruesas. Estos problemas se pueden evitar si se da a la pieza un diseño apropiado. El aire y los gases atrapados en el metal pueden producir sopladuras o porosidad, los cuales debilita a la pieza. Usualmente, las piezas de gran tamaño, que se enfrían lentamente, tienen granos gruesos e irregulares pero las piezas pequeñas, que se enfrían rápido, son siempre de grano fino. Los metales de grano fino son más resistentes que los de grano grueso. <sup>[8]</sup> (2009, Neely J: Pág 374)

### **2.4.3.3 LA FUNDICIÓN DE METALES Y ALEACIONES**

En su mayoría, los metales se procesan primero fundiendo el metal en un horno que actúa como depósito del metal fundido. A este metal fundido pueden añadirse los elementos de aleación necesarios para producir las distintas aleaciones.

En una escala más pequeña, el metal fundido puede ser introducido en un molde con la forma del producto final, y normalmente se requiere un pequeño mecanizado o alguna operación de acabado para producir el producto final.

Los productos hechos de este modo se denominan productos de fundición y las aleaciones usadas para producirlos, aleaciones para fundición. <sup>[8]</sup> (2009, Neely J: Pág 378)

### **2.4.3.4 ALEACIONES PARA COLADA**

Para la designación de estas aleaciones se utilizan cuatro dígitos, con un punto que separa el tercero del cuarto y una letra precediendo a los números que indica las posibles variaciones.

Los tres primeros dígitos indican la aleación y el cuarto el producto.

- El primer dígito identifica el aleante principal, basado en la lista de familias que se recogen en la Tabla 2.8.
- El segundo y el tercer dígito identifican el aleante específico de la aleación, excepto para el caso de la serie 1xx.x, en el que no tienen especial significado.
- El último dígito indica la forma del producto, y las letras que se colocan como prefijo, tales como A o B designan las variaciones en la composición de la aleación.

**Tabla 2.8. Designación y aliantes mayoritarios de las aleaciones de aluminio para colada.**

<b>Aleación</b>	<b>Elemento aleante mayoritario</b>
1xx.x	Sin aleante
2xx.x	Cobre
3xx.x	Silicio y cobre y/o Magnesio
4xx.x	Silicio
5xx.x	Magnesio
6xx.x	No se utiliza
7xx.x	Zinc
8xx.x	Estaño
9xx.x	Otros elementos

**Fuente:** Neely J. (2002). Metalurgia y materiales industriales México. Tomo I. Editorial Linusa S.A

#### **2.4.3.5 RECOCIDO DEL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES**

Los recocidos son operaciones de calentamiento y enfriamiento lento para conseguir la constitución y estructura más estable a la temperatura ambiente y destruir, por tanto, cualquier anomalía en que se encuentre el material producida por tratamientos mecánicos o térmicos. La intensidad de los recocidos depende, sobre todo, de la temperatura máxima a que se llega en el calentamiento. Según sea ésta y clasificados con arreglo a la temperatura y de menor a mayor, se practican con el aluminio los siguientes recocidos.

#### **2.4.3.6 REQUISITOS PRINCIPALES DE UN METAL FUNDIDO ANTES DEL VACIADO SON:**

- Que su composición química y pureza se haya mantenido durante la fusión.
- Que se encuentre a la temperatura de vaciado correcta.

“La obtención de temperatura de vaciado correcta es sumamente importante si se vacía el metal o la aleación a una temperatura demasiado baja puede no fluir adecuadamente y no llenar todas las regiones del molde y en el mejor de los casos se puede resultar un vaciado con numerosas rechupes.

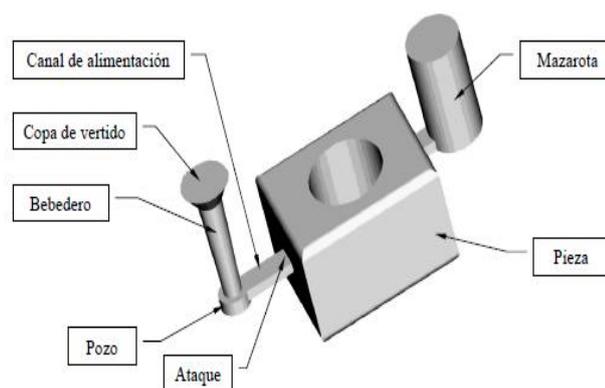
El uso de una temperatura de vaciado innecesariamente alta por otra parte puede conducir a una fusión gaseosa y la formación de burbujas en el vaciado resultante.

Durante la fusión pueden ocurrir cambios en la composición de la carga, es probable que esto suceda cuando uno de los ingredientes es volátil a la temperatura de vaciado de la aleación.

La fuente más común de impurezas durante un proceso de fusión es el combustible o los productos de la combustión.

Según (Ballay) podemos clasificar en cuatro grupos una serie de fundiciones especiales que respondan a necesidades muy variadas” [9] (2009, Valdez: Pág 120)

- Fundición gris y metálica
- Fundición blanca especial
- Fundiciones refractarias
- Fundiciones resistentes a la corrosión.



**Figura 2.2 Como se realiza un molde para una fundición**

**Fuente:** Sídney H. Avner. (2006). Introducción a la Metalurgia Física. Ediciones del Castillo S.A. Madrid-España.

#### **2.4.3.7- TAMAÑO DE GRANO**

“El tamaño de grano tiene un notable efecto en las propiedades mecánicas del metal. Los efectos del crecimiento de grano provocados por el tratamiento térmico son fácilmente predecibles. La temperatura, los elementos aleante y el tiempo de impregnación térmica afectan el tamaño del grano.

En metales, por lo general, es preferible un tamaño de grano pequeño que uno grande. Los metales de grano pequeño tienen mayor resistencia a la tracción, mayor dureza y se distorsionan menos durante el temple, así como también son menos susceptibles al agrietamiento.

El grano fino es mejor para herramientas y dados. Todos los metales experimentan crecimiento de grano a altas temperaturas. Sin embargo, existen algunos aceros que pueden alcanzar temperaturas relativamente altas (alrededor de 1800 °F o 982 °C) con muy poco crecimiento de grano, pero conforme aumenta la temperatura, existe un rápido crecimiento de grano. Estos aceros se conocen como aceros de grano fino. En un mismo acero puede producirse una gama amplia de tamaños de grano” [10]

#### **2.4.3.8.- CLASIFICACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE GRANO**

Existen diversos métodos para determinar el tamaño de grano, como se ven en un microscopio. El método que se explica aquí es el que utiliza con frecuencia los fabricantes. El tamaño de grano se determina por medio de la cuenta de los granos en cada pulgada cuadrada bajo un aumento de 100X, se representa el tamaño real de los granos tal como aparece cuando se aumenta su tamaño 100X. El tamaño de grano especificado es por lo general, el tamaño de grano austenítico. Un acero que se temple apropiadamente debe exhibir un grano fino. [10]

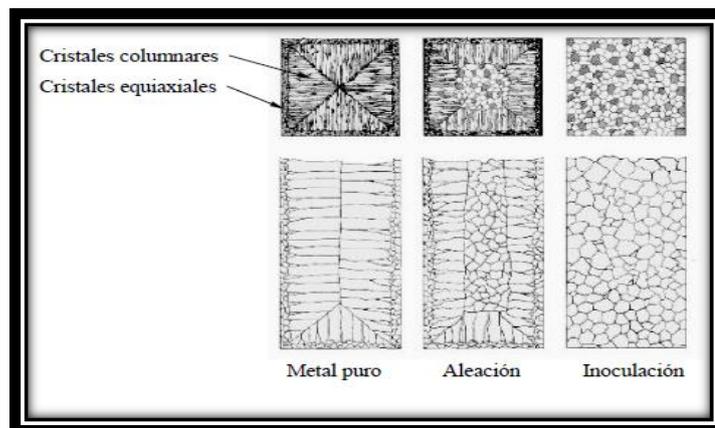
---

<sup>10</sup> <http://www.monografias.com/trabajos7/fuco/fuco.html>

### 2.4.3.9.-GRANOS Y LÍMITES DE GRANOS

Los metales que se utilizan comúnmente en la manufactura de diversos productos constan de muchos cristales individuales orientados al azar (granos); por lo tanto, las estructuras metálicas no son mono cristalinas sino poli cristalinas (“muchos cristales”): Cuando una masa de metal fundido comienza a solidificarse, los cristales empiezan a formarse independientemente unos de otros en varios lugares dentro de la masa líquida; tienen orientaciones al azar y sin relación unas con otras. Después, cada uno de ellos crece en una estructura cristalina o grano.

El número y los tamaños de los granos desarrollados en una unidad de volumen del metal dependen de la velocidad a la que tienen lugar la nucleación (etapa inicial de formación de cristales). El número de lugares diferentes en los que se comienzan a formar los cristales individuales y la velocidad a los que estos crecen, influyen en el tamaño medio de los granos desarrollados.

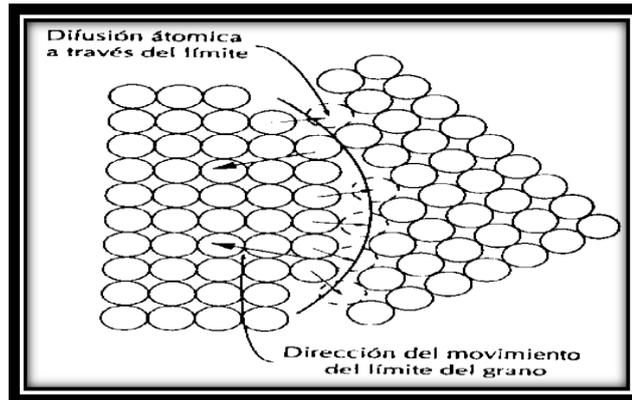


**Figura 2.3. Proceso de la solidificación**

**Fuente:** <http://www.monografias.com/trabajos7/fuco/fuco.html>

### 2.4.3.10 CRECIMIENTO DEL GRANO

“Los granos pueden seguir creciendo si el material es mantenido a temperatura elevada. A este fenómeno se le conoce como crecimiento del grano, que no tiene porqué estar precedido por la restauración y la re cristalización, sino que por el mero hecho de someter un material policristalino a temperaturas elevadas, su grano tenderá a crecer.



**Figura 2.4. Representación esquemática del crecimiento de grano por difusión atómica**  
**Fuente:** <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/laserena/90.pdf>

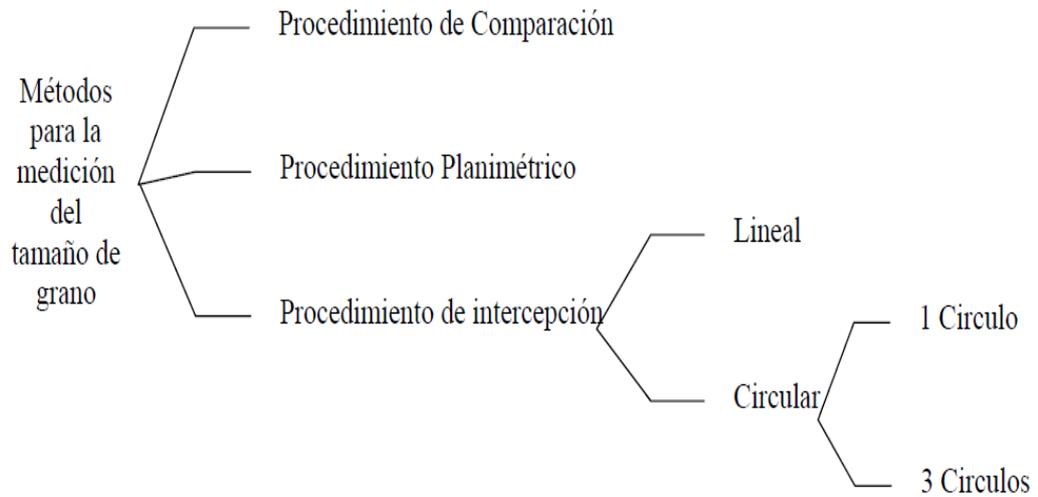
Esto se debe a que cuanto más crece el grano, el área total de bordes de grano disminuye (va disminuyendo el número de granos), produciéndose entonces una disminución de la energía superficial del sistema, lo que resulta en la fuerza motriz de este fenómeno.

Los granos crecen debido a la migración de los bordes de grano. Como no todos los granos pueden crecer al mismo tiempo, unos crecen a expensas de otros, aunque el tamaño medio de grano aumenta con el tiempo y en cualquier instante existirá una gama de tamaños de grano diferentes.

El movimiento de los bordes de grano, no es más que la difusión a corto alcance de los átomos de un lado al otro lado del borde. Por tanto, el movimiento de los átomos será el contrario al del avance del borde de grano” [11]

### **Método estándar para la determinación del tamaño de grano.**

La norma describe distintos métodos para la medición del tamaño de grano, los cuales se clasifican de acuerdo con el gráfico siguiente:



**Procedimiento de Comparación:** involucra la comparación de la estructura de grano con una serie de imágenes graduadas, donde en la siguiente fotografía se observan las distintas plantillas de comparación visualizadas a través de dicho ocular. [12]

El círculo exterior tiene un diámetro de 175 mm, y debe coincidir con el borde de la imagen de la micrografía para respetar las magnificaciones.

El número de cada plantilla corresponde al tamaño de grano “G” si se está observando la probeta con una magnificación de 100x.

---

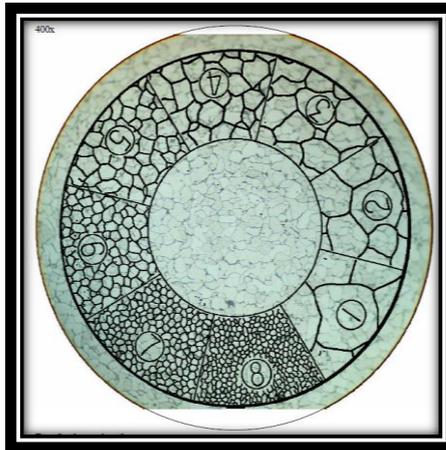
<sup>11</sup><http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/laserena/90.pdf>

<sup>12</sup> [http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_DEL\\_COMAHUE.1972](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE.1972) Diego M. Seiro

**Tabla 2.9. Factor de corrección Q**

Magnificación M	Factor de corrección Q (para Mb = 100x)
	$Q = 6.64 \text{Log}_{10} \left( \frac{M}{Mb} \right)$
50x	-2
100x	0
200x	2
400x	4

**Fuente:** [http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_DEL\\_COMAHUE.1972\\_Diego\\_M.\\_Seiro](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE.1972_Diego_M._Seiro)



**Figura 2.5: Método de comparación**

**Fuente:** [http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_DEL\\_COMAHUE.1972\\_Diego\\_M.\\_Seiro](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE.1972_Diego_M._Seiro)

**Procedimiento Planimétrico:** involucra el conteo del número de granos dentro de un área determinada.

En la imagen se muestra en el centro un círculo con una superficie de  $5000 \text{mm}^2$  y diámetro de 79.8mm. El círculo exterior tiene un diámetro de 175 mm, y debe coincidir con el borde de la imagen de la micrografía para respetar las magnificaciones. El tamaño de grano “G” se calcula a partir de la Norma ASTM E112.

$$N_A = \text{granos por } \text{mm}^2$$

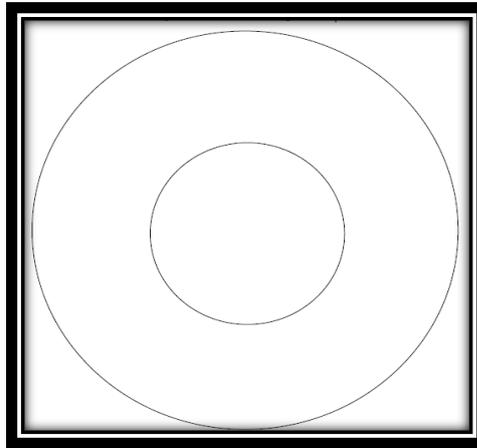
$N_{INTERNO}$  = numero de granos dentro del circulo

$N_{INTERCEPTADO}$  = numero de granos interceptados por el circulo

$f$  = múltiplo de Jeffries

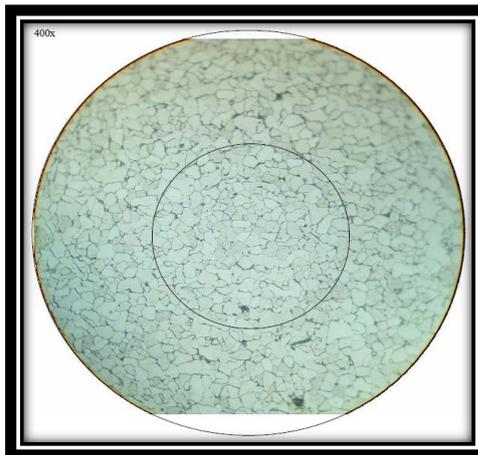
$$N_A = f \left( N_{INTERNO} + \frac{N_{INTERCEPTADO}}{2} \right)$$

para un área de  $5000 \text{ mm}^2 \rightarrow f = 0.0002 \cdot M^2$  ( $M$  = magnificación)



**Figura 2.6. Procedimiento Planimétrico**

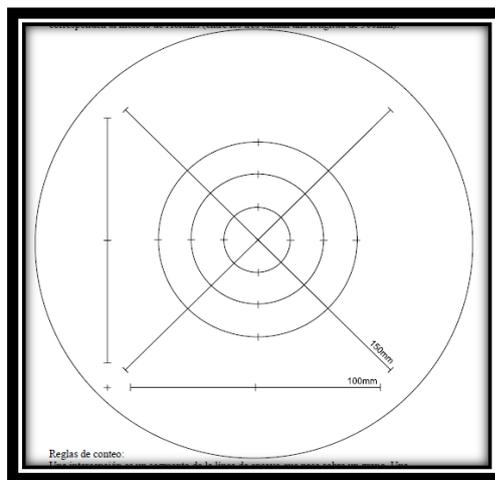
**Fuente:** [http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972) Diego M. Seiro



**Figura 2.7. Conteo de granos dentro de un área**

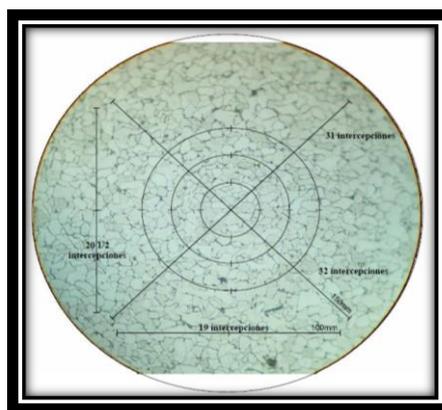
**Fuente:** [http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972) Diego M. Seiro

**Procedimiento de Intersección:** involucra el conteo de los granos interceptados por una línea de ensayo o el número de intersecciones de la línea con los bordes de grano. La imagen de abajo muestra las distintas geometrías utilizadas en la medición del tamaño de grano mediante el procedimiento de intersección. Las cuatro líneas rectas de la imagen corresponden al método de Heyn. El método de Hilliard utiliza una circunferencia generalmente de 100, 200 o 250 mm de perímetro. Las tres circunferencias de la imagen corresponden al método de Abrams (entre las tres suman una longitud de 500 mm).



**Figura 2.8. Procedimiento de Intersección**

**Fuente:** [http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE.1972) Diego M. Seiro



**Figura 2.9. Conteo de granos interceptados por una línea de ensayo**

**Fuente:** [http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE.1972) Diego M. Seiro

### Reglas de conteo:

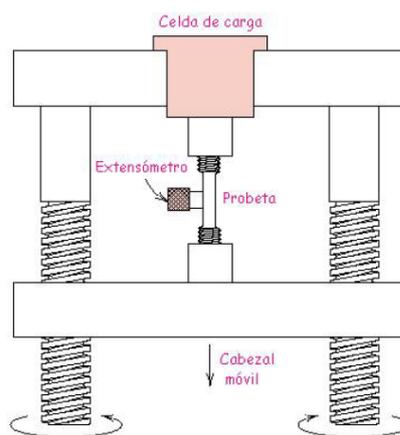
Una intersección es un segmento de la línea de ensayo que pasa sobre un grano. Una intersección es un punto donde la línea de ensayo es cortada por un borde de grano. Cualquiera de los dos puede contarse con idénticos resultados en un material monofásico. Cuando se cuentan intersecciones, los segmentos al final de la línea de ensayo que penetran dentro de un grano, son anotados como media intersección. Cuando se cuentan intersecciones, los puntos extremos de la línea de ensayo no son intersecciones y no son contados excepto cuando tocan exactamente un borde de grano, entonces debe anotarse ½ intersección. Una intersección coincidente con la unión de tres granos debe anotarse como 1 1/2.

$$\bar{N}L = \frac{N_i}{L/M}$$

$$G = (6.643856 \cdot \text{Log}_{10} N_L) - 3.288$$

### 2.4.3.11- ENSAYO DE TRACCIÓN

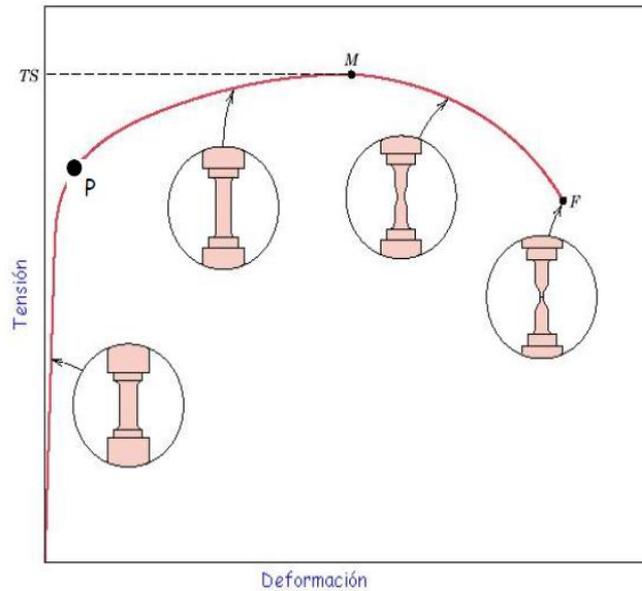
El ensayo de tracción es el más habitual para determinar la resistencia de los metales y aleaciones. Es un ensayo en el que se pretende romper mediante la aplicación de un esfuerzo de tracción, una probeta a velocidad constante en un periodo relativamente corto de tiempo. [13]



**Figura 2.10. Máquina de ensayo de tracción.**

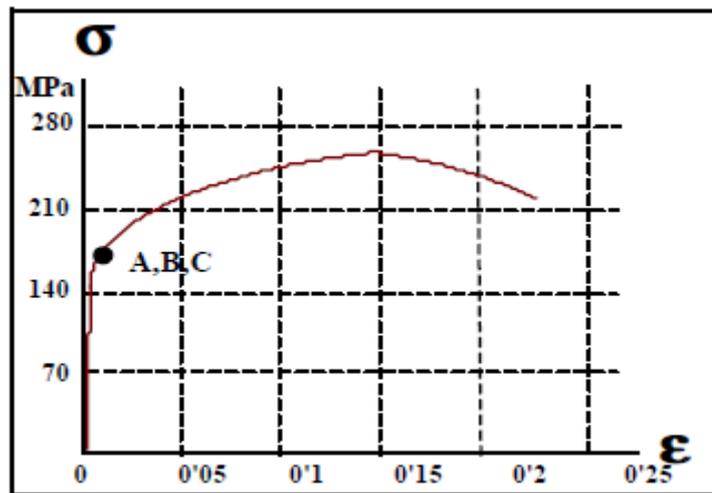
**Fuente:** [jmcacer.webs.ull.es /CTMat/Practicas%20Laboratorios/tracción](http://jmcacer.webs.ull.es/CTMat/Practicas%20Laboratorios/tracción)

La fuerza (carga) sobre la muestra que está siendo analizada se registra al igual que la deformación medida mediante un extensómetro. De tal modo que al final del ensayo tendremos un gráfico tensión-deformación como el que se muestra en la figura 2.11



**Figura 2.11. Curva de tracción**

Fuente: [jmcacer.webs.ull.es/CTMat/Practicas%20Laboratorios/tracción](http://jmcacer.webs.ull.es/CTMat/Practicas%20Laboratorios/tracción)



**Figura 2.12. Diagrama tensión – deformación del aluminio**

Fuente: [jmcacer.webs.ull.es/CTMat/Practicas%20Laboratorios/tracción](http://jmcacer.webs.ull.es/CTMat/Practicas%20Laboratorios/tracción)

#### 2.4.3.12 DUREZA

“La dureza es una medida del material a ser deformado plásticamente. Normalmente, esta propiedad se mide forzando con un penetrador su superficie, el cual

generalmente está fabricado de un material mucho más duro que el material a ensayar y puede tener forma de esfera, pirámide o cono.

Debido a las características de este ensayo, se puede determinar experimentalmente una relación entre dureza y resistencia para un determinado material, por lo que el ensayo de dureza se utiliza con gran frecuencia en la industria para control de calidad ya que puede no ser destructivo y es más simple que el de tracción.

En la figura 2.13 se recogen los tipos de penetradores y huellas asociados a los cuatro ensayos más comunes de dureza: Rockwell, Brinell, Vickers y Knoop.” [14]

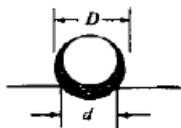
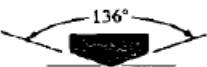
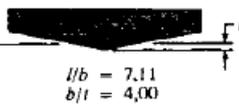
		Forma de la penetración			
Ensayo	Penetrador	Vista lateral	Vista en planta	Carga	Fórmula para el índice de dureza
Brinell	Esfera de 10 mm de acero o carburo de wolframio			P	$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Pirámide de diamante			P	$VHN = \frac{1,72P}{d_1^2}$
Microdureza de Knoop	Pirámide de diamante	 $l/b = 7,11$ $b/l = 4,00$		P	$KHN = \frac{14,2P}{l^2}$
Rockwell					
A } C } D }	Cono de diamante			60 kg $R_A =$	100-500t
				150 kg $R_C =$	
				100 kg $R_D =$	
B } F } G }	Esfera de acero de 1/16 pulg de diámetro			100 kg $R_B =$	130-500t
				60 kg $R_F =$	
				150 kg $R_G =$	
E	Esfera de acero de 1/8 pulg de diámetro			100 kg $R_E =$	

Figura 2.13. Diferentes ensayos de dureza.

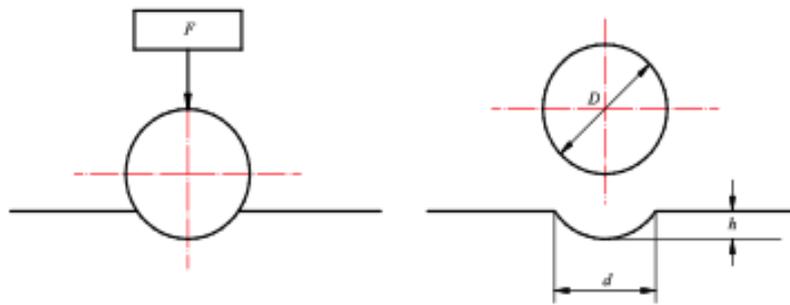
Fuente: <http://www.utp.edu.co/~gcalles/DUREZABRINELL.pdf>

<sup>14</sup> <http://www.utp.edu.co/~gcalles/DUREZABRINELL.pdf>

### 2.4.3.13 DUREZA BRINELL

Se entiende por dureza la propiedad de la capa superficial de un material de resistir la deformación elástica, plástica y destrucción, en presencia de esfuerzos de contacto locales inferidos por otro cuerpo, mas duro, el cual no sufre deformaciones residuales (identador o penetrador), de determinada formas y dimensiones.

La norma ASTM E10-78 define la dureza Brinell como un método de ensayo por indentación por el cual, con el uso de una maquina calibrada, se fuerza una bola endurecida, bajo condiciones especificas, contra la superficie del material a ensayar y se mide el diámetro de la impresión resultante luego de remover la carga (figura 2.14).



**Figura 2.14. Símbolos que describen la dureza Brinell**

**Fuente:** <http://www.utp.edu.co/~gcalle/DUREZABRINELL.pdf>

La dureza Brinell (como esfuerzo de contacto), es la relación de la carga P que efectúa el indentador esférico de diámetro D, al área de la superficie de la huella:

$$HBS \text{ o } HBW = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{F}{D^2} \left[ \frac{\frac{2}{\pi}}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}} \right]$$

**HBS** para los casos en que se utilice bola de acero

**HBW** para cuando se utilice bola de carburo de tungsteno

El carburo de tungsteno es un compuesto cerámico por tungsteno y carbono.

En la práctica se usa la siguiente formula de trabajo:

$$HBS \text{ o } HBW = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Donde:

D = es el diámetro de la bola en mm

F = es la carga aplicada en Kgf, y

d = es el diámetro medio de la indentación en mm

**Tabla 2.10. Tabla de selección de los grados de fuerza**

Material	Gama de durezas HB	Grado de fuerza $\left(\frac{P}{D^2}\right)$	Tiempo de aplicación (s)
Hierro dulce, acero, acero colado, fundición maleable.	67... 500	30	10 ... 15
Metales ligeros, aleaciones fundidas y amasadas, aleaciones de fundición inyectadas, cobre, latón, bronce, níquel, aleaciones de aluminio	22 ... 315	10	30
Aluminio puro, magnesio, zinc, latón fundido.	11 ... 158	5	60
Metales antifricción.	6 ... 78	2.5	60
Plomo, estaño, soldadura blanda.	3 ... 39	1.25	60
Metal blando con temperaturas mas elevadas	1 ... 15	0.5	60

**Fuente:** <http://www.utp.edu.co/~gcalle/DUREZABRINELL.pdf>

**Tabla 2.11. Tabla de selección de diámetros y magnitud de fuerza**

Diámetro de la esfera (mm)	GRADO DE FUERZA $\left[\frac{P}{D^2}\right]$					
	30	10	5	2.5	1.25	0.5
10	3000	1000	500	250	125	50
5	750	250	125	62.5	31.25	12.5
2.5	187.5	62.5	31.25	15.625	7.8125	3.125

**Fuente:** <http://www.utp.edu.co/~gcalle/DUREZABRINELL.pdf>

#### 2.4.4.- CERA PERDIDA

El moldeo a la cera perdida o fundición a la cera perdida<sup>1</sup> es un procedimiento escultórico de tradición muy antigua que sirve para obtener figuras de metal, por medio de un molde que se elaborara a partir de un prototipo tradicionalmente modelado en cera de abeja. (2006,Valencia G: Pág 320):

“El proceso industrial de fundición a cera perdida se desarrollo entre los años 1940-1950, por lo que es un método para fabricar formas metálicas complejas para las industrias aeroespaciales”

El proceso tradicional es la fundición en arena, por ser ésta un material refractario muy abundante en la naturaleza y que, mezclada con arcilla, adquiere cohesión y moldeabilidad sin perder la permeabilidad que posibilita evacuar los gases del molde al tiempo que se vierte el metal fundido.

“La fundición en arena consiste en fundir un metal, ya sea aleaciones o metal puro, se lo deja solidificar y posteriormente romper el molde con el fin de extraer la pieza fundida” <sup>[2]</sup> (Robert E: Pág 385)

Para la fundición con metales como el hierro o el plomo, que son significativamente más pesados que el molde de arena, la caja de moldeo es a menudo cubierta con una chapa gruesa para prevenir un problema conocido como "flotación del molde", que ocurre cuando la presión del metal empuja la arena por encima de la cavidad del molde, causando que el proceso no se lleve a cabo de forma satisfactoria.

---

<sup>1</sup>La cera perdida se la conoce comúnmente como cera de abeja o también se la conoce como cera virgen que se las extrae de los panales

#### 2.4.4.1 TÉCNICA DE LA CERA PERDIDA

La técnica de la cera perdida consiste en moldear el modelo<sup>2</sup> ya antes elegido, se la cubre con una fina capa de yeso, se coloca una capa exterior de yeso donde se ponen dos tubos de caña o de cualquier otro material. Se procede a calentar el molde hasta que se seque completamente la capa exterior y la cera se funde y se escurre por el tubo inferior, dejando un espacio libre es decir se queda grabado en el interior del molde el modelo antes diseñado en cera. A continuación se coloca el aluminio fundido por el tubo superior. Una vez frío el metal se lo deja aproximadamente unos 15 minutos, se rompe el molde de yeso y queda libre el modelo.

#### Componentes de la cera

La cera es a base de cera de abejas, la cual por si solo se podría modelar para fundición, pero es necesaria la adición de otros químicos para darle mayor elasticidad, blandeza, cuerpo, estabilidad etc.

#### Cera de abeja.

Es la secreción que se produce en el abdomen de las abejas, conocida también como cera de castilla, cera amarilla o cera virgen. Su punto de fusión está entre 62 y 65 grados centígrados y su contracción es del 3%. [9]



**Figura 2.15. Cera de abeja, cera de castilla, Cera amarilla o cera virgen**

**Fuente:** Valdez Serrano, Diego. (2009). Fundición y Soldadura. Editorial el cid Editor

---

<sup>2</sup> Al modelo se lo puede definir como una reproducción o réplica del objeto que se desea fundir.

### **Parafina.**

Es de color blanco ligeramente traslucido y untuoso al tacto. Viene de la destilación seca de madera, hullo o de la destilación fraccionada del petróleo. Le ayuda a dar mejor cuerpo a la cera y reducir costos su punto de fusión está entre los 50 y 57 grados centígrados y contracción de 6%.



**Figura 2.16. Parafina**

**Fuente:** Valdez Serrano, Diego. (2009). Fundición y Soldadura. Editorial el cid Editor

### **Aceite mineral.**

Proviene de la destilación del petróleo, es traslucido y viscoso. Utilizada en fundición para adelgazar y hacer mas plástica la cera.

### **Colofonia.**

Conocida como arcazón o brea seca, de color amarillo traslucido quebradiza y fácilmente fusible y se obtiene de la destilación de la trementina de pino. Utilizada para que la contracción de la cera sea menor.



**Figura 2.17. Colofonia o brea seca**

**Fuente:** Valdez Serrano, Diego. (2009). Fundición y Soldadura. Editorial el cid Editor

### **Brea.**

Proviene de la destilación del petróleo crudo, aunque no es necesario para la preparación de la cera, es recomendado agregarlo para darle la tonalidad negra y así ver mejor los detalles a la hora de modelar.

#### **2.4.4.2 PREPARACIÓN Y MANEJO DE LAS CERAS.**

“Las ceras manejan varias formulas según las necesidades del fundidor, para que sea blanda, semi-blanda o dura.

BLANDA SEMIBLANDA DURA

CERA DE ABEJAS 40% 45% 40%

PARAFINA 40% 40% 40%

ACEITE MINERAL 10% 5% ----

COLOFONIA 10% 10% 20%

“Para preparar la cera se lo hace con la fusión de la cera de abejas, con la parafina sin exceder los 93 grados C. Ya en el proceso de modelado ya una vez obtenida el modelo en cera, también se utilizan espátulas calientes porque nos permite corregir, modelar, añadir pequeños detalles y unir partes completarias de la forma”

## **Aplicaciones de la cera perdida**

El proceso de micro fusión “a la cera perdida” es una tecnología de vanguardia en continua evolución.” [15]

El proceso consta de muchas fases, y se caracteriza por una cascara cerámica refractaria monolítica llamada “racimo”, derivado de una forma especial central compuesta de uno o más modelos de cera obtenidos de la inyección de piezas en los oportunos moldes.

La posibilidad de producción de pequeñas y grandes series ofrece al cliente una serie de ventajas técnicas y económicas.

- Realización de piezas complejas difícilmente construibles mediante el mecanizado si no es con gastos elevados.
- Realización de piezas que de otra manera solo sería posible hacerlas con partes diferentes, unidas mediante procesos diversos: Soldadura, clavado, etc.
- Realización de piezas sin mecanizado posterior de acabado, o bien con limitación del mecanizado algunas cotas funcionales.
- Realización de fundiciones de acero o aleaciones de difícil mecanizado como aleaciones con base de níquel y cobalto.
- Realización de las mismas piezas en aleaciones diversas, adecuadas para diferentes aplicaciones.

---

<sup>15</sup>[http://www.quiminet.com/principal/resultados/\\_busqueda.php?N=cera+perdida+en+el+Ecuador#info](http://www.quiminet.com/principal/resultados/_busqueda.php?N=cera+perdida+en+el+Ecuador#info)

#### **2.4.4.3.- FUNDICIÓN A CERA PERDIDA**

El proceso llamado fundición a la cera perdida para la fabricación de piezas, tiene una antigüedad de miles de años. En su esencia básica, el proceso consiste en la fabricación de un modelo de cera u otro material fusible, luego se construye un molde alrededor de él, entonces se funde la cera dejando una cavidad que es una réplica exacta del modelo original.

El proceso de fundición a la cera perdida (FCP) frente a los demás métodos de fundición, posibilita piezas de formas muy intrincadas. Generalmente tampoco es necesario disponer hoyos para la obtención de aberturas o cavidades. Esto confiere a esta técnica las siguientes características:

Máxima libertad en la configuración de las piezas.

Gran exactitud en comparación a los demás métodos de fundición.

Posibilidad de aplicación de casi todas las aleaciones técnicamente logrables por fundición.

Supresión de las rebabas a lo largo de las juntas de separación entre moldes, propia de otros procedimientos.

Con ayuda de la FCP es posible no solamente producir gran número de piezas pequeñas y complicadas con un coste menor, sino también fabricar piezas que antes parecían técnicamente imposibles, así como fundir piezas enteras que debían estar formadas de varias partes. [15]

La fundición a cera perdida es un método para fabricar formas metálicas complejas al crear un molde o patrón de cerámica, con el cual se pueden crear ciertas piezas metálicas. Los minerales fundidos son una materia esencial usada en el proceso de construcción de moldes de cerámica.

---

<sup>15</sup>[http://www.quiminet.com/principal/resultados/\\_busqueda.php?N=cera+perdida+en+el+Ecuador#info](http://www.quiminet.com/principal/resultados/_busqueda.php?N=cera+perdida+en+el+Ecuador#info)

El molde de cerámica se construye con una variedad de materiales fundidos para permitir que resista la exposición a temperaturas muy altas por el proceso de caldeo y colada. Luego que se desprende el molde de cerámica, la pieza metálica se revela y en muchas ocasiones se necesita pulir o acabar con un material abrasivo. Nuestros productos minerales fundidos, como la mullita, el óxido de aluminio café y la espinela fundida, se utilizan en la construcción de moldes y en el acabado metálico de la pieza del proceso de fundición a cera perdida. Muchas piezas metálicas o de aleación se fabrican con la fundición a cera pérdida, a continuación se enumeran algunas:

### **Colada a la cera perdida**



**Figura 2.18. Colada a la cera perdida**

**Fuente:** Valdez Serrano, Diego. (2009). Fundición y Soldadura. Editorial el cid Editor

### **¿Que es Colada a la cera perdida?**

El proceso de fundición a la cera perdida es ideal para la producción de coladas metálicas de alta calidad realizadas a partir de aluminio, acero y aleaciones exóticas. La fundición a la cera perdida suele utilizarse para obtener pequeñas cantidades de colada, normalmente, para menos de 500 g, aunque se pueden producir coladas de acero de hasta 300 kg y de aluminio de 30 kg. Comparado con otros procesos de fundición, como la fundición en moldes de arena o a presión, la colada a la cera perdida es un proceso relativamente caro, pero ofrece una versatilidad y una precisión insuperable por otros procesos de conformación del metal y su calidad<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Calidad es el grado de excelencia que posee una cosa ó las características que hacen a algo lo que es.

#### **2.4.4.4 DENSIDAD DEL METAL Y LA CERA**

Determinación del peso del metal y la cera. Para determinar la cantidad del metal que se requiere para la fundición a la cera perdida se debe de pesar el diseño en cera con todo y su puente integrado por el factor de densidad del metal descrito de la tabla inferior y al valor obtenido agregar al 10% para que esta cantidad del metal extra sirva de reservorio en la fundición.

Ejemplo: si un anillo en cera pesa 1.2g y se desea convertir en oro de 14K entonces se va a requerir para fundir 17.25 g de oro de 14 K:

Densidad del oro de 14 K = 13.07 Tabla 2.6

$$1.2g \times 13.07 = 15.68 \text{ g} + 10\% = 17.25 \text{ g.}$$

#### **2.4.4.5 PROCESO DE OBTENCIÓN DE LAS PIEZAS**

“1) Construcción de un modelo patrón de la pieza a moldear, generalmente metálico (de acero, latón o bronce) a veces de plástico o caucho, con un mecanizado de precisión y rectificado muy fino, para obtener superficies lo más perfectas posibles. En la construcción del modelo se debe tener en cuenta la contracción del molde patrón, la de los modelos secundarios de cera o plástico la del molde en su elaboración y precalentamiento y, por último, la del metal colado.

2) Elaboración, a partir del modelo patrón, de un molde patrón o coquilla, dividida en dos partes, para colar los modelos de cera y extraerlos fácilmente. Para ello el modelo patrón se introduce en escayola hasta la línea divisoria deseada; la escayola está contenida en una de las mitades de un recipiente partido. La otra mitad se coloca encima y se vierte, sobre la mitad del modelo patrón que queda al descubierto. Cuando la aleación ha solidificado, se separan las dos mitades, se elimina la escayola de la primera mitad y se pule la superficie metálica de separación de la segunda mitad. Se coloca de nuevo el modelo patrón en la cavidad de la segunda mitad, se trata la superficie metálica pulida con un producto de separación, después se coloca la otra mitad y se vierte de nuevo aleación fundida. Así se obtiene una coquilla dividida.

- 3) Moldeo de los modelos de cera o plástico, inyectando a presión estos materiales en el molde metálico anterior. Los modelos así obtenidos deben tener una superficie limpia y lisa, que no presente cavidades, deformaciones u otros defectos.
- 4) Formación de un racimo, soldando varios modelos de los obtenidos en la fase anterior, a un bebedero central también de cera o plástico.
- 5) Revestimiento preliminar del racimo, por inmersión o pulverización con un barrio refractario, formado por una suspensión en polvo finísimo de cuarzo, corindón, etc.
- 6) Revestimiento secundario del racimo, para lo cual se fija previamente el bebedero a una placa plana, con cera fundida. Se coloca sobre el conjunto, rodeando el racimo, un recipiente metálico abierto por los extremos y se cierra bien con cera la junta de unión entre la placa y el extremo del recipiente. Se vierte en su interior la mezcla de moldeo y el conjunto se coloca en una cámara de vacío o se somete a vibración durante cierto tiempo, para que suban a la superficie las burbujas de aire y el exceso de humedad, antes de que solidifique la masa.
- 7) Extracción de la cera del molde, fundiéndola a 100 – 120 °C en una estufa recogiendo en un recipiente.
- 8) Cocción del molde y precalentamiento, en un horno túnel, progresivamente hasta alcanzar los 1000 °C. Con la cocción se eliminan los últimos residuos de cera, se precalienta el molde, para que el metal que se cuele no se enfríe y fluya llenando perfectamente la cavidad del molde.
- 9) Colada del metal líquido, previamente fundido en un horno.
- 10) Después de enfriado el metal en el molde, se extraen las piezas cortando los canales de colada, se limpian en un chorro de arena y, si es necesario, se someten a tratamientos térmicos y, finalmente, a un rectificado.

El método a la cera perdida está especialmente indicado en la obtención de piezas pequeñas de forma complicada, imposibles o difíciles de obtener por otros procedimientos, de cualquier tipo de aleación, incluso aleaciones refractarias. Por

otra parte, si no se requiere un control dimensional muy estricto, las piezas salen completamente terminadas. En la actualidad se obtiene una gran variedad de ellas: fresas y brocas de aceros de corte rápido; álabes para turbinas de vapor, de gas y de motores de reacción, de aceros inoxidable o de aleaciones refractarias; tijeras e instrumental quirúrgico, piezas de maquinaria textil, máquinas de coser, armas automáticas, motores de combustión, herramientas, calibres, moldes para estampación, aparatos electrodomésticos, etc.” [15]

---

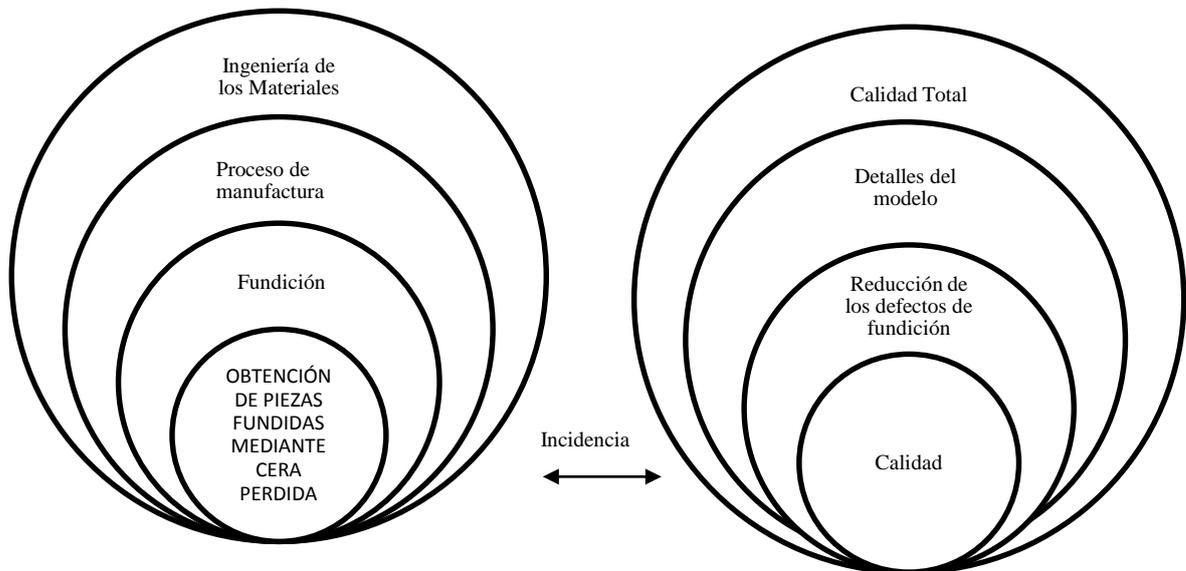
<sup>15</sup>[http://www.quiminet.com/principal/resultados/\\_busqueda.php?N=cera+perdida+en+el+Ec uador#info](http://www.quiminet.com/principal/resultados/_busqueda.php?N=cera+perdida+en+el+Ec uador#info)

## 2.5.- CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

V.I.- Estudio de la obtención de piezas fundidas

Mediante cera perdida.

V.D.- Calidad



## 2.6.- HIPÓTESIS

Sera el método de fundición de aluminio mediante cera perdida el adecuado para la obtención de piezas de calidad.

## 2.7.- SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

### 2.7.1.- Variable Independiente

Estudio de la obtención de piezas fundidas de aluminio mediante la cera perdida.

### 2.7.2.- Variable Dependiente

Calidad

### 2.7.3- Términos de Relación

Incidencia

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1.- ENFOQUE**

Los datos que se predominaron en la investigación para realizar el estudio de la obtención de piezas fundidas en aluminio mediante la cera perdida, se desarrollo practicas con otros métodos, y se analizo cual de los métodos es el más indicado o apropiado para este tipo de estudio o análisis, por esta razón se estableció mucho más fácil la solución a los problemas que se presentaron en la elaboración de la obtención de piezas, es decir que el proyecto se presentó a través de datos cualitativos y cuantitativos con el fin de establecer una elaboración mucho más fácil, con el fin de poder evitar daños y pérdidas; sobre todo una de las más importantes como lo es la económica, para lo cual se midieron parámetros que permitieron establecer las facilidad del uso de un nuevo método para la obtención de piezas fundidas.

En esta investigación se determinó que los datos requeridos son la totalidad del material que es de origen natural en la que se obtiene en un determinado periodo de tiempo en un sector para el estudio, un porcentaje de este producto son aptos para fabricar objetos que nos pueden servir de mucha ayuda, por lo cual, se podrá aplicar a una realidad objetiva radicando en la precisión de obtención de piezas fundidas en aluminio mediante cera perdida.

#### **3.2.- MODALIDAD Y TIPO DE INVESTIGACIÓN**

##### **3.2.1.- MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

Para poder realizar este tipo de trabajo se utilizaron los siguientes tipos y procedimientos de investigación.

### **3.2.1.1.- Investigación de Campo**

Este proyecto prácticamente en su totalidad es una investigación de campo ya que se requirió analizar o verificar datos en el lugar donde se realizó el método de la cera perdida y por la cual se elaboró el producto. Se estudiaron aspectos como: Diferentes métodos que son utilizados para la obtención del producto, máquinas para poder elaborar, calidad de la obtención de las piezas mediante la utilización de la cera perdida y el análisis de la calidad y por ello nos llevó a permanecer mucho tiempo en el lugar propio de los hechos.

### **3.2.1.2.- Investigación Bibliográfica**

Constituye el complemento fundamental para que se pueda llevar a cabo el proyecto, ya que mediante la utilización de libros, normas, páginas web y eléctricas podemos orientarnos adecuadamente para poder realizar la obtención de piezas mediante la cera perdida y para así poder asociarnos o familiarizarnos con parámetros que se deben tener en cuenta para el estudio de otros nuevos métodos.

### **3.2.1.3.- Investigación Experimental**

Es aquella que se realiza mediante pruebas, estudios y sobre todo el análisis de un nuevo sistema que se haya encontrado con el fin de poder realizar una correcta elaboración de la pieza mediante la cera perdida con el fin de evitar muchas pérdidas materiales y económicas.

## **3.2.2.- NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

**3.2.2.1.- Exploratoria:** Es aquella que nos permitirá encontrar muchos más a fondo con el problema de las piezas fundidas mediante la utilización de la cera perdida donde están dichas observaciones establecidas en el proceso.

**3.2.2.2.- Descriptiva:** Permite ver el comportamiento de las piezas al realizarla con el nuevo método, además nos permitió ver que daños se pueden presentar en dicha pieza y así podremos determinar con mucha facilidad que tipo de método es el más

apropiado, ya sea que se utilizaba anteriormente o con el del nuevo estudio para dicha obtención de las piezas fundidas en aluminio.

**3.2.2.3.- Experimental:** Es aquella que nos permitió verificar si el nuevo método no presentaron muchos problemas.

### **3.3.- POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1.- Población**

**Fundiciones de Aluminio Obtenidos por:**

- Moldeo en arena
- Moldeo en yeso

#### **3.3.2.- Tipo de muestra**

Fundiciones de aluminio obtenidos por medio del método a cera perdida.

En el presente tema se realizaron de 6 ensayos a la cera perdida y se comparara con 2 ensayos de parafina con el fin de determinar la calidad con que se obtendrá la pieza u objeto final y se comparo con fundiciones obtenidas por moldeo en yeso.

##### **3.3.2.2 Tamaño de muestra para la realización del estudio**

En el caso de los estudios el tamaño de la muestra necesario dependerá del tipo de estudio a realizarse, del nivel de confianza, y de los valores de riesgo relativo o mínimos que se desean encontrar. La muestra se lo puede calcular con la siguiente formula

$$n = \frac{\left[ Z_{\alpha} (2pq)^{1/2} - Z_{\beta} (p_e q_e + p_c q_c)^{1/2} \right]^2}{(p_e - p_c)^2}$$

Donde, n = Tamaño de la muestra

p = es la proporción esperada

$Z\alpha = 2.24$  para el 97.5% de confianza

$Z\beta = -0,67$  para un error  $\beta$  del 30%

$p_e$  = Frecuencia de la respuesta en los expuestos (cera perdida)

$p_c$  = Frecuencia de casos respuesta en los no-expuestos (parafina)

$p = (p_e + p_c)/2$ ;  $Q = 1-p$

Por lo tanto se desea comparar dos métodos que son la cera perdida y la parafina, al método de la cera perdida se lo supone una eficacia del 95% y al método de la parafina 40%, por lo tanto el tamaño de la muestra es:

Entonces:

Cera perdida: 95%

Parafina: 40%

$Z\beta = -0.67$  para un error  $\beta$  del 30%

$Z\alpha = 2.24$  para el 97.5% de confianza

$$n = \frac{\left[ 2.24(2 * 0,85 * 0,15)^{1/2} + 0.67 (0.95 * 0.05 + 0.40 * 0.60)^{1/2} \right]^2}{(0.95 - 0.40)^2}$$

$$n = \frac{2.33}{0.30} = 7.8 \cong 8$$

Con un nivel de confianza del 97.5% se deberá tomar 8 muestras o figuras en los materiales antes mencionados con el fin de determinar si la cera perdida es realmente un 70% más eficaz que la parafina, el estudio permitirá determinar esta diferencia en el 30% de los casos.

Según diferentes seguridades el coeficiente de  $Z_\alpha$  varía, así:

- Si la seguridad  $Z_\alpha$  fuese del 90% el coeficiente sería 1.645
- Si la seguridad  $Z_\alpha$  fuese del 95% el coeficiente sería 1.96
- Si la seguridad  $Z_\alpha$  fuese del 97.5% el coeficiente sería 2.24
- Si la seguridad  $Z_\alpha$  fuese del 99% el coeficiente sería 2.576

<b>Métodos</b>	<b># De ensayos</b>	<b>Confiabilidad</b>
Moldeo en arena con cera perdida	3	20%
Moldeo en arena con parafina	2	15%
Moldeo en yeso con cera perdida	6	80%
Moldeo en yeso con parafina	2	40%

### 3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.4.1.- Variable Independiente

Estudio de la obtención de piezas fundidas mediante cera perdida

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
La fundición a cera perdida es un método para fabricar formas metálicas complejas al crear un molde o patrón de cerámica, con el cual se pueden crear ciertas piezas metálicas. Además se utilizan en la construcción de moldes y en el acabado metálico de la pieza del proceso de fundición a cera perdida.	Materia prima	¿Qué materia prima se utilizara para la realización de modelos?	Cera perdida Parafina	Observación directa
	Material a fundirse	¿Cuál es la temperatura en que se funde?	670°C	Equipos de Laboratorio
	Calentamiento de moldes	¿Cuál es el tiempo aproximado para calentar los moldes?	2 horas a 4 horas	Observación directa Registros específicos
		¿Cuál es la temperatura correcta en que se deben secar los moldes?	280°C	Equipos de Laboratorio

### 3.4.2.- Variable Dependiente

Calidad

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
La calidad de un producto o servicio es la percepción que el cliente tiene del mismo, es una fijación mental del consumidor que asume conformidad con dicho producto o servicio y la capacidad del mismo para satisfacer sus necesidades.	Precisión en medidas de la pieza	¿Cuál es el rango de precisión?	0.8 a 1%	Observación directa y bibliográfica
	Determinación de irregularidades ó defectos	¿Mediante que métodos se pueden determinar las irregularidades en las piezas?	- Penetración - Rayados	Instrumentos de medición
	Ensayos de tracción	¿Cuánto de tracción soporta el material?	No excede de los 25 Kg /mm <sup>2</sup>	Máquinas de laboratorio
	Ensayos	¿Cuál es la dureza que el material debe tener?	11 a 158HB	Máquinas y herramientas
	Metalográficas	¿Cuál es el tamaño de grano apropiado?	5 a 7 (granos finos)	Revisión óptica mediante microscopio

### 3.5.- TÉCNICAS DE LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

**3.5.1 Observación:** Para el presente proyecto se utilizo la observación directo del lugar donde se realizo la elaboración o la obtención de las piezas fundidas en aluminio mediante la utilización de la cera perdida como es en la Universidad Técnica de Ambato en la cual se podrá utilizar el horno para la realización de la obtención de la pieza para poder realizar un registro especifico que permitió determinar la factibilidad del nuevo método de dicho estudio.

**Tabla 3.1. Como analizar correctamente**

<b>Técnicas</b>	<b>Tipos</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Instrumento de registro</b>
Observación	-Directa-Indirecta  -Estructurada-No estructurada  -Individual-Grupo  -De campo-Laboratorio	-Guía de Observación  -Escala de Observación  -Cuaderno de Notas  - Escalas Estimativas	-Papel y Lápiz  -Cámara Fotográfica
Sesión en profundidad		-Guía de observación	-Papel y Lápiz  -Cámara fotográfica

**Fuente:** La Autora

### 3.6.- PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

#### 3.6.1.- Plan de procesamiento de la información recogida

- Selección de los datos que serán recopilados deberán ser analizados e interpretarse bien y con mucha precisión ya que muchos podrían ser datos extraños, por tal razón que deben ser separados.

- Se seleccionara la información que nos da la veracidad de la recolección de datos y que son de suma importancia para el desarrollo del estudio.
- Tabulación de la información que sean considerados de mayor importancia y que tengan relación con las variables de la hipótesis.
- Representación de los resultados finales obtenidos mediante fotografías de las microestructuras.
- Análisis e interpretación de los resultados obtenidos mediante las prácticas que se han desarrollado.
- Representación de los resultados obtenidos a través de graficas estadísticas que se las desarrollo de esfuerzo vs deformación, dureza vs cera perdida y parafina, costos vs materiales.
- Desarrollo de la propuesta.

### **3.6.2 Plan de análisis e interpretación de resultados**

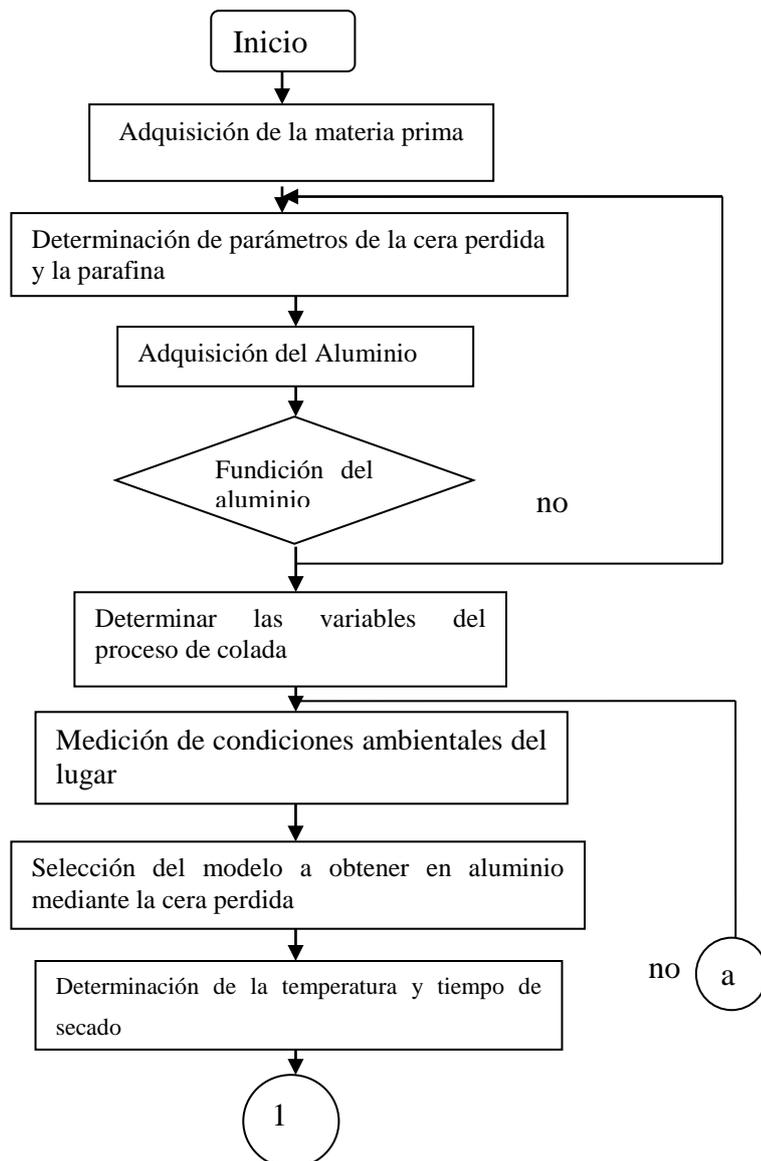
- Análisis microestructural de las muestras.
- Análisis de dureza en las probetas que están fundidas mediante los dos métodos para la obtención de piezas.
- Análisis de los parámetros críticos que intervienen en la calidad mediante la cera perdida en el aluminio fundido.
- Análisis de los parámetros críticos que intervienen en la calidad mediante la parafina en el aluminio fundido.
- Interpretación de los resultados con el apoyo del marco teórico.
- Comprobación de la hipótesis.
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones.

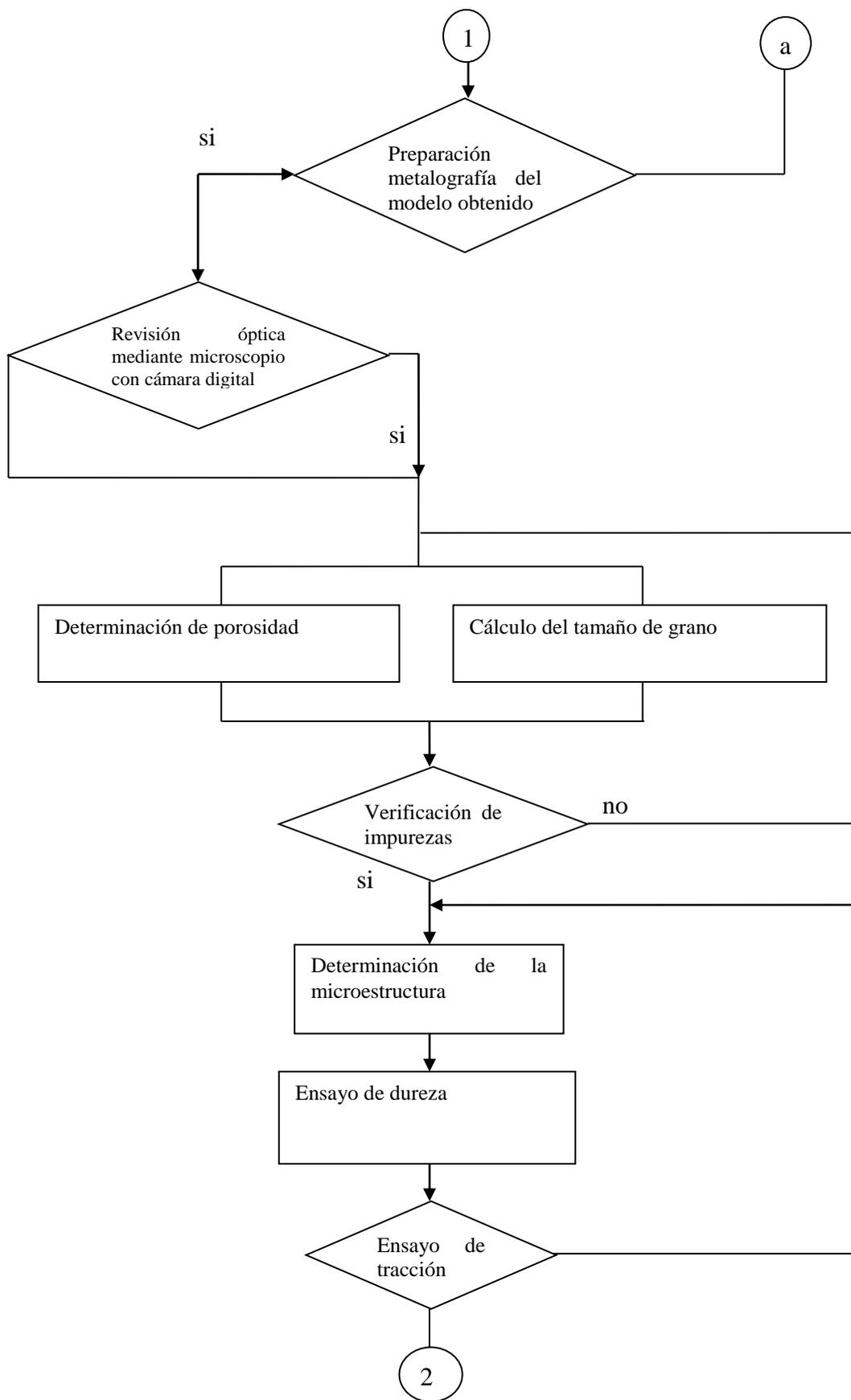
## CAPÍTULO IV

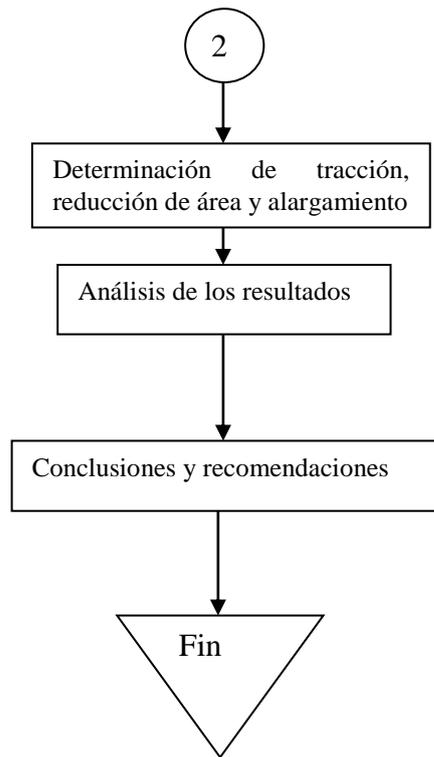
### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 PROCESO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis de los parámetros críticos que intervienen en la calidad mediante la cera perdida en el aluminio fundido.

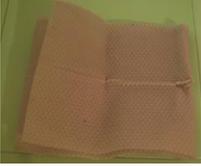






## 4.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presenta los resultados obtenidos en la presente investigación.

 <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div> 					
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					
<b>PROBETA N°</b>	01	<b>Autorizado por:</b>	Ing. Segundo Espín	<b>Realizado por:</b>	Solórzano Salto Pamela
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de Materiales- FICM			<b>Fecha de ejecución:</b>	03/08/2012
<b>Temperatura ambiente del lugar:</b>	21°C		<b>Flujo de aire del medio:</b>	Estático	
ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL UTILIZADO EN GENERAL					
					<b>DETALLE REFERENCIAL</b>
<b>Especificación del material</b>	Cera perdida o cera de abeja	<b>Tipo o grado</b>	Amarillo		
<b>Ancho</b>	1,5 mm	<b>Punto de fusión</b>	62 y 65 °C		
<b>Longitud</b>	44 x 20 cm	<b>Tratamiento</b>	Ninguno		
<b>Características</b>	Es obtenida de las abejas y se la conoce también como cera amarilla o cera virgen				
<b>OBSERVACIÓN:</b> La cera perdida es muy manejable ya una vez obtenida la figura deseada se puede moldear bien.					
					<b>DETALLE REFERENCIAL</b>
<b>Especificación del material</b>	Aluminio Electrolítico	<b>Tipo o grado</b>	Plateado		
<b>Diámetro</b>	1.2 cm	<b>Dureza</b>	158 HB		
<b>Longitud</b>	50 m	<b>Tratamiento</b>	Ninguno		
<b>Características</b>	Tiene el doble de conductividad y tiene una alta ductilidad a temperaturas elevadas, además son utilizados para líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica.				

#### 4.2.1.- Evaluación de las probetas de aluminio mediante el método cera perdida

<p><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b></p>  <p><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b></p>				
<b>ESPECIFICACIÓN DE LA FIGURAS EN GENERAL</b>				
<b>PIEZA OBTENIDA</b>				
  	<b>Especificación del material</b>	Aluminio Electrolytic	Tipo de pieza	Engranaje cónico
	<b>Medios de obtención</b>	Figura realizada mediante el moldeo de la cera perdida	Tiempo	30 minutos
	<b>Cantidad de cera perdida</b>	28 gr	Tratamiento	Diluir mediante baño maría
<b>CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE MATERIAL</b>				
<p>Peso de la figura en cera = 28 gr  Densidad del metal (Aluminio) = 2.70 Según la tabla 2.6  Metal extra = 10%</p> <p><math>28 \text{ gr} \times 2.70 = 75.6 \text{ gr} + 10\% = 83.16 \text{ gr}</math></p>				
<p><b>Observaciones:</b>  Se determino que mediante esta ecuación se puede saber cuanto de metal se puede necesitar para la fundición y así no desperdiciar material.</p>				



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



**ENSAYO METALOGRAFICO**

<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N:</b>	01
<b>Identificación del componente de estudio:</b>	Probeta N: 01		
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	03/08/2012
<b>Centro de estudio y de análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Pamela Solórzano	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Segundo Espín

**PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO**

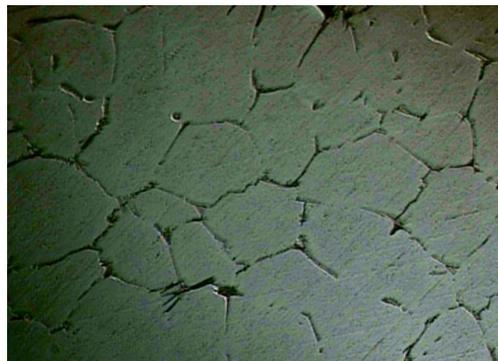
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura ambiente:</b>	22.5 °C	<b>Radiación:</b>	0.2 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.8 m/s	<b>Otros:</b>	
<b>Materia prima:</b> Cera perdida	<b>Tiempo de secado molde:</b> 3horas	<b>Temperatura:</b> 240°C	

**PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO**

<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3
<b>Acondicionamiento de la superficie por:</b>	Pulido mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b> 22 °C	<b>Superficie preparada en:</b>	30 min	
<b>Ataque químico de la superficie con:</b> Reactivo para aluminio y aleaciones	<b>Tiempo de ataque:</b>	2 min, 30 seg	

**RESULTADOS**

**MICROESTRUCTURA DE LA PIEZA OBTENIDA A (200 X)**



**Aluminio fundido 200X, 2 min 30 seg, Keller**

**OBSERVACIONES:**

Se observa una microestructura uniforme sin porosidad, y grano bien definido.

## EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

**Determinación del tamaño de grano por el procedimiento Planimétrico**

**Microestructura:** Aluminio Electrolítico figura(1), 200X, 2min, Keller

$$N_{ins} = 2 \quad N_{int} = 9$$

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

$f = 8$  por jeffries (200x)

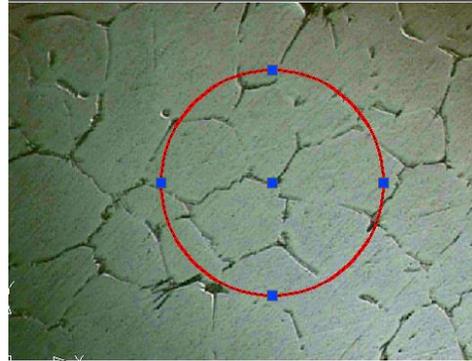
$$N_{AE} = 8 \left( 2 + \frac{9}{2} \right)$$

$$N_{AE} = 52$$

$$G = 1,000 + 3,3219 \log N_{AE}$$

$$G = 1,000 + 3,3219 \log 52$$

$$G = 6.7$$



○ Es el grano que incide.

**Observación:** Se pudo determinar que el tamaño de grano es de 6.7 mediante el proceso Planimétrico.



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



### ENSAYO DE DUREZA

Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N:	01
Identificación del componente del estudio:	Probeta 01		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	03/08/2012
Centro de estudio y análisis:	Laboratorio de materiales - FICM		
Realizado por:	Pamela Solórzano	Supervisado por:	Ing. Segundo Espín

### PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

**Lugar:**

Universidad Técnica de Ambato campus Huachi

Temperatura ambiente:	22 °C	Radiación:	0,2 W/m <sup>2</sup>
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/seg	Otros:	

### PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	2.5 mm		
Cantidad de carga aplicada:	612.9 N (62.5 Kgf)	Tiempo de ensayo:	15 min

### RESULTADOS DE ENSAYOS:

# de indentación	$\phi$ de la indentación	Dureza HB
1	1.500	31.8
2	1.315	42.6
3	1.285	44.8
4	1.395	37.3
5	1.245	47.9
<b>Mínimo: 31.8</b>	<b>Máximo: 47.9</b>	<b>Promedio: 40.88 HB</b>

**Resultado:**

Diámetro de la huella 1,348 mm, dureza 40.88 HB según catalogo de fabricante.



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



**ENSAYO METALOGRAFICO**

<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N:</b>	02
<b>Identificación del componente de estudio:</b>	<b>Probeta N: 02</b>		
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	09/08/2012
<b>Centro de estudio y de análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Pamela Solórzano	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Segundo Espín

**PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO**

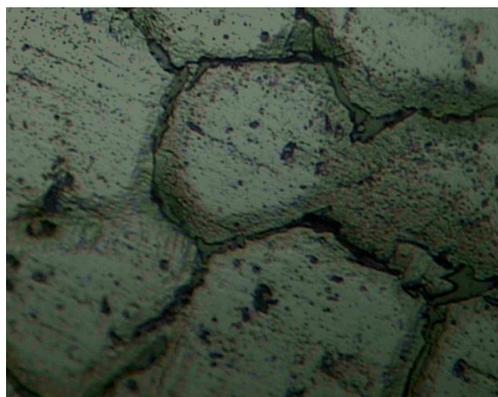
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura ambiente:</b>	21 °C	<b>Radiación:</b>	1.2 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.1 m/s	<b>Otros:</b>	
<b>Materia prima:</b> Cera perdida	<b>Tiempo de secado molde:</b> 3horas	<b>Temperatura:</b> 240°C	

**PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO**

<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3
<b>Acondicionamiento de la superficie por:</b>	Pulido mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	21 °C	<b>Superficie preparada en:</b>	40 min
<b>Ataque químico de la superficie con:</b>	Reactivo para aluminio y aleaciones	<b>Tiempo de ataque:</b>	2 min, 15 seg.

**RESULTADOS**

**MICROESTRUCTURA DE LA PIEZA OBTENIDA A (200X)**



Aluminio fundido 200 X, 2 min con 15 seg, Keller

**OBSERVACIONES:**

Se observa una microestructura uniforme sin porosidad, y granos bien definidos

## EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

**Determinación del tamaño de grano mediante el procedimiento Planimétrico**

**Microestructura:** Aluminio Electrolítico figura(2), 200X, 2min15seg , Keller

$$N_{ins} = 1 \quad N_{int} = 2$$

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

$$f = 8 \text{ por jeffries (200x)}$$

$$N_{AE} = 8 \left( 1 + \frac{2}{2} \right)$$

$$N_{AE} = 16$$

$$G = 1,000 + 3,3219 \log N_{AE}$$

$$G = 1,000 + 3,3219 \log 16$$

$$G = 4.9 \cong 5$$



○ Grano que incide

**Observación:** Se pudo determinar que el tamaño de grano es de 5 mediante el proceso Planimétrico.



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



### ENSAYO DE DUREZA

<b>Tipo de estudio:</b>	Laboratorio	<b>Ensayo N:</b>	02
Identificación del componente del estudio:	Probeta 02		
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	09/08/2012
<b>Centro de estudio y análisis:</b>	Laboratorio de materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Pamela Solórzano	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Segundo Espín

### PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

<b>Lugar:</b> Universidad Técnica de Ambato campus Huachi			
<b>Temperatura ambiente:</b>	22 °C	<b>Radiación:</b>	0,2 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.1 m/seg	<b>Otros:</b>	

### PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

<b>Método:</b>	Brinell		
<b>Tipo de penetrador:</b>	2.5 mm		
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	612.9 N (62.5 Kgf)	<b>Tiempo de ensayo:</b>	15 min

### RESULTADOS DE ENSAYOS

# de indentación	φ de la indentación	Dureza HB
1	1.445	34.6
2	1.497	32.0
3	1.500	31.8
4	1.500	31.8
5	1.503	31.9
<b>Mínimo:1.445</b>	<b>Máximo:1.503</b>	<b>Promedio:32.42</b>

**Resultado:**  
Diámetro de la huella 1.489 mm, dureza 32.42 HB según catalogo de fabricante.



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



### ENSAYO METALOGRAFICO

<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N:</b>	03
<b>Identificación del componente de estudio:</b>	<b>Probeta N: 03</b>		
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	15/08/2012
<b>Centro de estudio y de análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Pamela Solórzano	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Segundo Espín

### PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

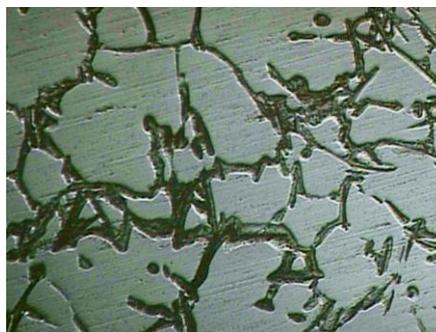
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura ambiente:</b>	22.5 °C	<b>Radiación:</b>	0.2 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.8 m/s	<b>Otros:</b>	
<b>Materia prima:</b> Cera perdida	<b>Tiempo de secado molde:</b> 3horas	<b>Temperatura:</b> 260°C	

### PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3
<b>Acondicionamiento de la superficie por:</b>	Pulido mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	22 °C	<b>Superficie preparada en:</b>	30 min
<b>Ataque químico de la superficie con:</b>	Reactivo para aluminio y aleaciones	<b>Tiempo de ataque:</b>	2 min, 45 seg

### RESULTADOS

#### MICROESTRUCTURA DE LA PIEZA OBTENIDA (200X)



Aluminio fundido 200X, 2 min con 45 seg, Keller

### OBSERVACIONES:

Se observa una microestructura uniforme sin porosidad, y granos bien definidos.

## EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

**Determinación del tamaño de grano mediante el procedimiento Planimétrico**

**Microestructura:** Aluminio Electrolytic figura(3), 200X, 2 min-45 seg, Keller

$$N_{ins} = 4 \quad N_{int} = 7$$

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

$$f = 8 \text{ por jeffries (200x)}$$

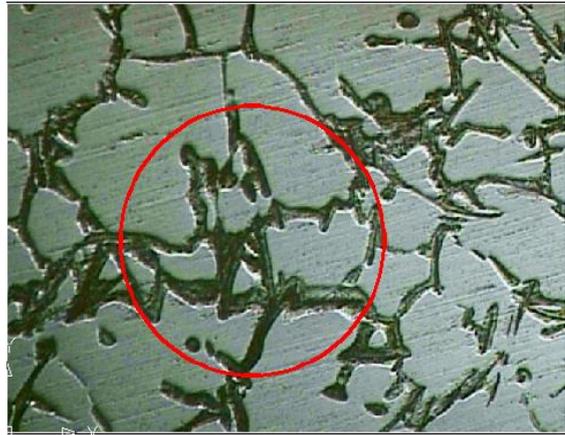
$$N_{AE} = 8 \left( 4 + \frac{7}{2} \right)$$

$$N_{AE} = 60$$

$$G = 1,000 + 3,3219 \log N_{AE}$$

$$G = 1,000 + 3,3219 \log 60$$

$$G = 6.9 \cong 7$$



○ Grano que incide

**Observación:** Se pudo determinar que el tamaño de grano es de 6.9 o 7 aproximado mediante el proceso Planimétrico.



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



### ENSAYO DE DUREZA

<b>Tipo de estudio:</b>	Laboratorio	<b>Ensayo N:</b>	03
Identificación del componente del estudio:		Probeta 03	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	15/08/2012
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
<b>Realizado por:</b>	Pamela Solórzano	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Segundo Espín

### PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

**Lugar:**

Universidad Técnica de Ambato campus Huachi

<b>Temperatura ambiente:</b>	22 °C	<b>Radiación:</b>	0,2 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.1 m/seg	<b>Otros:</b>	

### PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

<b>Método:</b>	Brinell		
<b>Tipo de penetrador:</b>	2.5 mm		
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	612.9 N (62.5 Kgf)	<b>Tiempo de ensayo:</b>	15 min

### RESULTADO DE ENSAYOS

# de indentación	φ de la indentación	Dureza HB
1	1.260	46.7
2	1.315	42.6
3	1.390	37.7
4	1.485	32.6
5	1.525	56.5
<b>Mínimo:1.260</b>	<b>Máximo:1.525</b>	<b>Promedio:43.22 HB</b>

**Resultado:**

Diámetro de la huella es 1.395 mm, dureza 43.22 HB según el catalogo de fabricante.



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



**ENSAYO METALOGRAFICO**

<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N:</b>	04
Identificación del componente de estudio:		<b>Probeta N:</b> 04	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	24/08/2012
Centro de estudio y de análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
<b>Realizado por:</b>	Pamela Solórzano	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Segundo Espín

**PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO**

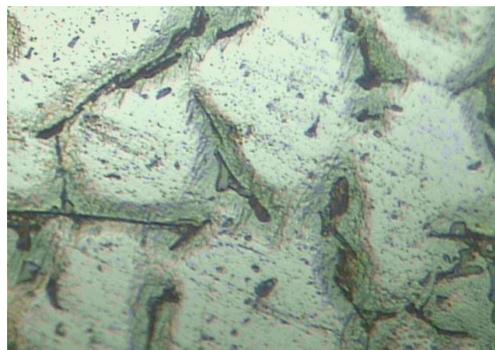
<b>Lugar:</b>		Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA	
<b>Temperatura ambiente:</b>	22.5 °C	<b>Radiación:</b>	0.2 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.8 m/s	<b>Otros:</b>	
<b>Materia prima:</b> Cera perdida	<b>Tiempo de secado molde:</b> 4horas	<b>Temperatura:</b> 280°C	

**PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO**

<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3
<b>Acondicionamiento de la superficie por:</b>		Pulido mecánico	
<b>Temperatura durante el pulido</b>	22 °C	<b>Superficie preparada en:</b>	30 min
<b>Ataque químico de la superficie con:</b>	Reactivo para aluminio y aleaciones	<b>Tiempo de ataque:</b>	2 min

**RESULTADOS**

**MICROESTRUCTURA DE LA PIEZA OBTENIDA (200X)**



**Aluminio fundido 200X, 2 min , Keller**

**OBSERVACIONES.**

Se observa una microestructura con irregularidades en el contorno del grano, presencia de porosidad.

## EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

**Determinar el tamaño del grano mediante el procedimiento Planimétrico**

**Microestructura:** Aluminio Electrolytic  
figura(4), 200X, 2 min, Keller

$$N_{ins} = 1 \quad N_{int} = 4$$

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

$$f = 8 \text{ por jeffries (200x)}$$

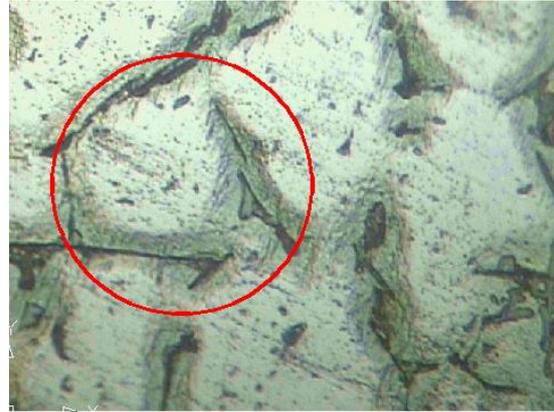
$$N_{AE} = 8 \left( 1 + \frac{4}{2} \right)$$

$$N_{AE} = 24$$

$$G = 1,000 + 3,3219 \log N_{AE}$$

$$G = 1,000 + 3,3219 \log 24$$

$$G = 5.6$$



○ Grano que incide

**Observación:** Se pudo determinar que el tamaño de grano es de 5.6 mediante el proceso Planimétrico



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



**ENSAYO DE DUREZA**

<b>Tipo de estudio:</b>	Laboratorio	<b>Ensayo N:</b>	04
Identificación del componente del estudio:	Probeta 05		
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	24/08/2012
<b>Centro de estudio y análisis:</b>	Laboratorio de materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Pamela Solórzano	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Segundo Espín

**PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO**

**Lugar:**

Sector Huachi Chico/Campus Universitario - UTA

<b>Temperatura ambiente:</b>	22 °C	<b>Radiación:</b>	0,2 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.1 m/seg.	<b>Otros:</b>	

**PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA**

<b>Método:</b>	Brinell		
<b>Tipo de penetrador:</b>	2.5 mm		
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	612.9 N(62.5 Kgf)	<b>Tiempo de ensayo:</b>	15 min

**RESULTADO DE ENSAYOS**

# de indentación	φ de la indentación	Dureza HB
1	1.105	68.8
2	1.210	51.0
3	1.425	37.5
4	1.495	32.1
5	2.105	61.8
<b>Mínimo:1.105</b>	<b>Máximo:2.105</b>	<b>Promedio:49.88 HB</b>

**Resultado:**

Diámetro de la huella 1.268 mm, dureza 49.88 HB según catalogo de fabricante.



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



### ENSAYO METALOGRAFICO

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N:	05
Identificación del componente de estudio:	Probeta N: 05		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	29/08/2012
Centro de estudio y de análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por:	Pamela Solórzano	Supervisado por:	Ing. Segundo Espín

### PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura ambiente:</b>	22.5 °C	<b>Radiación:</b>	0.2 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.8 m/s	<b>Otros:</b>	
<b>Materia prima:</b> Cera perdida	<b>Tiempo de secado molde:</b> 4horas	<b>Temperatura:</b> 280°C	

### PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación:	E3
Acondicionamiento de la superficie por:	Pulido mecánico		
Temperatura durante el pulido:	22 °C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque químico de la superficie con:	Reactivo para aluminio y aleaciones	Tiempo de ataque:	2 min, 15 seg

### RESULTADOS

#### MICROESTRUCTURA DE LA PIEZA OBTENIDA (200X)



Aluminio fundido 400X. 2 min 15 seg Keller

### OBSERVACIONES:

Se observa una microestructura uniforme sin porosidad, y además están granos bien definidos.

## EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

**Determinación del tamaño de grano mediante el procedimiento Planimétrico**

**Microestructura:** Aluminio Electrolítico figura(5), 200X, 2 min15 seg, Keller

$$N_{ins} = 5 \quad N_{int} = 9$$

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

$$f = 8 \text{ por jeffries (200x)}$$

$$N_{AE} = 8 \left( 3 + \frac{6}{2} \right)$$

$$N_{AE} = 76$$

$$G = 1,000 + 3,3219 \log N_{AE}$$

$$G = 1,000 + 3,3219 \log 76$$

$$G = 7.2$$



○ Granos que inciden

**Observación:** Se pudo determinar que el tamaño de grano es de 7.2 mediante el proceso Planimétrico



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



**ENSAYO DE DUREZA**

<b>Tipo de estudio:</b>	Laboratorio	<b>Ensayo N:</b>	05
Identificación del componente del estudio:	Probeta 05		
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	29/08/2012
<b>Centro de estudio y análisis:</b>	Laboratorio de materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Pamela Solórzano	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Segundo Espín

**PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO**

**Lugar:**  
Sector Huachi Chico/Campus Universitario - UTA

<b>Temperatura ambiente:</b>	22 °C	<b>Radiación:</b>	0,2 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.1 m/seg.	<b>Otros:</b>	

**PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA**

<b>Método:</b>	Brinell		
<b>Tipo de penetrador:</b>	2.5 mm		
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	612.9 N(62.5 Kgf)	<b>Tiempo de ensayo:</b>	15 min

**RESULTADO DE ENSAYOS**

# de indentación	φ de la indentación	Dureza HB
1	0.820	115
2	0.885	98.3
3	0.900	90.7
4	0.923	89.7
5	1.055	61.8
<b>Mínimo:61.8</b>	<b>Máximo:115</b>	<b>Promedio:91.1 HB</b>

**Resultado:**

Diámetro de la huella 0.917 mm, dureza 91.1 HB según catalogo de fabricante.



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



**ENSAYO METALOGRAFICO**

<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N:</b>	06
Identificación del componente de estudio:	Probeta N: 06		
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	12/09/2012
<b>Centro de estudio y de análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Pamela Solórzano	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Segundo Espín

**PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO**

<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura ambiente:</b>	22.5 °C	<b>Radiación:</b>	0.2W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.8 m/s	<b>Otros:</b>	
<b>Materia prima:</b> Cera perdida	<b>Tiempo de secado molde:</b> 4horas	<b>Temperatura:</b> 280°C	

**PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO**

<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3
<b>Acondicionamiento de la superficie por:</b>	Pulido mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	22 °C	<b>Superficie preparada en:</b>	30 min
<b>Ataque químico de la superficie con:</b>	Reactivo para aluminio y aleaciones	<b>Tiempo de ataque:</b>	3 min

**RESULTADOS**

**MICROESTRUCTURA DE LA PIEZA OBTENIDA  
(200X)**



**Aluminio fundido 200X, 3 min, Keller**

## EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

### DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO PLANIMÉTRICO

**Microestructura:** Aluminio Electrolítico  
figura(6), 200X 3 min, Keller

$$N_{ins} = 1 \quad N_{int} = 4$$

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

$$f = 8 \text{ por jeffries (200x)}$$

$$N_{AE} = 8 \left( 1 + \frac{4}{2} \right)$$

$$N_{AE} = 24$$

$$G = 1,000 + 3,3219 \log N_{AE}$$

$$G = 1,000 + 3,3219 \log 24$$

$$G = 5.6$$



○ Grano que incide

**Observación:** Se pudo determinar que el tamaño de grano es de 5.6 mediante el proceso Planimétrico



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



**ENSAYO DE DUREZA**

<b>Tipo de estudio:</b>	Laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	06
<b>Identificación del componente del estudio:</b>	Probeta 6		
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	12/09/2012
<b>Centro de estudio y análisis:</b>	Laboratorio de materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Pamela Solórzano	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Segundo Espín

**PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO**

<b>Lugar:</b> Universidad Técnica de Ambato campus Huachi			
<b>Temperatura ambiente:</b>	22 °C	<b>Radiación:</b>	0,2 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.1 m/seg	<b>Otros:</b>	

**PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA**

<b>Método:</b>	Brinell		
<b>Tipo de penetrador:</b>	2.5 mm		
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	612.9 N (62.5 Kgf)	<b>Tiempo de ensayo:</b>	15 min

**RESULTADO DE ENSAYOS**

# de indentación	φ de la indentación	Dureza HB
1	0.983	78.7
2	1.035	71.0
3	1.050	68.8
4	1.085	64.2
5	1.150	56.8
<b>Mínimo:56.8</b>	<b>Máximo:78.7</b>	<b>Promedio:67.9 HB</b>

**Resultado:**  
 Diámetro de la huella 1.061 mm, dureza 67.9 HB según catalogo de fabrica.

**4.2.2.- EVALUACIÓN DE LAS PROBETAS DE ALUMINIO ELECTROLÍTICO UTILIZANDO EL MÉTODO DE LA PARAFINA PARA LA OBTENCIÓN DE PIEZAS.**

 <p style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMABTO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </p> 					
<b>REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>PROBETA N°</b>	02	<b>Autorizado por:</b>	Ing. Segundo Espín	<b>Realizado por:</b>	Solórzano Saltos Pamela
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de Materiales- FICM			<b>Fecha de ejecución:</b>	18/10/2012
<b>Temperatura ambiente del lugar:</b>	21°C		<b>Flujo de aire del medio:</b>	Estático	
<b>ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL UTILIZADO EN GENERAL</b>					
					<b>DETALLE REFERENCIAL</b>
<b>Especificación del material</b>	Parafina o vela	<b>Tipo o grado</b>	Transparente o prefabricada (Colores)		
<b>Ancho</b>	5 cmφ	<b>Punto de fusión</b>	72 y 74 °C		
<b>Longitud</b>	7 cm	<b>Tratamiento</b>	Ninguno		
<b>Características</b>	Es elaborada como velas o también como figuras.				
<p><b>OBSERVACIÓN:</b> La parafina no es muy manejable ya que tiende a secarse de inmediato y se comprime en el molde y no se logra sacar un molde deseado.</p>					



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



**ENSAYO METALOGRAFICO**

<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N:</b>	07
Identificación del componente de estudio:		<b>Probeta N:</b> 07	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	18/10/2012
<b>Centro de estudio y de análisis:</b>		Laboratorio de Materiales - FICM	
<b>Realizado por:</b>	Pamela Solórzano	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Segundo Espín

**PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO**

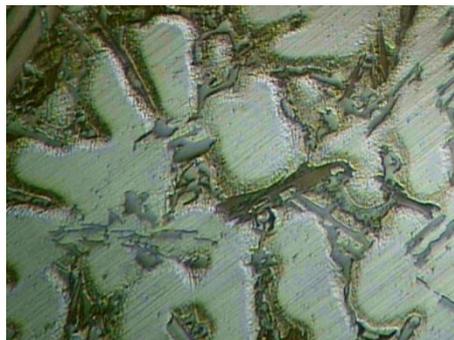
**Lugar:**  
 Universidad Técnica de Ambato campus Huachi

<b>Temperatura ambiente:</b>	22.5 °C	<b>Radiación:</b>	0.2 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.8 m/s	<b>Otros:</b>	
<b>Materia prima:</b> Parafina		<b>Tiempo de secado molde:</b> 4horas	<b>Temperatura:</b> 240°C

**PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO**

<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3
Acondicionamiento de la superficie por:		Pulido mecánico	
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	22 °C	<b>Superficie preparada en:</b>	30 min
<b>Ataque químico de la superficie con:</b>	Reactivo para aluminio y aleaciones	<b>Tiempo de ataque:</b>	1 min, 15 seg

**RESULTADOS**  
**MICROESTRUCTURA DE LA PIEZA OBTENIDA (200X)**



**Aluminio fundido 200X, 1 min, 15 seg, Keller**

**OBSERVACIONES:**  
 Se observa irregularidad en el contorno de los granos, presencia de porosidad.

## EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

**Determinación del tamaño de grano mediante el procedimiento planimétrico**

**Microestructura:** Aluminio Electrolítico figura(6),200X, 1 min15 seg, Keller

$$N_{ins} = 1 \quad N_{int} = 6$$

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

$$f = 8 \text{ por jeffries (200x)}$$

$$N_{AE} = 8 \left( 1 + \frac{6}{2} \right)$$

$$N_{AE} = 32$$

$$G = 1,000 + 3,3219 \log N_{AE}$$

$$G = 1,000 + 3,3219 \log 32$$

$$G = 6$$



○ Grano que incide

**Observación:** Se pudo determinar que el tamaño de grano es de 6 mediante el proceso Planimétrico



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



**ENSAYO DE DUREZA**

<b>Tipo de estudio:</b>	Laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	07
Identificación del componente del estudio:	Probeta 7		
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	18/10/2012
<b>Centro de estudio y análisis:</b>	Laboratorio de materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Pamela Solórzano	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Segundo Espín

**PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO**

**Lugar:**

Universidad Técnica de Ambato campus Huachi

<b>Temperatura ambiente:</b>	22 °C	<b>Radiación:</b>	0,2 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.1 m/seg	<b>Otros:</b>	

**PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA**

<b>Método:</b>	Brinell		
<b>Tipo de penetrador:</b>	2.5 mm		
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	612.9 N(62.5 Kgf)	<b>Tiempo de ensayo:</b>	15 min

**RESULTADO DE ENSAYOS**

# de indentación	φ de la indentación	Dureza HB
1	1.2975	43.8
2	1.3025	43.5
3	1.3050	43.3
4	1.3075	43.1
5	1.210	42.9
<b>Mínimo:42.9</b>	<b>Máximo:43.8</b>	<b>Promedio:43.3 HB</b>

**Resultado:**

Diámetro de la huella 1.305 mm, dureza 43.3 HB según el catalogo de fabrica.



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



### ENSAYO METALOGRAFICO

<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N:</b>	08
<b>Identificación del componente de estudio:</b>	<b>Probeta N: 08</b>		
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	21/09/2012
<b>Centro de estudio y de análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Pamela Solórzano	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Segundo Espín

### PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

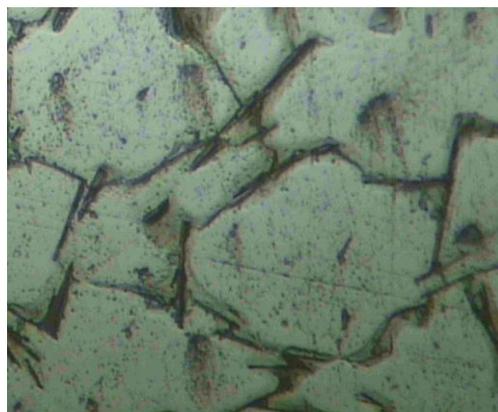
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura ambiente:</b>	22.5 °C	<b>Radiación:</b>	0.2 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.8 m/s	<b>Otros:</b>	
<b>Materia prima:</b> Parafina	<b>Tiempo de secado molde:</b> 4horas	<b>Temperatura:</b> 240°C	

### PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3
<b>Acondicionamiento de la superficie por:</b>	Pulido mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	22°C	<b>Superficie preparada en:</b>	30 min
<b>Ataque químico de la superficie con:</b>	Reactivo para el aluminio y aleaciones	<b>Tiempo de ataque:</b>	3 min

### RESULTADOS

#### MICROESTRUCTURA DE LA PIEZA OBTENIDA (200X)



Aluminio fundido 200X, 3 min, Keller

### OBSERVACIONES:

Se observa una microestructura uniforme sin porosidad, y grano bien definido.

## EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

### DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DEL GRANO

**Microestructura:** Aluminio Electrolítico  
figura(8), 200X 3 min, Keller

$$N_{ins} = 1 \qquad N_{int} = 5$$

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

$f = 8$  por jeffries (200x)

$$N_{AE} = 8 \left( 1 + \frac{5}{2} \right)$$

$$N_{AE} = 28$$

$$G = 1,000 + 3,3219 \log N_{AE}$$

$$G = 1,000 + 3,3219 \log 28$$

$$G = 5.8$$



○ Grano que incide

**Observación:** Se pudo determinar que el tamaño de grano es de 5.8 mediante el proceso planimétrico.



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



**ENSAYO DE DUREZA**

<b>Tipo de estudio:</b>	Laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	08
Identificación del componente del estudio:		Probeta 08	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	21/09/2012
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de materiales - FICM	
<b>Realizado por:</b>	Pamela Solórzano	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Segundo Espín

**PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO**

**Lugar:**  
 Universidad Técnica de Ambato campus Huachi

<b>Temperatura ambiente:</b>	22 °C	<b>Radiación:</b>	0,2 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.1 m/seg	<b>Otros:</b>	

**PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA**

<b>Método:</b>	Brinell		
<b>Tipo de penetrador:</b>	2.5 mm		
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	612.9 N (62.5 Kgf)	<b>Tiempo de ensayo:</b>	15 min

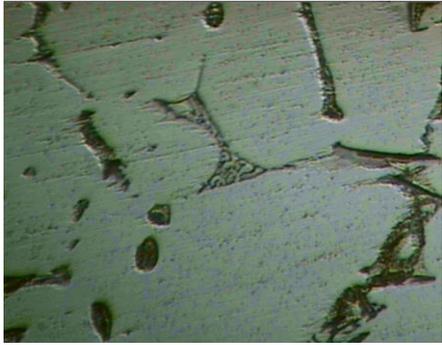
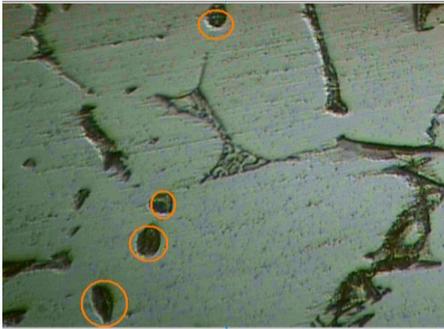
**RESULTADO DE ENSAYOS**

# de indentación	φ de la indentación	Dureza HB
1	1.3075	43.1
2	1.3100	42.9
3	1.3125	42.8
4	1.3175	42.4
5	1.3250	41.9
<b>Mínimo: 41.9</b>	<b>Máximo: 43.1</b>	<b>Promedio: 42.6 HB</b>

**Resultado:** Diámetro de la huella 1.315 mm, dureza 42.6 HB según el catalogo de fabrica

#### 4.2.2.1 COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE POROSIDAD ENCONTRADOS EN LAS PROBETAS MEDIANTE EL MOLDEO EN YESO Y EL MOLDEO EN ARENA.

##### MEDIANTE EL MOLDEO EN YESO

<b>ÍNDICE DE POROSIDAD</b>	
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>	
Lugar de análisis: Laboratorio de Materiales FICM - UTA	<b>Fecha:</b>
<b>Solicitado por:</b>	<b>Realizado por:</b> Pamela Solórzano Saltos
<b>Supervisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
<b>Probeta N:</b> 02	<b>Ensayo N:</b> 01 – 1/2
<b>Material:</b> Aluminio puro	<b>Fundido en:</b> Moldeo en yeso
<b>Tratamiento térmico:</b> Ninguno	
<b>DATOS PARA EL ENSAYO</b>	
Se tomo como referencia una de las probetas que se utilizo en las practicas metalograficas que se obtuvo mediante el método del yeso, cuya superficie bien pulida nos ayuda visualizar el índice de porosidad que existe en la probeta y por este método, las medidas de dicha superficie es de $1\text{cm}^2$	
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b> <b>MICROESTRUCTURA DE LA PIEZA OBTENIDA</b> <b>(200X)</b>	
	
Imagen de la probeta metalográfica para realizar el ensayo visual.	Conteo de poros en la probeta metalográfica.
Área de la superficie de estudio: $0.003\text{mm}^2$	Numero de poros: 4
<b>RESULTADOS:</b> Al realizar una inspección visual en una de las probetas que se realizó mediante el moldeo en yeso, mediante el método de cera perdida se pudo observar que hay pocos poros, por lo que se va a comparar por el método de la arena, mientras tanto el numero de poros encontrados en esta superficie es de 4.	

## MEDIANTE EL MOLDEO EN ARENA

<b>ÍNDICE DE POROSIDAD</b>	
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>	
Lugar de análisis: Laboratorio de Materiales FICM - UTA	Fecha:
<b>Solicitado por:</b>	<b>Realizado por:</b> Pamela Solórzano Saltos
<b>Supervisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
<b>Probeta N:</b> 02	<b>Ensayo N:</b> 02 – 2/2
<b>Material:</b> Aluminio puro	<b>Fundido en:</b> Arena
<b>Tratamiento térmico:</b> Ninguno	
<b>DATOS PARA EL ENSAYO</b>	
<p>Se tomó como referencia una de las probetas que se utilizó en las prácticas de ensayo a tracción que se obtuvo mediante el método de la arena, cuya superficie bien pulida nos ayuda visualizar el índice de porosidad que existe en esta probeta y por este método, las medidas de dicha superficie es de <math>1\text{cm}^2</math></p>	
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>	
<b>MICROESTRUCTURA DE LA PIEZA OBTENIDA</b>	
<b>(200X)</b>	
	
Imagen de la probeta metalográfica para realizar el ensayo visual	Conteo de poros en la probeta metalográfica.
Área de la superficie de estudio: $0.003\text{mm}^2$	Numero de poros: 13
<p><b>RESULTADOS:</b> Al realizar una inspección visual en una de las probetas que se realizó mediante el moldeo en arena, se pudo observar que a hay más porosidad que por el método antes mencionado, por lo que el número de poros encontrados en esta superficie es de 13.</p>	

### 4.3.3 ENSAYOS DE TRACCIÓN DEL ALUMINIO ELECTROLÍTICO FUNDIDO A 660°C

ENSAYO A TRACCIÓN	
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>	
Lugar de análisis: Laboratorio de Materiales FICM - UTA	
Solicitado por:	Realizado por: Pamela Solórzano Saltos
Supervisado por: Ayudante de Laboratorio	Aprobado por:
Probeta N: 01	Ensayo N: 01
Material: Aluminio Electrolítico	Tratamiento térmico: Ninguno
<b>DATOS PARA EL ENSAYO</b>	
Norma: ASTM	Designación: E 08
Probeta: Cilíndrica	
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>	
Fecha de ejecución: 19/07/2013	
Carga máxima: 155.9 Kg	
Carga de ruptura 155.9 Kg	
<b>RESULTADO:</b>	
<b>ALUMINIO ELECTROLÍTICO FUNDIDO</b>	
<p style="text-align: center;">DIAGRAMA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN</p>	
<p><b>Cálculo del porcentaje de alargamiento (%):</b></p> $\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \quad \varepsilon = \frac{53 - 50}{50} * 100 \quad \varepsilon = 6\%$	
<p><b>Cálculo de porcentaje de reducción de área (%):</b></p> $\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \quad \% \text{ reducción} = \frac{126.6 - 123}{126.6} * 100$ <p><math>\% \text{ reducción} = 2.84\%</math></p>	
<p><b>Cálculo de la resistencia última a la tracción:</b></p> $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \quad S_{ut} = \frac{155.9 \text{ Kg}}{126.6 \text{ mm}^2} \quad S_{ut} = 1.23 \text{ Kg/mm}^2$	

## ENSAYO A TRACCIÓN

### DATOS INFORMATIVOS

Lugar de análisis: Laboratorio de Materiales FICM - UTA	
Solicitado por:	Realizado por: Pamela Solórzano Saltos
Supervisado por: Ayudante de Laboratorio	Aprobado por:
Probeta N: 01	Ensayo N: 02
Material: Aluminio Electrolítico	Tratamiento térmico: Ninguno

### DATOS PARA EL ENSAYO

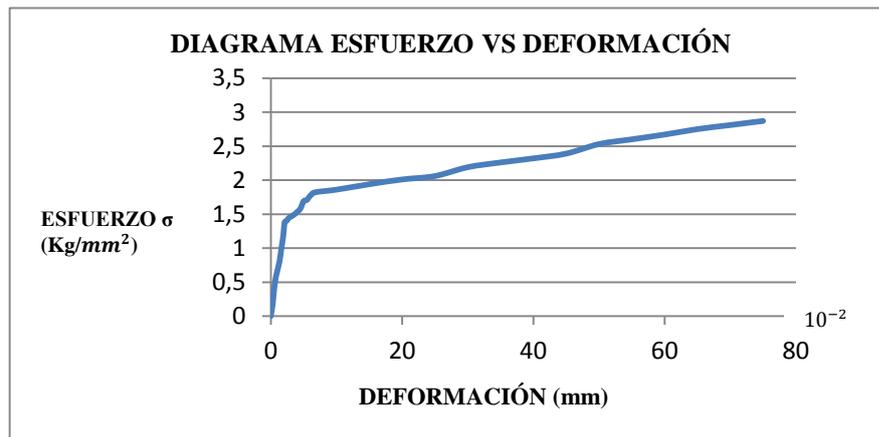
Norma: ASTM	Designación: E 08
Probeta: Cilíndrica	

### RESULTADOS DEL ENSAYO

Fecha de ejecución: 19/07/2013
Carga máxima: 395.7 Kg
Carga de ruptura 395.7 Kg

### RESULTADO:

#### ALUMINIO ELECTROLÍTICO FUNDIDO



#### Cálculo del porcentaje de alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \qquad \varepsilon = \frac{55 - 50}{50} * 100 \qquad \varepsilon = 10\%$$

#### Cálculo de porcentaje de reducción de área (%):

$$\% \text{ reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \qquad \% \text{ reducción} = \frac{126.6 - 124.69}{126.6} * 100$$

$$\% \text{ reducción} = 1.5\%$$

#### Cálculo de la resistencia última a la tracción:

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} \qquad S_{ut} = \frac{395.7 \text{ Kg}}{126.5 \text{ mm}^2} \qquad S_{ut} = 3,13 \text{ Kg/mm}^2$$

## ENSAYO A TRACCIÓN

### DATOS INFORMATIVOS

Lugar de análisis: Laboratorio de Materiales FICM - UTA

Solicitado por: Realizado por: Pamela Solórzano Saltos

Supervisado por: Ayudante de Laboratorio Aprobado por:

Probeta N: 03 Ensayo N: 03

Material: Aluminio Electrolítico Tratamiento térmico: Ninguno

### DATOS PARA EL ENSAYO

Norma: ASTM Designación: E 08

Probeta: Cilíndrica

### RESULTADOS DEL ENSAYO

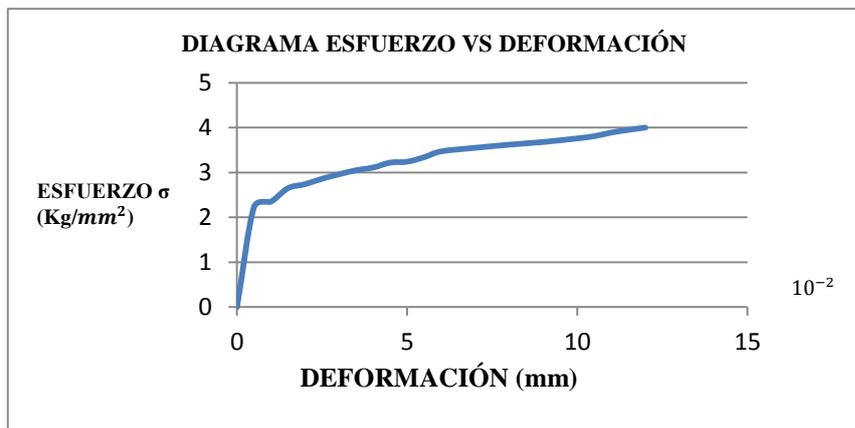
Fecha de ejecución: 19/07/2013

Carga máxima: 505.3 Kg

Carga de ruptura 505.3 Kg

### RESULTADO:

#### ALUMINIO ELECTROLÍTICO FUNDIDO



#### Cálculo del porcentaje de alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \quad \varepsilon = \frac{56 - 50}{50} * 100 \quad \varepsilon = 12$$

#### Cálculo de porcentaje de reducción de área (%):

$$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \quad \% \text{ reducción} = \frac{126.6 - 110.75}{126.6} * 100$$
$$\% \text{ reducción} = 12.5$$

#### Cálculo de la resistencia última a la tracción:

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \quad S_{ut} = \frac{505.3 \text{ Kg}}{126.5 \text{ mm}^2} \quad S_{ut} = 3.9 \text{ Kg/mm}^2$$

## ENSAYO A TRACCIÓN

### DATOS INFORMATIVOS

Lugar de análisis: Laboratorio de Materiales FICM - UTA	
Solicitado por:	Realizado por: Pamela Solórzano Saltos
Supervisado por: Ayudante de Laboratorio	Aprobado por:
Probeta N: 02	Ensayo N: 04
Material: Aluminio Electrolítico	Tratamiento térmico: Ninguno

### DATOS PARA EL ENSAYO

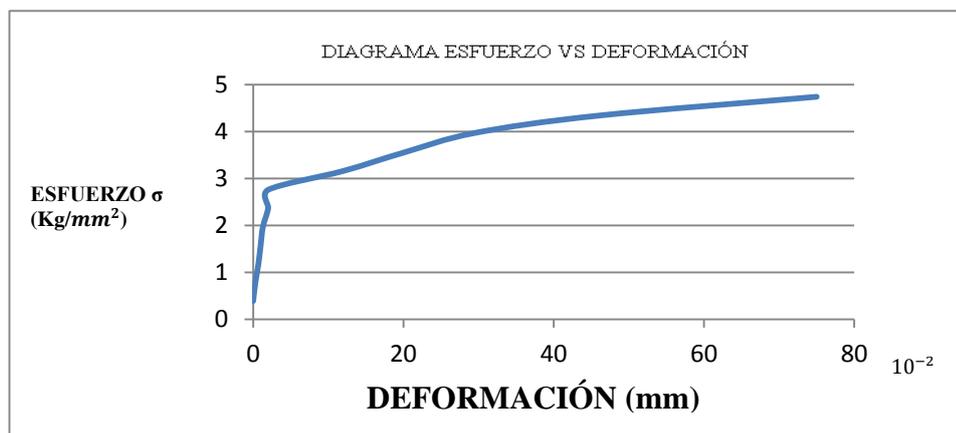
Norma: ASTM	Designación: E 08
Probeta: Cilíndrica	

### RESULTADOS DEL ENSAYO

Fecha de ejecución: 22/07/2013
Carga máxima: 650.9 Kg
Carga de ruptura 650.9 Kg

### RESULTADO:

#### ALUMINIO ELECTROLÍTICO FUNDIDO



#### Cálculo del porcentaje de alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \qquad \varepsilon = \frac{54 - 50}{50} * 100 \qquad \varepsilon = 8$$

#### Cálculo de porcentaje de reducción de área (%):

$$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \qquad \% \text{ reducción} = \frac{126.5 - 119.46}{126.5} * 100$$

$$\% \text{ reducción} = 5.6$$

#### Cálculo de la resistencia última a la tracción:

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \qquad S_{ut} = \frac{650.9 \text{ Kg}}{126.5 \text{ mm}^2} \qquad S_{ut} = 5.14 \text{ Kg/mm}^2$$

## ENSAYO A TRACCIÓN

### DATOS INFORMATIVOS

Lugar de análisis: Laboratorio de Materiales FICM - UTA	
Solicitado por:	Realizado por: Pamela Solórzano Saltos
Supervisado por: Ayudante de Laboratorio	Aprobado por:
Probeta N: 04	Ensayo N: 05
Material: Aluminio Electrolítico	Tratamiento térmico: Ninguno

### DATOS PARA EL ENSAYO

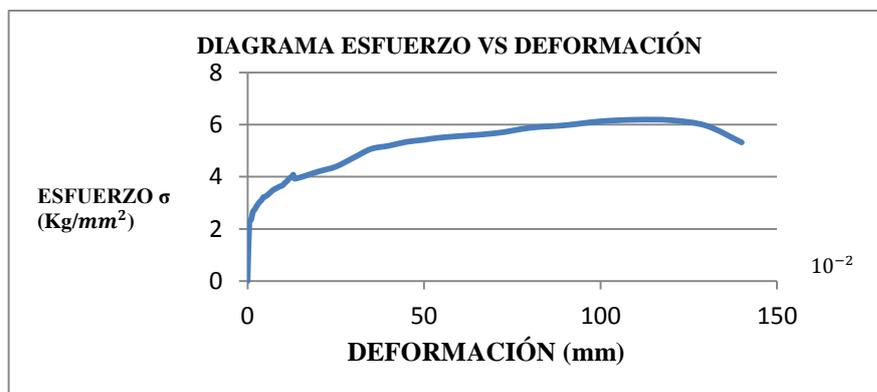
Norma: ASTM	Designación: E 08
Probeta: Cilíndrica	

### RESULTADOS DEL ENSAYO

Fecha de ejecución: 22/07/2013
Carga máxima: 805.4 Kg
Carga de ruptura 805.4 Kg

### RESULTADO:

#### ALUMINIO ELECTROLÍTICO FUNDIDO



#### Cálculo del porcentaje de alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 ; \varepsilon = \frac{57 - 50}{50} * 100 \quad \varepsilon = 14$$

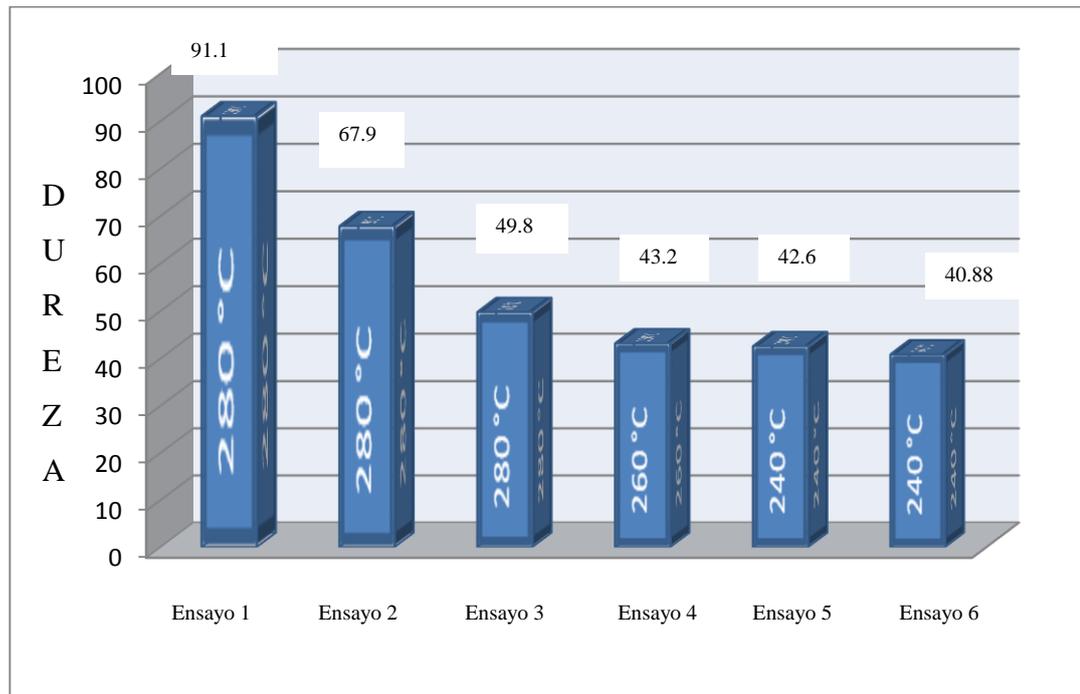
#### Cálculo de porcentaje de reducción de área (%):

$$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 ; \% \text{ reducción} = \frac{126.6 - 107.52}{126.6} * 100 \quad \% = 15.07$$

#### Cálculo de la resistencia última a la tracción:

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \quad S_{ut} = \frac{805.4 \text{ Kg}}{126.5 \text{ mm}^2} \quad S_{ut} = 6.4 \text{ Kg/mm}^2$$

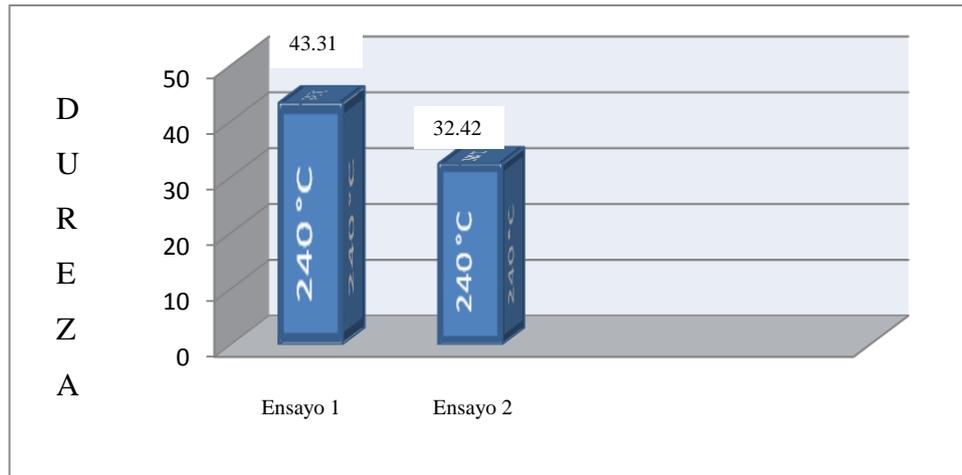
#### 4.4.-INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS



**Figura 4.1. Comparación de dureza de piezas en aluminio mediante la cera perdida**

**Fuente:** La Autora

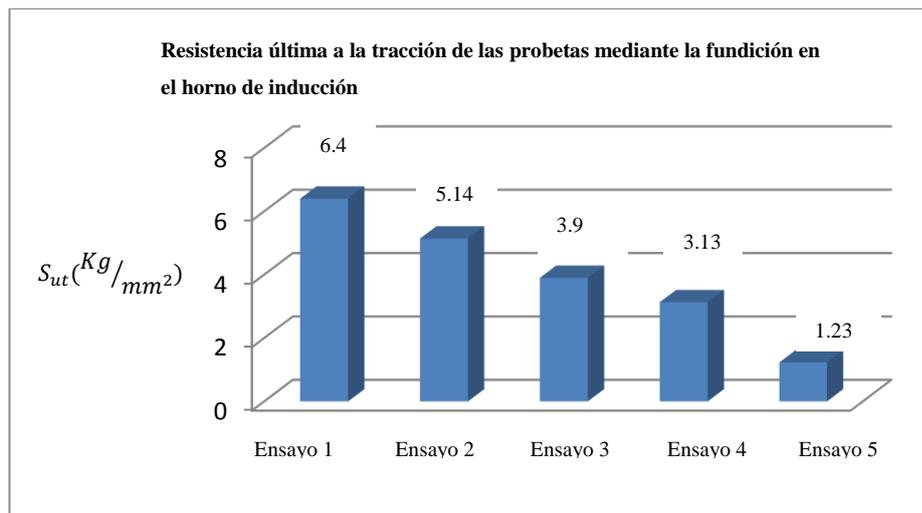
En la figura 4.1, se observa que el valor mas alto de la dureza es de 91.1 HB en piezas de aluminio mediante el método de la cera perdida, esto se debe que al momento de verter el metal fundido en el molde se lo deja enfriar en un tiempo de 15 minutos por ende nos da una dureza alta y la dureza mas baja es de 40.88 HB, esto se debe a que se lo dejo enfriar en un tiempo de 45 minutos.



**Figura 4.2. Comparación de dureza de piezas en aluminio mediante la parafina**  
Fuente: La Autora

En la figura 4.2, se observa que el valor mas alto de la dureza es de 43.31 HB en piezas de aluminio mediante el método de la parafina, esto se debe que al momento de verter el metal fundido en el molde se lo deja enfriar en un tiempo de 15 minutos por ende nos da una dureza alta y la dureza mas baja es de 32.42 HB, esto se debe a que se lo dejo enfriar en un tiempo de 45 minutos.

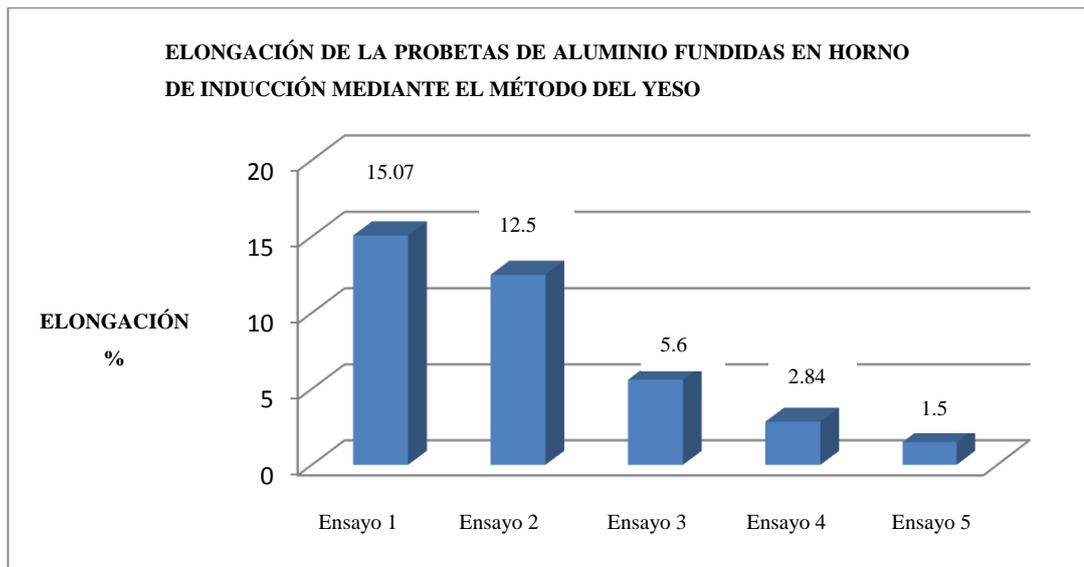
Por eso se llega a una comparación entre las durezas que hay en el método de la cera perdida de 91.1 HB y la parafina de 43.31 HB con el fin de determinar que se cumple una de las propiedades, que es la ductilidad a temperaturas elevadas y responde a la aplicación de fuerzas.



**Figura 4.3. Resistencia a la tracción ultima con probetas de Aluminio Electrolítico fundidas en horno de inducción**

Fuente: La Autora

En la figura 4.3, se puede determinar la resistencia ultima a la tracción del Aluminio electrolítico del ensayo, el valor mas alto que nos dio es de 6.4 Kg/ mm<sup>2</sup> que fue fundida mediante el horno de inducción, que se lo fundió a una temperatura que requiere el aluminio, mientras que el valor mas bajo es de 1.23 Kg/ mm<sup>2</sup> es el que se fundió mediante el horno a gas, es decir que va perdiendo sus propiedades porque no tiene una regulación que permita saber a que temperatura la estamos fundiendo.



**Figura 4.4. Elongación de las probetas realizadas por el método de la arena fundida en el horno de inducción**

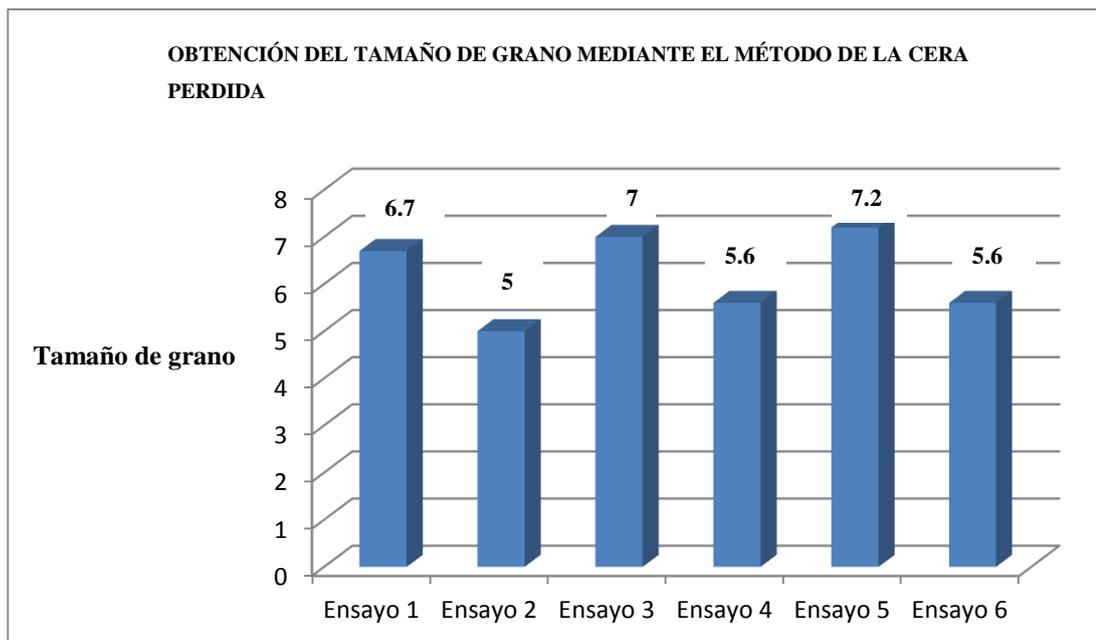
**Fuente:** La Autora

En la figura 4.4, mediante el ensayo experimental de las probetas de Aluminio se obtuvo el valor mas alto que es 15.07 % que se fundió mediante el horno de inducción, mientras que el valor mas bajo se lo obtuvo porque se fundió el aluminio en el horno a gas por eso se obtuvo el valor mas bajo que es de 1.5 %.

**Tabla 4.1 Conteo de poros**

POROSIDAD		
	Moldeo en yeso	Moldeo en arena
Número de poros	4	13

**Fuente:** La Autora



**FIGURA 4.5 Determinación del tamaño de grano mediante cera perdida**  
Fuente: La Autora

En la figura 4.5, se determinó el tamaño de grano que va desde 5 hasta 7.2 donde se los considera como granos finos, esto se debe al enfriamiento rápido y es una ventaja ya que nos da una mayor resistencia a la tracción y mayor resistencia a la dureza.

#### **4.5.- VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Luego de haber ensayado con la elaboración de varios modelos en cera perdida y en parafina, se ha utilizado como material de llenado en los moldes el Aluminio electrolítico fundido ya que es ligero, fuerte y tenaz, se pudo obtener distintas muestras las cuales fueron analizadas tanto por inspección visual y análisis microestructural, donde se determino que la utilización del Aluminio electrolítico satisface específicamente la propiedad de dureza de 91.1 HB que se muestra en la figura 4.1 analizada mediante el método por la cera perdida es el mas apropiado, al ser la cera con mayor fluidez logran con precisión los detalles del modelo y un buen acabado superficial que reduce los defectos de la fundición mientras que por la parafina no se obtuvo buenos resultados porque su dureza fue mucho menor que es de 32.42 HB que se muestra en la figura 4.2, además se pudo observar que por el método del moldeo en yeso se tiene menos porosidad y posee alta resistencia a la compresión y al desgaste, mientras que por el moldeo en arena el aluminio no puede

soportar la acción abrasiva de las arenas de moldeo ni el manejo rudo, además se determino que la dureza es mucho mas factible, y analizando la porosidad superficial del material se concluyo que se disminuyo mediante el moldeo en yeso, mediante el moldeo en arena se determino que la porosidad aumento su índice donde los datos están detallados en la tabla 4.1, por partículas que se encuentran en la arena, donde se selecciono el moldeo en yeso y el método de la cera perdida, donde además se determino que los tamaños de grano mediante la cera perdida están entre 5 y 7.2 como se muestra en la figura 5.5, se los considera granos finos esto se debe a que se lo dejo enfriar al molde en poco tiempo por la que se produce una mayor resistencia a la tracción y mayor resistencia a la dureza, por ello se determinó como uno de los más idóneos que nos brindo una conformidad con los requerimientos del modelo o producto final.

# CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- Se determinó que mediante la cera perdida se puede realizar un solo modelo o para la fundición de revestimiento en matrices.
- Se pudo determinar que mediante el moldeo en yeso es el más factible ya que nos permite derretir la cera perdida en el momento del secado en el horno.
- Se determinó los parámetros fundamentales para realizar una buena obtención de piezas que es secarlo a una temperatura de 280°C por un tiempo de 3 a 4 horas.
- Según los diferentes tamaños de las piezas se las seco en distintos tiempos, lo cual nos dio resultados que se esperaban.
- La temperatura de fusión de la cera perdida es de 65 a 67°C y se lo hace a baño maría.
- Del método de la cera perdida mediante el moldeo en yeso se permitió mejorar las propiedades mecánicas como son: la dureza, esfuerzo de fluencia y la ductilidad del aluminio.
- Se determinó que el aluminio no tiene una buena resistencia a la acción abrasiva de la arena.

- La presente investigación a tenido resultados positivos, donde se pudo determinar que es factible realizar moldes por el moldeo en yeso, y mediante el método de la cera perdida, que brindara una calidad buena el producto
- Conociendo el elemento que genera porosidad en las piezas, es necesario secar bien los moldes, y así se disminuye el grado de humedad del molde de yeso.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Verificar que las máquinas a utilizarse estén en buen estado, para evitar errores en los resultados.
- Comprobar que los materiales a utilizarse sean los correctos
- Se recomienda utilizar el método del moldeo en yeso ya que el método de la arena no se pudo eliminar la cera perdida con el fin de que quede grabada la figura.
- Se debe secar bien el molde de yeso, ya que tiene un cierto grado de humedad con el fin de evitar que se lleguen a formar porosidad en las piezas.
- Se debe tomar muy en cuenta los bebederos y mazarotas que permitan la correcta fluidez del vertido del metal y escape de gases.
- Para el vaciado del aluminio en el molde, se debe asegurar que el molde este caliente con el fin de evitar que se tape los bebederos, y alcance una temperatura de colado de 760 °C.
- Las superficies de las probetas deben estar correctamente preparadas para poder realizar los ensayos de dureza y metalográficas.

- Para el ataque químico del aluminio y aleaciones, se tiene que utilizar el reactivo químico Keller.
- Se debe utilizar el secador, para secar las probetas que se obtuvo de cada una de las piezas que se elaboro.
- Para medir la huella marcada por el durómetro, se debe utilizar el microscopio manual con mucho cuidado ya que la lectura deben ser lo mas exacta posible.
- Se debe utilizar la norma ASTM E8 para realizar los ensayos a tracción.
- Para aplicar el deformímetro se debe calibrar antes el apuntador.
- Se recomienda a futuros investigadores perfeccionar aun más el método de cera perdida para la obtención de piezas metálicas.
- Se recomienda utilizar este método para piezas complicadas, que resultaran difícil o imposible obtenerlos por otros métodos.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA**

#### **6.1.- DATOS INFORMATIVOS**

Los datos para realizar las piezas de aluminio mediante la cera perdida son los siguientes:

El método que se recomienda utilizar es por el moldeo en yeso y la realización de las figuras en cera perdida, porque tiene buena fluidez para la obtención de dichas piezas, además es recomendable secar el molde en el horno a una temperatura de 280 a 300°C por un tiempo de 4 horas como mínimo para disminuir la humedad.

Los ensayos se realizaron en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Laboratorio de Materiales y Laboratorio de Fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica, Campus Huachi Chico.

#### **6.2.- ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

Mediante investigaciones y prácticas realizadas con anterioridad acerca de la obtención de piezas en Aluminio se pudo observar cual es el método adecuado y puede tener muchas variantes, entre ellos tenemos el enfriamiento brusco que tiene el molde hasta llenarlo de metal fundido, formación de mucha porosidad en las piezas al no estar bien seco y caliente el molde, pero se propone realizar el molde con capas finas, estar bien seco y caliente y un tiempo de permanencia específico; por lo cual al cumplir estas indicaciones se han logrado resultados apreciables en comparación con otros moldes realizados anteriormente.

En el presente trabajo de investigación se obtuvo piezas de aluminio sin ningún problema, por ser fácil de conseguir.

### **6.3 JUSTIFICACIÓN**

Es necesario realizar el estudio con el fin de implementar información para la Carrera de Ingeniería Mecánica en el área de Materiales, sobre la utilización de cera perdida y como obtener piezas mecánicas en Aluminio, el Aluminio es utilizado principalmente en forma de aleaciones para mejorar sus propiedades mecánicas, es un material dúctil y maleable, además es un metal no ferroso lo cual es de gran importancia en la industria.

Es de gran valor realizar piezas en Aluminio mediante la cera perdida, además el aluminio tiene doble conductividad que el cobre, este material tiene la dureza mas blanda que otros metales, y al ser utilizado de forma correcta al Aluminio resiste muy bien la corrosión, su resistencia y su ductilidad aumentan a temperaturas por debajo de cero, que es lo opuesto de lo que sucede con el hierro y el acero.

### **6.4 OBJETIVOS**

#### **6.4.1 Objetivo General**

- Establecer un proceso para la obtención de piezas de aluminio por el método de cera perdida.

#### **6.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar si el material a utilizarse es el más adecuado para la elaboración de modelos.
- Determinar la microestructura metalograficas de las piezas obtenidas en Aluminio mediante cera pérdida.
- Evaluar la dureza y la resistencia a la tracción, de las piezas obtenidas por cera perdida.

## 6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Se determinó que la elaboración de la propuesta es factible de realizarse, ya que se cuenta con información necesaria, como son las normas ASTM E112, ASTM E8, ASTM B85, además del recurso humano, materiales e instrumentales que fueron facilitados por el Laboratorio de Materiales de Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi.

### 6.5.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

En el presente estudio, se toma en cuenta que todos los elementos considerados para la elaboración de la propuesta son de costo moderado y son de fácil adquisición, es así que este proyecto sea factible de realizarse.

A continuación se presentan los costos de los materiales que se han utilizado para la realización del estudio.

#### 6.5.1.1 COSTOS DIRECTOS

**Tabla 6.1. Costos para realizar la obtención de piezas en Aluminio mediante cera perdida**

N:	PROCESO	MATERIALES	COSTOS (USD)
1	Adquisición del Material(1)	Aluminio Electrolítico	150
2	Adquisición del Material(2)	Cera perdida (cera de abeja). Parafina	70 15
3	Adquisición del Material (3)	Yeso	40
4	Maquinado del Material	Torneado de las probetas	
5	Secado de moldes	Horno de Mufla	100
6	Fundición	Horno de Fundición	130
7	Acondicionamiento de la superficie	Lijas N°240-600-1200-1500 Paño Metalogràficos	10 25
8	Ataque Químico	Reactivo químico Keller	15
9	Evaluación	Presentación de Reporte	80
		Total	645
		10% Imprevistos	64.5
		<b>COSTO TOTAL</b>	<b>709.5</b>

### 6.5.1.2 COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos se presentan como materiales informáticos, de computación, maquinas, impresiones, etc. Utilizados durante toda la elaboración de la investigación.

**Tabla 6.2. Costo total de la inversión inicial para realizar los ensayos mediante el método de la cera perdida**

<b>Medios de obtención de figuras</b>	<b>Costo total (usd)</b>
Aluminio Electrolítico	150
Cera perdida	70
Yeso	40
Consumo eléctrico	7.92
Gas	10
<b>Total 1:</b>	<b>277.92</b>

**Fuente:** La Autora

**Tabla 6.3: Costo total de la inversión para realizar los ensayos mediante el método de la parafina**

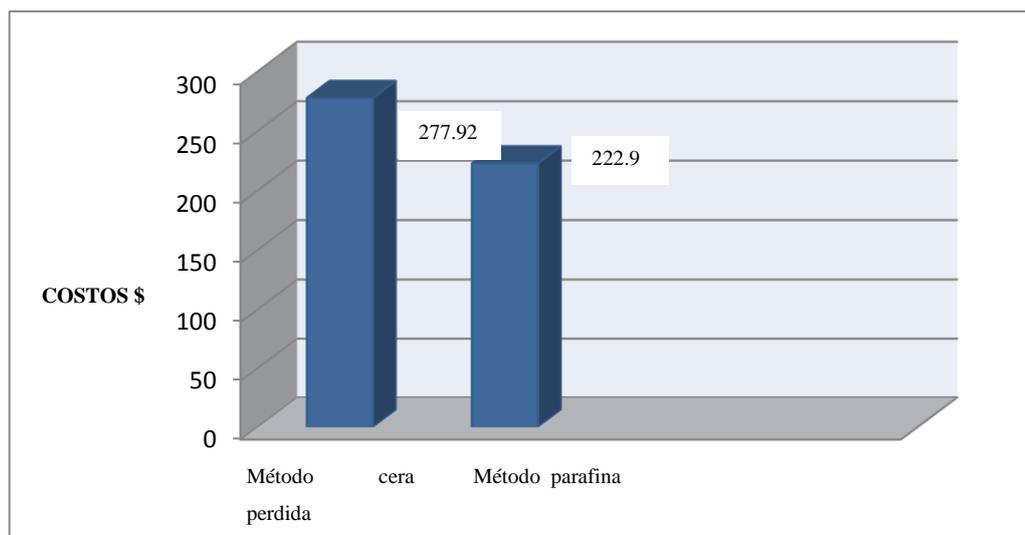
<b>Medios de obtención de figuras</b>	<b>Costo total (Usd)</b>
Aluminio Electrolítico	150
Parafina	15
Yeso	40
Consumo eléctrico	7.92
Gas	10
<b>Total 2:</b>	<b>222.92</b>

**Fuente:** La Autora

**Tabla 6.4 Costos finales en que se va a invertir para realizar los ensayos**

<b>Medios generales</b>	<b>Costos (Usd)</b>
Método cera perdida	277.92
Método parafina	222.92

**Fuente:** La Autora



**Figura 6.1 Costos para la realización de ensayos por los métodos cera perdida vs parafina**

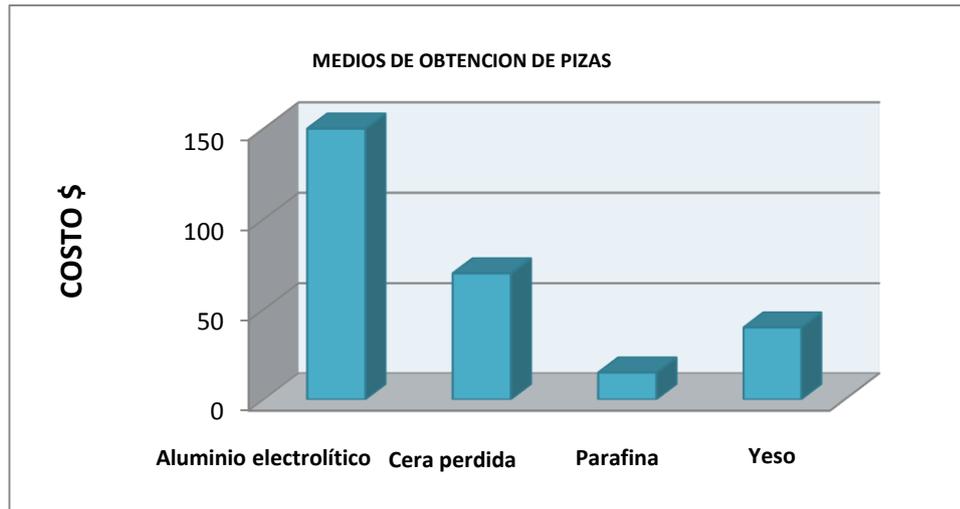
**Fuente:** La Autora

En el grafico 6.1, se puede observar claramente que hay una disminución en los costos generales para poder realizar los ensayos por el método de la cera perdida, el porcentaje de la disminución es de 77.71 % con lo cual se cumple con uno de los objetivos de la investigación.

**Tabla 6.5. Costo total para el ensayo metalográfico mediante la cera perdida, parafina que se utilizo para la obtención de piezas en Aluminio**

Medios de obtención de figuras	Costo total (usd)
Aluminio electrolítico	150
Cera perdida	70
Parafina	15
Yeso	40

**Fuente:** La Autora



**Figura 6.2. Costos para la realización del ensayo metalográfico**

**Fuente:** La Autora

Con los resultados obtenidos en las distintas practicas y con la figura 6.2 , se pudo determinar que el material que será mas utilizado y mas factible para la obtención de piezas en aluminio, es la cera perdida mediante el moldeo en yeso, nos da como resultado una buena obtención de piezas, y los mas importante que se tendrá una buena reproducción de la microestructura del elemento analizado, además nos garantizara una buena resolución donde se logra determinar que la cera perdida usada como un medio para la obtención de piezas en aluminio cumple con las características que se desea obtener o a lograr, lo cual la evaluación se lo realizara con probetas que se obtuvo de cada una de las piezas en aluminio, se lleva a cabo con el uso de la cera perdida mediante el moldeo en yeso como un medio para la obtención de dichas piezas.

**Tabla 6.6. Costo de cada una de las piezas diseñadas por el método de la cera perdida y la parafina.**

<b>N: Piezas</b>	<b>Descripción de materiales</b>	<b>Peso de las figuras (gr)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Valor (Usd)</b>
3	Cera perdida, Aluminio , Yeso	340	45	24.00
2	Cera perdida, Aluminio puro, Yeso	82	25	5.88
1	Cera perdida, Aluminio puro, Yeso	64.8	15	5.60
1	Cera perdida, Aluminio puro, Yeso	28	15	2
1	Parafina, Aluminio puro, Yeso	30	0	2.14

**Fuente:** La Autora

Mediante la tabla 4.5 se puede visualizar claramente que el costo de cada una de las piezas salen económicas, y una de las ventajas de la cera perdida es que al momento en que se seca el molde de yeso en el horno de mufla se puede recuperar la cera perdida, se obtiene mediante los bebederos por donde sale el material ya diluido, por eso se le da el nombre de cera perdida, además nos da la ventaja de realizar piezas que se desea, y sobre todo nos permite moldearlo y que quede una pieza sin fallas.

## **6.6 FUNDAMENTACIÓN**

Esta propuesta se basan en el capítulo II y IV que se esta relacionando con el marco teórico y la experimentación respectivamente, al que se presentan los factores mas importantes y las características de los ensayos ya realizados durante la investigación, para determinar que obtener piezas en Aluminio mediante el método de la cera perdida la dureza es mas blanda que otros metales pero su conductividad térmica es cuatro veces mas que otros metales.

## **6.7 METODOLOGÍA**

Para el desarrollo del estudio, que ha permitido obtener los resultados más satisfactorios es mediante la realización de un procedimiento, que es el uso de la cera perdida como un medio de moldeo y fácil elaboración de piezas o figuras, además se utilizará el aluminio puro como un medio de obtención de piezas con el fin de obtener buenos resultados, y sobre todo la disminución de la porosidad donde nos representa una pieza con buenos acabados y buena calidad, la cual se podrá recomendar para que sea aplicada en la Carrera de Ingeniería Mecánica en el área de Materiales por la que se requiere el seguimiento de varias actividades en la que se detallan a continuación:

- 1.- Adquisición del material para elaboración de piezas
- 2.- Obtención de la pieza
- 3.- Adquisición del material para ensayos
- 4.- Maquinado de las probetas
- 5.- Corte de las probetas
- 6.- Realización del ensayo de tracción
- 7.- Preparación metalográfica de las probetas para el análisis
- 8.- Ataque químico de la superficie
- 9.- Evaluación y resultados
- 10.- Ejecución del ensayo de dureza

## 6.7.1 Adquisición del material

### 6.7.1.1 Adquisición de la cera perdida

El material que se ha utilizado durante el desarrollo del estudio de obtención de piezas en Aluminio, es la cera perdida porque tiene más fluidez y moldeo que la parafina, y su punto de fusión es de 65 a 67 °C.



**Figura 6.3. Cera perdida, cera amarilla o cera de abeja**

Fuente: La Autora

### 6.7.1.2 Aluminio

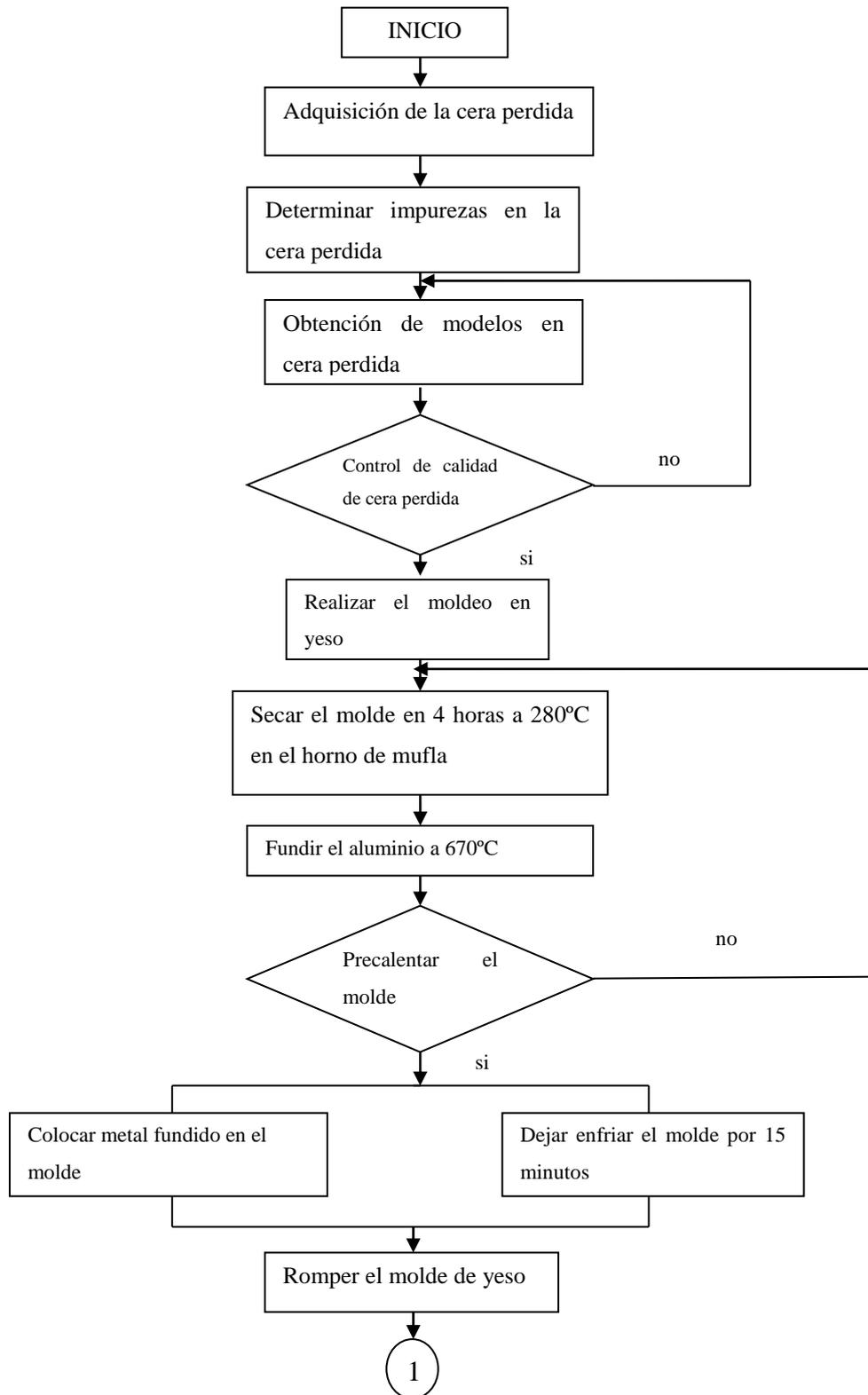
Es el material mas importante que se utiliza en el estudio, es el Aluminio Electrolítico ya que tiene el 99.9 % de pureza, es utilizado para realizar piezas de diferentes tamaño y complejidad, buena conductividad térmica y eléctrica, son resistentes a la corrosión, y al ataque químico.

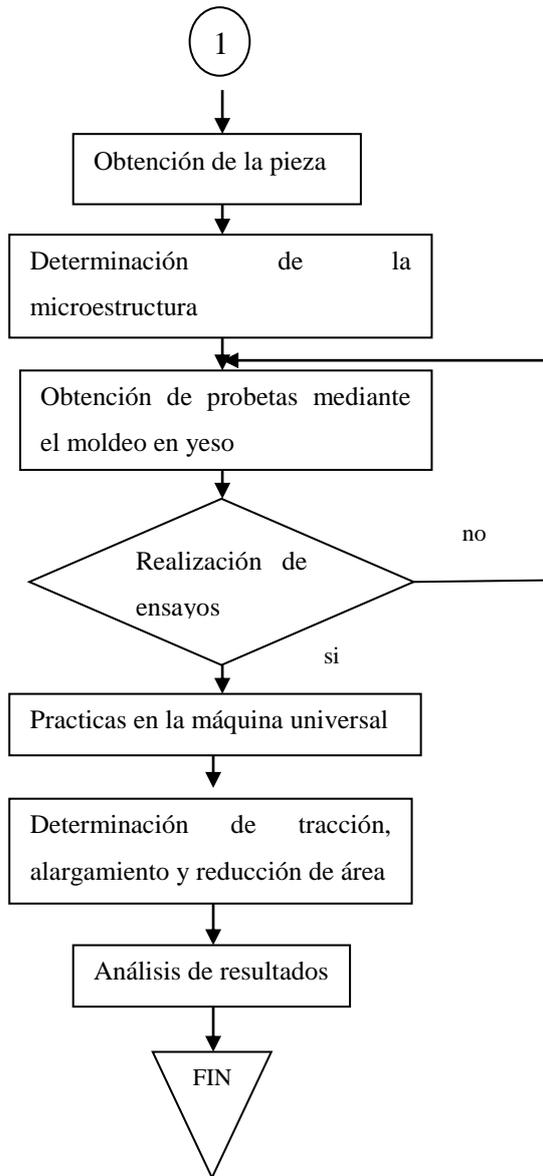


**Figura 6.4. Aluminio Electrolítico (cables de luz)**

Fuente: La Autora

## 6.7.2 OBTENCIÓN DE PIEZAS





Se establece las distintas acciones o pasos a seguir para la obtención de piezas en Aluminio; se prepara el yeso con un poco de agua con el fin de formar una masa no muy espesa, y se coloca la pieza en dicha masa para que se grave por lo que se obtiene el negativo.



**Figura 6.5 Pieza mecánica**  
**Fuente:** La Autora



**Figura 6.6 Molde en yeso de la pieza mecánica**  
**Fuente:** La Autora

El siguiente paso es la preparación de la cera, que consisten en derretirla a baño maría para colocarla en el negativo de la piza de yeso, y se obtendrá las piezas en cera.



**Figura 6.7 Preparación de la cera**

**Fuente:** La Autora

Una vez ya derretida la cera, se coloca en el molde obtenido de la piza con el fin de obtenerlo en cera, lo dejamos que se endure unos 20 minutos ya que su textura, dúctil y blanda, permite modelar con más facilidad, añadir o quitar elementos con gran detallismo y provecho.



**Figura 6.8 Colocación de la cera en el molde**

**Fuente:** La Autora

Ya bien seca la cera se lo saca del molde, se une las dos partes de la pieza y se obtendrá una sola pieza en cera.



**Figura 6.9 Piezas en cera perdida**

**Fuente:** La Autora

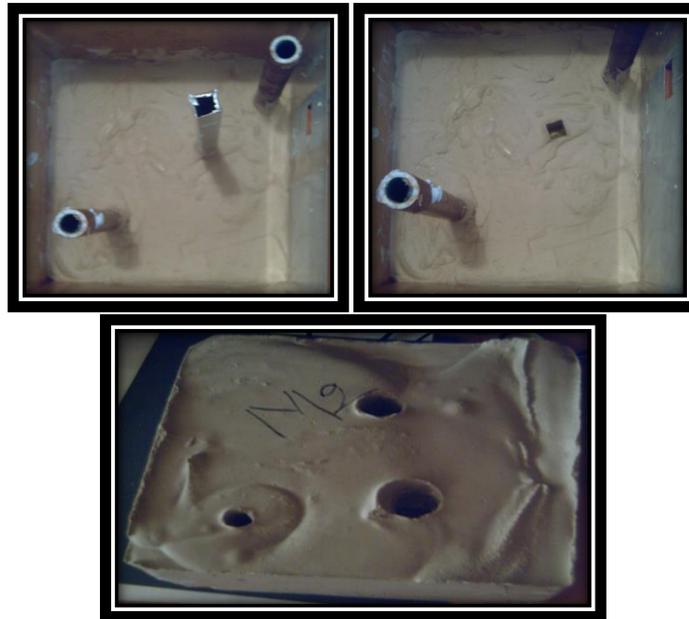
Una vez ya obtenida las tres piezas, se las une con el fin de formar una sola pieza para realizar el moldeo en yeso con sus bebederos por donde ingresará el material fundido.



**Figura 6.10 Unión de piezas de cera**

**Fuente:** La Autora

Obtenida las piezas de cera, se procede a realizar el moldeo en yeso que consisten en cubrir a la pieza de yeso parcialmente abierto, para que se pueda colocar los bebederos, ya una vez colocados se va cubriendo totalmente la pieza de yeso hasta crear un molde de una sola pieza.



**Figura 6.11 Moldeo en yeso**

**Fuente:** La Autora

Ahora ya se puede llevar el molde, convertido en un bloque sólido y resistente, al horno mufla, se lo coloca en posición invertida, la cera se derrite y sale por los bebederos o por el orificio principal, por lo que deja un hueco homogéneo entre el alma y el molde. Este hueco será llenado por el aluminio fundido.



**Figura 6.12 Secado del molde**

**Fuente:** La Autora

Se funde el aluminio a 660°C y se incrementa hasta la temperatura de colado a 760°C, llenarlo en el molde caliente, para que el metal que se cuela no se enfríe y fluya llenando perfectamente la cavidad del molde.



**Figura 6.13 Fundición del aluminio**

**Fuente:** La Autora

Después de enfriado el metal en el molde, se procede al desmolde, que solo puede hacerse destruyendo el bloque de yeso para la obtención de la pieza en aluminio.



**Figura 6.14 Colocación del Aluminio fundido en el molde**

**Fuente:** La Autora



**Figura 6.15 Pieza final**  
Fuente: La Autora

### **a) Pasos para el diseño de figuras complejas**

Se realizó el modelo que se seleccionó, y se sacó la figura mediante la materia prima que es la cera perdida (cera de abeja), además se pueden obtener piezas mecánicas o figuras complejas.



**Figura 6.16 Diseño de figuras complejas en cera perdida**  
Fuente: La Autora

#### **1.- Extracción del molde**

Se procede a sacar el negativo de la figura, es decir, se graba una cara o un lado de la figura en el yeso.



**Figura 6.17 Obtención del negativo de la figura**

**Fuente:** La Autora

## **2.- Obtención del líquido de la cera perdida**

Se coloca en una hornilla un recipiente con agua, hay que esperar que esta se caliente y se coloca encima el recipiente con la cera perdida para que se disuelva completamente, es decir, se lo hace a baño maría.



**Figura 6.18 Cera perdida o cera de abeja**

**Fuente:** La Autora

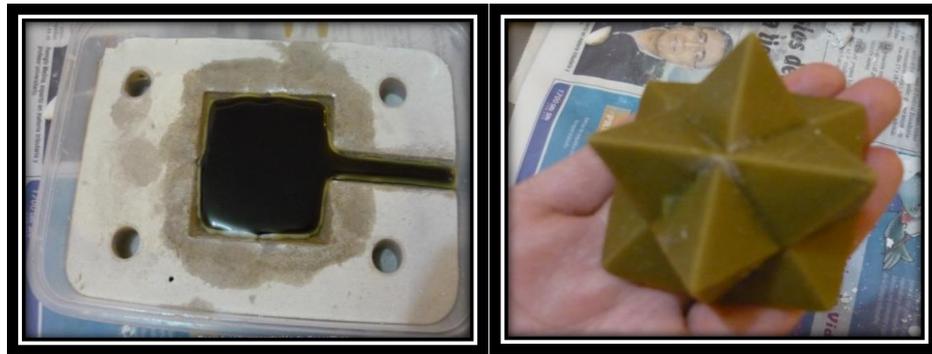


**Figura 6.19. Líquido de la cera perdida (baño maría)**

**Fuente:** La Autora

### 3.- Realización de la figura en cera perdida

Se coloca en el molde de yeso aceite con el fin de que la cera perdida no se pegue, se deja un minuto que se absorban el aceite en el molde, luego se coloca la cera perdida y dejamos que se endurece unos 20 minutos.



**Figura 6.20** Proceso de obtención de la figura con el negativo

Fuente: La Autora

### 4.- Obtención de la figura o pieza en cera perdida

Una vez seco se procede a sacar del molde de yeso y se unen las dos mitades para obtener un resultado final.



**Figura 6.21** Figura en cera perdida

Fuente: La Autora

### 5.- Se realiza el moldeo con yeso

Ya que el moldeo con yeso es utilizado para colar metales no ferrosos tales como el oro, plata, bronce y el aluminio y sobre todo como revestimiento en el método de la

cera perdida en la que se hace un bebedero como alimentador del metal y otro bebedero para la salida de los gases.



**Figura 6.22. El moldeo en yeso**

**Fuente:** La Autora

#### **6.- Secado**

Al molde de yeso al tener un cierto grado de humedad, se tiene que secar en el horno de mufla ya que el metal fundido tiene una alta temperatura inferior a los 600 °C, al tener un enfriamiento brusco tiende a formar poros, además se coloca en el horno no solo con la finalidad de calentar al molde, sino también de disolver la cera perdida y así quede el vacío de la figura dentro del molde de yeso y luego llenarla con el aluminio fundido.



**Figura 6.23 Secado en el Horno de mufla**

**Fuente:** La Autora



**Figura 6.24. Obtención de la cera al momento en que se está secando el molde**

**Fuente:** La Autora

### **7.- Colocar el metal fundido en el molde ya seco**

Una vez que el aluminio se encuentra fundido y el molde de yeso esta seco, se procede a colocar y llenado del molde, la cual se puede obtener la pieza final



**Figura 6.25 Aluminio fundido y colocación en el molde por el bebedero**

**Fuente:** La Autora

### **8.- Pieza**

Una vez llenado el molde de yeso con el metal se espera unos 20 minutos a que se enfríe, se rompe el molde y se tendrá la pieza antes deseada.



**Figura 6.26. Rotura del molde de yeso y se obtiene la figura deseada**

**Fuente:** La Autora

### **6.7.3 Obtención de la probeta para ensayos**

Con el mismo procedimiento para la elaboración de las piezas en Aluminio se procede a obtener las probetas con las medidas correspondientes para realizar el ensayo de tracción donde las medidas son tomadas del anexo C1.



**Figura 6.27. Ejes de Aluminio Electrolítico**

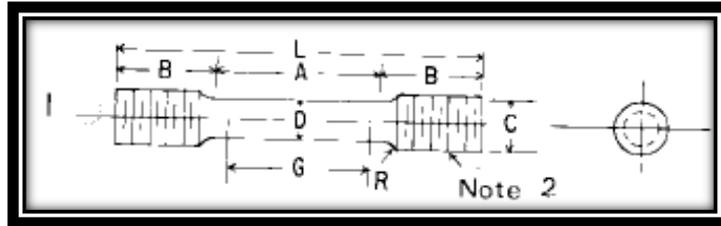
**Fuente:** La Autora

### **6.7.4 Maquinado de las probetas**

Para la obtención de las probetas lo hacemos rigiéndonos en la norma ASTM E8, es donde se encuentran las dimensiones para poder realizar las probetas para el ensayo de tracción y nos indica como debemos realizar el ensayo.

### **6.7.5 Mecanizado de las probetas**

Según la norma ASTM E8 nos indica las siguientes dimensiones:



**Figura 6.28. Ensayo de tracciones, dimensiones**  
**Fuente:** Normas ASTM E8

**Tabla 6.7. Dimensiones establecidas para la obtención de probetas**

Nominal Width	Dimensions, mm		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type 40 mm	Sheet-Type 12.5 mm	6 mm
G— Gage length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2	50.0 ± 0.1	25.0 ± 0.1
W— Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0	12.5 ± 0.2	6.0 ± 0.1
T— Thickness (Note 5)		thickness of material	
R— Radius of fillet, min (Note 6)	25	12.5	6
L— Overall length, (Note 2, Note 7 and Note 8)	450	200	100
A— Length of reduced section, min	225	57	32
B— Length of grip section, (Note 8)	75	50	30
C— Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50	20	10

**Fuente:** Normas ASTM E8.



**Figura 6.29. Probeta de Aluminio Electrolítico**

**Fuente:** La Autora

Una vez que se obtiene la probeta con una longitud de 5 pulgadas y con un diámetro de  $\frac{3}{4}$  de pulgada se debe realizar un desbaste en un torno con el fin de que tenga un

buen acabado y con las dimensiones ya especificadas anteriormente, con el fin de poder realizar una buena practica de tracción en la máquina universal.



**Figura 6.30. Probeta de Aluminio electrolítico para realizar el ensayo**

**Fuente:** La Autora

#### **6.7.6 Realización del ensayo de tracción**

Luego de que se realizó la obtención de las probetas mediante la fundición en arena, se realiza la probeta con las medidas antes mencionadas con el fin de realizar el ensayo a tracción, la probeta debe estar calibrada a una longitud de 2 pulgadas para que se pueda colocar el deformímetro en las marcas señaladas.

Se acopla a la probeta en la máquina Universal Tinius Olsen capacidad de 30 toneladas para aplicar la carga.



**Figura 6.31. Acoplamiento de la probeta en la Máquina Universal Tinius Olsen capacidad de 30 toneladas**

**Fuente:** La Autora

Una vez acoplada la probeta en la máquina Universal se procede aplicar la carga, en la que nos va generando datos, se toman las mediciones de la carga y de la deformación que va sufriendo la probeta, que servirá para después realizar los cálculos que sean necesarios, una vez rota la probeta se deben tomar medidas para así determinar la longitud y el diámetro final.



**Figura 6.32. Probeta después de haber realizado el ensayo de tracción**

**Fuente:** La Autora

• **RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN**  
 Ensayo 1 probeta 1 de la pagina 105

<b>ENSAYO A TRACCIÓN</b>	
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>	
Lugar de análisis: Laboratorio de Materiales FICM - UTA	
Solicitado por:	Realizado por: Pamela Solórzano Saltos
Supervisado por: Ayudante de Laboratorio	Aprobado por:
Probeta N: 04	Ensayo N: 4/4
Material: Aluminio Electrolítico	Tratamiento térmico: Ninguno
<b>DATOS PARA EL ENSAYO</b>	
Norma: ASTM	Designación: E 08
Probeta: Cilíndrica	
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>	
Fecha de ejecución: 13/05/2013	
Carga máxima: 790.3 Kg	
Carga de ruptura 790.3 Kg	
<b>RESULTADO:</b>	
<b>ALUMINIO ELECTROLÍTICO FUNDIDO</b>	
<p style="text-align: center;"><b>DIAGRAMA DEFORMACIÓN VS ESFUERZO</b></p>	
<p><b>Cálculo del porcentaje de alargamiento (%):</b></p> $\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 ; \varepsilon = \frac{57 - 50}{50} * 100 \quad \varepsilon = 14$	
<p><b>Cálculo de porcentaje de reducción de área (%):</b></p> $\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 ; \% \text{ reducción} = \frac{126.6 - 107.52}{126.6} * 100 \quad \% = 15.07$	
<p><b>Cálculo de la resistencia última a la tracción:</b></p> $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \quad S_{ut} = \frac{805.4 \text{ Kg}}{126.6 \text{ mm}^2} \quad S_{ut} = 6.36 \text{ K/mm}^2$	

**Datos iniciales:**

Material: Aluminio puro (Cable de luz)

$$\phi_o = \frac{1}{2}'' (12.7 \text{ mm})$$

$$l_o = 50 \text{ mm}$$

Se realiza el ensayo tomando en cuenta la norma ASTM E8, donde se determina mediante el ensayo la carga máxima que soporta el Aluminio

$$P_{\max} = 805.4 \text{ Kg}$$

$$\phi_o = 12.7 \text{ mm}$$

$$\phi_f = 11.7 \text{ mm}$$

$$l_f = 57 \text{ mm}$$

**6.7.6.1 Cálculo del área inicial de la probeta 4**

$$A_o = \frac{\pi \phi_o^2}{4}$$

$$A_o = \frac{\pi 12.7 \text{ mm}^2}{4}$$

$$A_o = 126.6 \text{ mm}^2$$

**6.7.6.2 Cálculo del área final de la probeta 4**

$$A_f = \frac{\pi \phi_f^2}{4}$$

$$A_f = \frac{\pi 11.7 \text{ mm}^2}{4}$$

$$A_f = 107.52 \text{ mm}^2$$

**6.7.6.3 Cálculo del porcentaje de alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 ; \varepsilon = \frac{57 - 50}{50} * 100 \quad \varepsilon = 14$$

#### 6.7.6.4 Cálculo de porcentaje de reducción de área (%):

$$\% \text{ reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 ; \% \text{ reducción} = \frac{126.6 - 107.52}{126.6} * 100 \% = 15.07$$

#### 6.7.6.5 Cálculo de la resistencia ultima a la tracción

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} \quad S_{ut} = \frac{805.4 \text{ Kg}}{126.6 \text{ mm}^2} \quad S_{ut} = 6.36 \text{ K/mm}^2$$

#### 6.7.7 Preparación de la probeta

Se prepara la probeta con un diámetro de  $\frac{3}{4}$  de pulgada y 1cm de longitud, previamente ya realizada la fundición del Aluminio, para así poder realizar el ensayo metalografico y poder observar la micro estructura que presenta.



**Figura 6.33. Probeta obtenida de la probeta de Aluminio**

**Fuente:** La Autora

De la probeta en la que se realizo el ensayo de tracción se corta una parte del encuellamiento por lo menos un centímetro para ver el tamaño de grano.

#### 6.7.7 Preparación metalográfica de la probeta para el análisis

##### 6.7.7.1 Desbaste grueso

El desbaste grueso se debe realizar para remover las rebabas y las deformaciones que se forman debido al corte que se realizan al momento de sacar una muestra, estas deformaciones se las sacan con la lima media cuña y una lima fina.

### 6.7.7.2 Desbaste fino

Permite remover la zona deformada para la cual se utilizan las lijas de número 240-600-1200-1500 granos por pulgada cuadrada.

La probeta se debe ir deslizando sobre las lijas en dirección opuesta al operador, mientras se va cambiando de lija se gira 90° con el fin de que se formen rayas en una sola dirección.

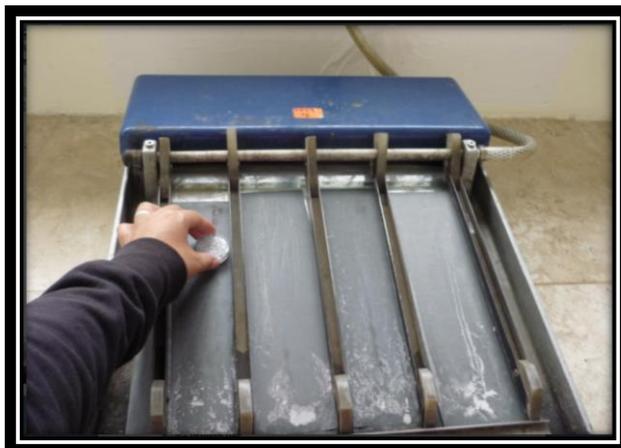


**Figura 6.34. Desbaste fino (banco de cuatros lijas)**

**Fuente:** La Autora

### 6.7.7.3 Pulido grueso

Este paso consiste en un desbaste mas ligero en la que se emplea la pulidora de paño utilizando como abrasivo alúmina de 0.5 – 1 micras mezclado con agua.



**Figura 6.35. Desbaste fino en el banco de lijas utilizando alúmina**

**Fuente:** La Autora

#### 6.7.7.4 Pulido fino

Después del pulido grueso la probeta se muestra con pequeñas deformaciones, que serán eliminadas utilizando alúmina de 0.05 a 0.3 micras de tamaño en suspensión con agua, dicha superficie debe quedar brillante sin líneas como el Aluminio es metal suave, en este proceso se debe rociar agua cada 30 segundos, ya que al pulir salen pequeñas partículas que pueden dañar a la probeta, este proceso demora una hora aproximadamente.



**Figura 6.36. Pulidora de paño**  
Fuente: La Autora

#### 6.7.8 Ataque químico de la superficie

Una vez terminado el pulido fino se procede a realizar el ataque químico, el reactivo que se utiliza es el Keller por un tiempo de 2 a 3 minutos, luego de lo cual se detiene el ataque químico con agua o alcohol, se seca la probeta y se observa en el microscopio su microestructura metalográfica.



**Figura 6.37. Reactivo Aleación de Aluminio**  
Fuente: La Autora

### 6.7.9 Evaluación y resultados

Una vez seca la probeta, mediante el microscopio se puede observar la estructura metalográfica, mediante un microscopio metalográfico de 40x, 100x, 200x, 400x; el mismo que tiene interfaz a un computador para poder grabar la fotografía de la microestructura en formato JPG, como se indica en las siguientes figuras.



**Figura 6.38. Microscopio con cámara digital**  
**Fuente: La Autora**



**Figura 6.39. Computador con interfaz al microscopio.**  
**Fuente: La Autora**

## ENSAYO METALOGRAFICO

**Probeta 07, ensayo 6 paginas 90, 91, 92**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMABTO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N:	06
Identificación del componente de estudio:	Probeta N: 06		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	12/09/2012
Centro de estudio y de análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por:	Pamela Solórzano	Supervisado por:	Ing. Segundo Espín
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura ambiente:	22.5 °C	Radiación:	0.2 W/m <sup>2</sup>
Velocidad del aire circundante:	0.8 m/s	Otros:	
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO</b>			
Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación:	E3
Acondicionamiento de la superficie por:	Pulido mecánico		
Temperatura durante el pulido:	22 °C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque químico de la superficie con:	Reactivo para aluminio y aleaciones	Tiempo de ataque:	3 min
<b>RESULTADOS</b>			
<b>MICROESTRUCTURA DE LA PIEZA OBTENIDA (200X)</b>			
			

<b>DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO PLANIMÉTRICO</b>	<b>Microestructura:</b> Aluminio Electrolítico figura(6), 200X 3 min, Keller
$N_{ins} = 1 \quad N_{int} = 5$ $N_{AE} = f \left( N_{inside} + \frac{N_{intercepted}}{2} \right)$ $f = 8 \text{ por jeffries (200x)}$ $N_{AE} = 8 \left( 1 + \frac{5}{2} \right)$ $N_{AE} = 28$ $G = 1,000 + 3,3219 \log N_{AE}$ $G = 1,000 + 3,3219 \log 28$ $G = 5.8$	 <p>○ Grano que incide</p>
<b>Observación:</b> Se pudo determinar que el tamaño de grano es de 5.8 mediante el proceso Planimétrico	

### 6.7.10 Ejecución del Ensayo de Dureza

El ensayo se lo realiza en el durómetro para obtener una dureza Brinell se utiliza un indentador de 2.5 mm para marcar la huella en la probeta



**Figura 6.40. Durómetro FICM**

**Fuente:** La Autora

Con la ayuda de un microscopio manual se mide la huella que se marco con el indentador, y luego se lee en el catalogo con la medida y así poder obtener la equivalencia de la dureza Brinell.



**Figura 6.41. Medidor manual FICM**

**Fuente:** La Autora

## RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA

**Probeta 07, ensayo 07 pagina 100**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMABTO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>			
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N:	06
Identificación del componente del estudio:	Probeta 6		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	12/09/2012
Centro de estudio y análisis:	Laboratorio de materiales - FICM		
Realizado por:	Pamela Solórzano	Supervisado por:	Ing. Segundo Espín
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
Lugar: Universidad Técnica de Ambato campus Huachi			
Temperatura ambiente:	22 °C	Radiación:	0,2 W/m <sup>2</sup>
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/seg	Otros:	
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA</b>			
Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	2.5 mm		
Cantidad de carga aplicada:	612.9 N (62.5 Kgf)	Tiempo de ensayo:	15 min
<b>RESULTADO DE ENSAYO</b>			
<b># Identación</b>	<b>Φ de la identación</b>	<b>Dureza HB</b>	
1	0.820	115	
2	0.885	98.3	
3	0.900	90.7	
4	0.923	89.7	
5	1.055	61.8	
<b>Mínimo:61.8</b>	<b>Máximo: 115</b>	<b>Promedio:91.1</b>	
<b>Resultado:</b> Diámetro de la huella 0.917 mm, dureza 91.1 HB según catalogo de fabrica.			

**CONCLUSIÓN:** Al realizar la obtención de piezas en Aluminio mediante el método más factible y recomendable que es la cera perdida, se pudo determinar que los moldes deben secarse a una temperatura de 280 a 300 °C por un tiempo de 4 horas, se pudieron recopilar información muy importante como es el tamaño de grano que es

de 5 a 7. La dureza obtenida fue de 91.1 HB, y la resistencia a la tracción de 6.36 Kg/mm<sup>2</sup>.

## 6.8 ADMINISTRACIÓN

**Tabla 6.8. Administración de Tesis**

<b>CUADRO N° 1 (RECURSOS MATERIALES)</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>DETALLES</b>	<b>PRECIO (Unit)</b>	<b>VALOR (Usd)</b>
30	Aluminio Electrolytico (cable de luz) en Kl	3.50	105
30	Laminas de cera perdida	2.00	60
100	Yeso en libras	0.30	30
1/2	Metro de paño metalografico	13.5	13.50
3	Hojas de lija N° 240	0.10	0.30
3	Hojas de lija N° 600	0.10	0.30
3	Hojas de lija N° 1200	0.10	0.30
3	Hojas de lija N° 1500	0.10	0.30
1	Reactivo aleación de aluminio	12	12
10	Maquinado	13.50	135
		<b>SUB TOTAL:</b>	<b>356.70</b>

<b>CUADRO N° 2 (RECURSOS ECONÓMICO)</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>DETALLES</b>	<b>PRECIO (Unit)</b>	<b>VALOR (Usd)</b>
600	Impresiones	0.10	60
500	Copias	0.05	25
3	Anillados	4.50	13.50
3	Empastados	10	30
100	Horas de internet	0.80	80
	Transporte	100	100
	Derecho de Tutor	160	160
		<b>SUB TOTAL:</b>	<b>468.50</b>

<b>CUADRO N°3 GASTOS TOTALES</b>	
<b>RUBROS DE GASTOS</b>	<b>VALOR</b>
Sub total 1	356.70
Sub total 2	468.50
Total	825.20
Imprevistos 10%	82.52
<b>Total Gastos</b>	<b>907.72</b>

**Fuente:** La Autora

## **6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN**

Una vez terminado el trabajo de investigación se pudo determinar que al colocar el aluminio fundido en el molde de yeso caliente se evita que se formen porosidades y se logre una pieza bien terminada, se determinó los parámetros de temperatura y tiempo, el mismo que fue realizado en la Universidad Técnica de Ambato, la cual se realizó dicha investigación en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, se sugiere a las personas interesadas en este tema que tomen en cuenta las conclusiones y recomendaciones presente en este trabajo con el fin de prevenir algún inconveniente en el momento de realizarse este tipo de ensayo.

Para futuras investigaciones, se sugiere tomar como referencia los resultados obtenidos en esta investigación, que será la base para el desarrollo de la obtención de piezas metálicas por este método.

## **6.10 BIBLIOGRAFÍA:**

### **6.10.1 BIBLIOGRAFÍA LIBROS**

- [1].-Valencia G. (2006). *Los avances de la metalurgia física*. Editorial Red Dyna.
- [2].- Red E. *Principios de la metalurgia Física*. Segunda edición
- [3].- Gonzales V, Mancini, Héctor L. (2005). *Ciencia de los materiales*.
- [4].- Robert E. (1979). *Principios de la Metalurgia Física México*. Editorial Continental S.A.
- [5].- Molera S, Pere. (2009). *Conformación metálica*. Editorial Mar combo.

### **6.10.2 BIBLIOGRAFÍA DE LA BIBLIOTECA VIRTUAL UTA**

- [6].- Sidney H. (2006). *Introducción a la Metalurgia Física*. Ediciones del Castillo S.A Madrid-España.
- [7].- García C, García A. (2005). *Modelización de las transformaciones de fase en calentamiento continuo*. Editorial Universidad Complutense de Madrid.
- [8].- Nelly J. (2002). *Metalurgia y materiales industriales México*. Tomo I. Editorial Linusa S.A.
- [9].- Valdez S. (2009). *Fundición y soldadura*. Editorial El cid Editor.

### **6.10.3 BIBLIOGRAFÍA DE LA PÁGINA WEB**

- [10].- <http://www.monografias.com/trabajos7/fuco/fuco.shtml>.
- [11].- <http://www.materiales.sam.org.ar/sitio/biblioteca/laseran.pdf>
- [12].-[http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972DiegoM. Seiro](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE.1972DiegoM.Seiro)
- [13].- [jmcacer.webs.ull.es/CTMat/Practicas%20Laboratorio/tracción](http://jmcacer.webs.ull.es/CTMat/Practicas%20Laboratorio/tracción)

[14].- <http://www.utp.edu.co/nigrall/DUREZABRINELL.pdf>

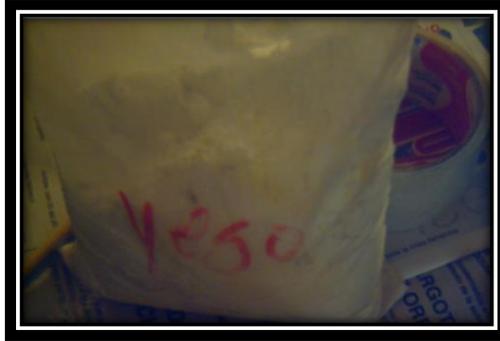
[15]..[http://www.quiminet.com/principal/resultados\\_busqueda.php?N=cera+perdida+en+el+Ecuador#infonnnmbjhh](http://www.quiminet.com/principal/resultados_busqueda.php?N=cera+perdida+en+el+Ecuador#infonnnmbjhh)

# **ANEXOS**

# **ANEXOS A**

## ANEXOS A1

### MATERIALES QUE SE UTILIZARON DURANTE LA OBTENCIÓN DE FIGURAS COMPLEJAS Y PIEZAS MECÁNICAS



**Anexo A1.1** Yeso para realizar el moldeo en yeso

**Fuente:** La Autora



**Anexo A1.2** Cera perdida o cera de abeja para la elaboración de piezas

**Fuente:** La Autora



**Anexo A1.3** Cera perdida diluida a baño maría

**Fuente:** La Autora



**Anexo A1.4 Aceite doméstico**

**Fuente:** La Autora



**Anexo A1.5 Aluminio Electrolítico**

**Fuente:** La Autora



**Anexo A1.6 Colocación del aluminio fundido en el molde**

**Fuente:** La Autora

## ANEXO A2

### OBTENCIÓN DE PIEZAS EN ALUMINIO MEDIANTE LA CERA PERDIDA

FIGURA 1 (Cenicero)



Anexo A2.1 Pieza diseñada en cera de abeja o cera perdida

Fuente: La Autora

Densidad del metal y la cera

Densidad del Aluminio = 2.70

Peso de la figura en cera perdida = 28 gr

Cantidad extra de material = 10 %

$28 \text{ gr} \times 2.07 = 57.96 \text{ gr}$

$57.96 \times 10 \% = 5.796$

Total de material = 63.8 gr de aluminio



**Anexo A2.2** Peso de la pieza de aluminio con los bebederos

**Fuente:** La Autora



**Anexo A2.3** Pieza de aluminio

**Fuente:** La Autora

**FIGURA 2 (Llave)**



**Anexo A2.4 Colocar la cera en el molde de yeso de la pieza a obtener**

**Fuente:** La Autora



**Anexo A2.5 Pieza en cera perdida**

**Fuente:** La Autora



**Anexo A2.6 Peso de la pieza de aluminio con sus bebederos**

**Fuente:** La Autora



**Anexo A2.7 Pieza de aluminio**

**Fuente:** La Autora

**FIGURA 3 (Piñones helicoidales)**



**Anexo A2.8 Obtención del negativo de la pieza a moldear en cera perdida**

**Fuente:** La Autora



**Anexo A2.9 Pieza en cera perdida o cera de abeja**

**Fuente:** La Autora



**Anexo A2.10 Piezas de aluminio**

**Fuente:** La Autora

**FIGURA 4 (Piñones cónicos)**



**Anexo A2.11 Obtención de la pieza en cera perdida**

**Fuente:** La Autora



**Anexo A2.12** Peso de la pieza en cera perdida para determinar cuanto de aluminio se va a fundir

**Fuente:** La Autora



**Anexo A2.13** La colocación del aluminio fundido en los moldes de yeso

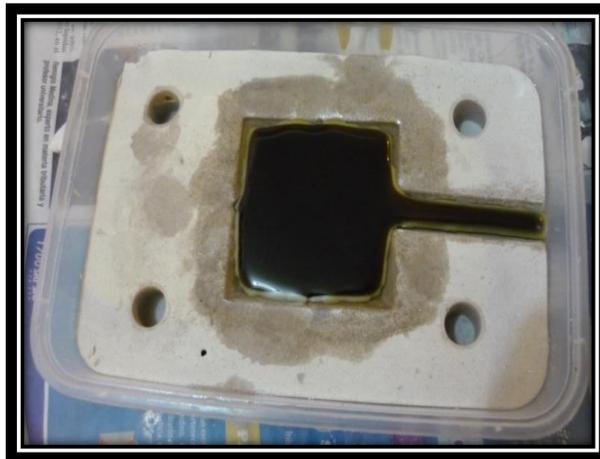
**Fuente:** La Autora



**Anexo A2.14 Pieza de Aluminio**

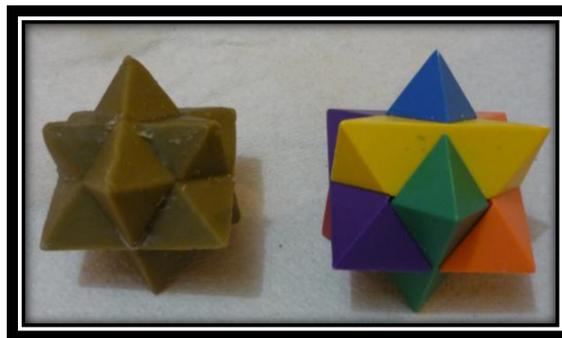
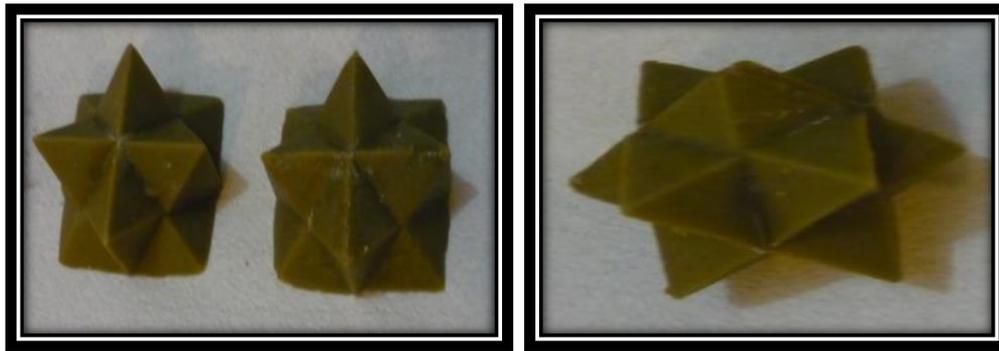
**Fuente:** La Autora

**FIGURA 5**



**Anexo A2.15 Obtención del negativo de la pieza a realizar en cera perdida**

**Fuente:** La Autora



**Anexo A2.16 Pieza en cera perdida**

**Fuente:** La Autora



**Anexo A2.17 Pieza final de aluminio**

**Fuente:** La Autora

**FIGURA 6 (Piñones cónicos)**



**Anexo A2.18 Negativo de la pieza mecánica a obtener en cera perdida**

**Fuente: La Autora**



**Anexo A2.19 Pieza diseñada en cera perdida**

**Fuente: La Autora**



**Anexo A2.20 Pieza final en aluminio**

**Fuente:** La Autora

## ANEXO A3

### OBTENCIÓN DE PIEZAS EN ALUMINIO MEDIANTE LA PARAFINA

#### FIGURA 7

(PARAFINA PREFABRICADA)



Anexo A3.1 Figura en Parafina

Fuente: La Autora



Anexo A3.2 Pieza final en aluminio

Fuente: La Autora

**FIGURA 8**



**Anexo A3.3 Figura en parafina**

**Fuente:** La Autora



**Anexo A3.4 Moldeo en yeso**

**Fuente:** La autora



**Anexo A3.5 Pieza final en aluminio**

**Fuente:** La Autora

# **ANEXOS B**

## **Valoración económica por secado de los moldes en el Horno**

### **Cálculo de la energía total consumida durante el secado de los moldes de yeso en el horno**

$$**P = V * I**$$

Donde:

P = Potencia (W)

V = Tensión (V)

I = Intensidad (A)

De los datos del Horno de Mufla tenemos

$$V = 220 \text{ V}$$

$$I = 10 \text{ A}$$

Entonces:

$$P = 220 \text{ V} * 10 \text{ A}$$

$$P = 2.2 \text{ KW}$$

$$**E = P * t**$$

Donde:

E = Energía (KW- h)

P = Potencia (KW)

t = Tiempo (h)

Entonces:

$$E = 2.2 \text{ KW} * 30 \text{ h}$$

$$E = 66 \text{ KW.h}$$

#### **Cálculo total del costo de energía consumida (CC)**

$$CC = E * \text{costo de energía eléctrica (Dólares/KW.h)}$$

Entonces:

$$CC = 66 \text{ KW.h} * 0.12 \text{ \$/KW.h}$$

$$CC = 7.92 \text{ \$}$$

#### **Cálculo del costo total de la mano de obra en los ensayos realizados.**

Se tomó en cuenta que los ensayos se los deben realizar con ayuda de una persona que tenga conocimiento de dichas máquinas por la que se tomó como base el salario de un ayudante de laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato el cual es de 350\$

#### **Cálculo del costo total de la mano de obra (CTMO)**

$$CTMO = CHO * T$$

Donde:

CHO = Costo total hora operario (\$/h)

T = tiempo requerido de la mano de obra

$$T = 30 \text{ h}$$

Entonces:

CHO: 350 \$/ por mes = 1.46 dólares/hora; (jornada de 8 horas diarias)

$$CTMO = 1.46 \text{ \$/h} * 30 \text{ h}$$

$$CTMO = 43.8 \text{ \$}$$

Hay que tomar en cuenta que estos valores se los esta sacando con un tiempo total de todos los moldes que se han realizado, es decir un total de 30 horas de secado y del tiempo que se ha requerido del ayudante en todo este tiempo.

### **Costos y números de moldes que son obtenidas**

En esta parte de la investigación se analiza solamente cual es el precio de cada una de las piezas con el fin de determinar cual método es el recomendado ya sea por el de la cera perdida o parafina.

Densidad del metal y la cera.

Peso de la figura en cera perdida = 86 gr mas los alimentadores 30 gr (340 gr Cera perdida)

Densidad del aluminio 2.07

10 % de material extra

### **Cálculo de la cantidad de Aluminio a fundir (CA)**

**CA = CP\*Densidad del metal + 10 % Material extra a fundirse**

**CP = Cera perdida**

#### **Figura 1 (Anexo A2.1)**

Entonces:

$$CA = 340 \text{ gr} * 2.07 = 703.8 \text{ gr}$$

$$CA = 703.8 \text{ gr} + 10 \% = 774.18 \text{ gr}$$

$$CA = 0.77 \text{ Kg}$$

Es decir que se necesita 0.77 kg de Aluminio para fundir y así obtener las piezas ya diseñadas en cera perdida, por lo tanto se procede a obtener el costo final de la pieza. Además para una pieza diseñada en cera perdida se necesita el costo de cada lámina de cera perdida es de 2 \$ que tiene un peso de 28 gr y se necesita de 12 láminas por lo tanto es de 24 \$ de cera perdida y de 340 gr su peso, para obtener la pieza ya antes diseñada se necesita de 340 gr entonces.

Nm = Número de figuras o piezas a diseñar

$$Nm = 340 \text{ gr} / 340 \text{ gr}$$

$$Nm = 1$$

Por lo tanto se pueden obtener 1 muestras de 340 gr de cera perdida a un costo de 24 \$ las tres piezas ya que se las diseño en serie.

### **Figura 2 (Anexo A2.4)**

Densidad del metal y la cera.

Peso de la pieza en cera perdida = 82 gr con los alimentadores

Densidad del aluminio 2.07

10 % de material extra

Entonces:

$$CA = 82 \text{ gr} * 2.07 = 169.74 \text{ gr}$$

$$CA = 169.74 \text{ gr} + 10\% = 186.71 \text{ gr}$$

$$CA = 0.19 \text{ Kg}$$

Es decir que se necesita 0.19 kg de Aluminio para fundir y así obtener las piezas ya diseñadas en cera perdida, por lo tanto se procede a obtener el costo final de la pieza. Además para una pieza diseñada en cera perdida se necesita el costo de cada lámina de cera perdida es de 2 \$ que tiene un peso de 28 gr y se necesita de 3 láminas por lo tanto es de 6 \$ de cera perdida y de 84 gr su peso, para obtener la pieza ya antes diseñada se necesita de 82 gr entonces.

Nm = Número de figuras o piezas a diseñar

$$Nm = 84 \text{ gr} / 82 \text{ gr}$$

$$Nm = 1.02$$

Por lo tanto se puede obtener 1 muestra de 82 gr de cera perdida a un costo de 5.88 \$ las dos piezas ya que se las diseño en un solo molde las dos piezas

### **Figura 3 (Anexo A2.10)**

Densidad del metal y la cera.

Peso de la pieza en cera perdida = 64.8 gr

Densidad del aluminio 2.07

10 % de material extra

Entonces:

$$CA = 64.8 \text{ gr} * 2.07 = 134.14 \text{ gr}$$

$$CA = 134.14 \text{ gr} + 10\% = 147.55 \text{ gr}$$

$$CA = 0.15 \text{ Kg}$$

Es decir que se necesita 0.15 kg de Aluminio para fundir y así obtener las piezas ya diseñadas en cera perdida, por lo tanto se procede a obtener el costo final de la pieza.

Además para una pieza diseñada en cera perdida se necesita el costo de cada lámina de cera perdida es de 2 \$ que tiene un peso de 28 gr y se necesita de 2.5 láminas por lo tanto es de 6 \$ de cera perdida y de 70 gr su peso, para obtener la pieza ya antes diseñada se necesita de 64.8 gr entonces.

Nm = Número de figuras o piezas a diseñar

$$Nm = 70 \text{ gr} / 64.8 \text{ gr}$$

$$Nm = 1.08$$

Por lo tanto se puede obtener 1 muestra de 64.8 gr de cera perdida a un costo de 5.6 \$ la pieza ya que se la diseño una sola en un solo molde.

#### **Figura 4 (Anexo A2.14)**

Entonces:

$$CA = 28 \text{ gr} * 2.07 = 57.96 \text{ gr}$$

$$CA = 57.96 \text{ gr} + 10\% = 63.76 \text{ gr}$$

$$CA = 0.064 \text{ Kg}$$

Es decir que se necesita 0.064 kg de Aluminio para fundir y así obtener las piezas ya diseñadas en cera perdida, por lo tanto se procede a obtener el costo final de la pieza.

Además para una pieza diseñada en cera perdida se necesita el costo de cada lámina de cera perdida es de 2 \$ que tiene un peso de 28 gr y se necesita de 1 lámina por lo tanto es de 2 \$ de cera perdida y de 28 gr su peso, para obtener la pieza ya antes diseñada se necesita de 28 gr entonces.

Nm = Número de figuras o piezas a diseñar

$$Nm = 28 \text{ gr}/28 \text{ gr}$$

$$Nm = 1$$

Por lo tanto se puede obtener 1 muestra de 28 gr de cera perdida a un costo de 2 \$ la una pieza.

### **PARAFINA**

#### **Figura 5 (Anexo A3.2)**

Entonces:

$$CA = 30 \text{ gr} * 0.08 = 2.4 \text{ gr}$$

$$CA = 2.4 \text{ gr} + 10\% = 2.64 \text{ gr}$$

$$CA = 0.00264 \text{ Kg}$$

Es decir que se necesita 2.64 gr de Aluminio para fundir y así obtener las piezas ya diseñadas en parafina, por lo tanto se procede a obtener el costo final de la pieza. Además para una pieza prediseñada en parafina se necesita el costos que era de 1.50\$ que tiene un peso de 30 gr entonces.

Nm = Número de figuras o piezas a diseñar

$$Nm = 30 \text{ gr} / 30 \text{ gr}$$

$$Nm = 1$$

Por lo tanto se puede obtener como mínimo una muestra como fue comprada al mismo precio de 1.50 \$.

# **ANEXO C**

**TABULACIÓN DE RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN  
DE LA PROBETA 01**

<b>NÚMERO</b>	<b>CARGA (Kg)</b>	<b>DEFORMACIÓN (x10<sup>-2</sup>mm)</b>	<b>ESFUERZO <math>\sigma</math> (Kg/mm<sup>2</sup>)</b>
1	0	0	0
2	20.5	0.1	0.16
3	40.92	0.3	0.32
4	60.02	0.5	0.47
5	97.92	0.7	0.77
6	101.3	0.9	0.8
7	102.61	1.01	0.81
8	105.31	1.03	0.83
9	109.5	1.05	0.86
10	113.6	1.07	0.89
11	116.1	1.09	0.92
12	120.82	1.1	0.95
13	124.8	1.2	0.99
14	128.5	1.4	1.02
15	147.8	1.6	1.17
16	150.03	1.8	1.19

**TABULACIÓN DE RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN  
DE LA PROBETA 02**

<b>NÚMERO</b>	<b>CARGA (Kg)</b>	<b>DEFORMACIÓN (x10<sup>-2</sup>mm)</b>	<b>ESFUERZO <math>\sigma</math> (Kg/mm<sup>2</sup>)</b>
1	0	0	0
2	25	0	0.19
3	50	0.5	0.39
4	75	0.8	0.59
5	100	1.3	0.79
6	125	1.6	0.99
7	150	1.9	1.18
8	175	2.1	1.38
9	177.06	2.4	1.4
10	182.16	2.7	1.44
11	184.8	3	1.46
12	189.1	3.5	1.49
13	193.4	4	1.53
14	199.7	4.5	1.58
15	214.31	5	1.69
16	216.1	5.5	1.71
17	224.1	15	1.77
18	230.9	20	1.82
19	235.5	23	1.86
20	246.08	30	1.94
21	253.9	35	2.01
22	260.57	40	2.06
23	277.66	45	2.19
24	286.35	50	2.26
25	293.5	55	2.32
26	302.1	60	2.39
27	320.67	65	2.53
28	329.38	70	2.60
29	338.3	75	2.67
30	347.9	80	2.75
31	356.15	85	2.81
32	363.7	90	2.87

**TABULACIÓN DE RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN  
DE LA PROBETA 03**

NÚMERO	CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN (x10 <sup>-2</sup> mm)	ESFUERZO $\sigma$ (Kg/mm <sup>2</sup> )
1	282	0	2.22
2	298	0.5	2.35
3	335.4	1	2.65
4	346.9	1.5	1.95
5	363.1	2	2.89
6	375	2.5	2.96
7	384.5	3	3.04
8	393.7	3.5	3.11
9	407.7	4	3.22
10	409.7	4.5	3.24
11	421.5	5	3.33
12	439.7	6	3.47
13	449	7	3.55
14	457.8	8	3.62
15	465.9	9	3.68
16	474.8	10	3.75
17	482.1	10.5	3.81
18	492.8	11	3.89
19	499.7	11.5	3.95
20	502.1	12	3.97

**TABULACIÓN DE RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN  
DE LA PROBETA 04**

<b>NÚMERO</b>	<b>CARGA (Kg)</b>	<b>DEFORMACIÓN (x10<sup>-2</sup>mm)</b>	<b>ESFUERZO <math>\sigma</math> (Kg/mm<sup>2</sup>)</b>
1	0	0	0
2	50	0.3	0.30
3	100	0.5	0.70
4	150	1	1.18
5	200	1.3	1.58
6	250	2	1.97
7	300	2.02	2.37
8	350	12	2.76
9	400	20	3.16
10	450	29.5	3.55
11	500	46.03	3.95
12	550	55.5	4.34
13	600	62.03	4.74
14	650	68.02	5.13

**TABULACIÓN DE RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN DE LA  
PROBETA 05**

<b>NÚMERO</b>	<b>CARGA (Kg)</b>	<b>DEFORMACIÓN (x10<sup>-2</sup>mm)</b>	<b>ESFUERZO <math>\sigma</math> (Kg/mm<sup>2</sup>)</b>
1	0	0	0
2	282	0.3	2.23
3	298	0.5	2.35
4	334.9	1	2.65
5	346.8	1.5	2.74
6	362.6	2	2.86
7	374.7	2.5	2.96
8	385.5	3	3.05
9	393.9	3.5	3.11
10	407.7	4	3.22
11	409.7	4.5	3.24
12	422.5	5	3.34
13	439.4	6	3.47
14	449.6	7	3.55
15	458.7	8	3.62
16	465.9	9	3.68
17	475.6	10	3.76
18	482.9	10.5	3.81
19	492.8	11	3.89
20	499.7	11.5	3.95
21	506.7	12	4
22	516.8	12.5	4.08
23	498.1	13	3.93
24	532	15	4.2
25	556.6	20	4.39
26	598.3	25	4.73
27	641.3	30	5.07
28	657.7	35	5.19
29	676.1	40	5.34

30	686.3	45	5.42
31	697.2	50	5.51
32	718.3	55	5.67
33	744.8	70	5.88
34	757.4	80	5.98
35	776.00	90	6.13
36	783.4	100	6.19
37	781.5	110	6.17
38	754.4	120	5.96
39	675	130	5.32

# **ANEXO D1**



## Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 8; 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 approval. A superscripted epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

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

### 1. Scope \*

1.1 These test methods cover the tension testing of metallic materials in any form at room temperature, specifically, the methods of determination of yield strength, yield point elongation, tensile strength, elongation, and reduction of area.

**NOTE 1**—A complete metric companion to Test Methods E 8 has been developed, therefore, no metric equivalents are shown in these test methods. Committee E28 was granted an exception in 1997 by the Committee on Standards to maintain E8 and E8M as separate companion standards rather than combining standards as recommended by the Form and Style Manual.

**NOTE 2**—Gage lengths in these test methods are required to be 4D for most round specimens. Test specimens made from powder metallurgy (P/M) materials are exempt from this requirement by industry-wide agreement to keep the pressing of the material to a specific projected area and density.

**NOTE 3**—Exceptions to the provisions of these test methods may need to be made in individual specifications or test methods for a particular material. For examples, see Test Methods and Definitions A 370 and Test Methods B 557.

**NOTE 4**—Room temperature shall be considered to be 50 to 100°F unless otherwise specified.

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:

A 356/A 356M Specification for Steel Castings, Carbon, Low Alloy, and Stainless Steel, Heavy-Walled for Steam Turbines<sup>2</sup>

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

B 557 Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast

Aluminum- and Magnesium-Alloy Products<sup>4</sup>

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>5</sup>

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing<sup>5</sup>

E 8M Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]<sup>5</sup>

E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications<sup>6</sup>

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers<sup>5</sup>

E 345 Test Methods of Tension Testing of Metallic Foil<sup>5</sup>

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>6</sup>

E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading<sup>5</sup>

### 3. Terminology

3.1 **Definitions**—The definitions of terms relating to tension testing appearing in Terminology E 6 shall be considered as applying to the terms used in these test methods of tension testing. Additional terms being defined are as follows:

3.1.1 **discontinuous yielding**—a hesitation or fluctuation of force observed at the onset of plastic deformation, due to localized yielding. (The stress-strain curve need not appear to be discontinuous.)

3.1.2 **lower yield strength, LYS** [ $FL^{-2}$ ]—the minimum stress recorded during discontinuous yielding, ignoring transient effects.

3.1.3 **upper yield strength, UYS** [ $FL^{-2}$ ]—the first stress maximum (stress at first zero slope) associated with discontinuous yielding.

3.1.4 **yield point elongation, YPE**—the strain (expressed in percent) separating the stress-strain curve's first point of zero slope from the point of transition from discontinuous yielding to uniform strain hardening. If the transition occurs over a range of strain, the YPE end point is the intersection between (a) a horizontal line drawn tangent to the curve at the last zero slope and (b) a line drawn tangent to the strain hardening portion of the stress-strain curve at the point of inflection. If

<sup>1</sup> These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.04 on Uniaxial Testing.

there is no point at or near the onset of yielding at which the slope reaches zero, the material has 0 % YPE.

3.1.5 *uniform elongation,  $EL_u$ , [%]*—the elongation determined at the maximum force sustained by the test piece just prior to necking and/or fracture.

3.1.5.1 *Discussion*—Uniform elongation includes both elastic and plastic elongation.

#### 4. Significance and Use

4.1 Tension tests provide information on the strength and ductility of materials under uniaxial tensile stresses. This information may be useful in comparisons of materials, alloy development, quality control, and design under certain circumstances.

4.2 The results of tension tests of specimens machined to standardized dimensions from selected portions of a part or material may not totally represent the strength and ductility properties of the entire end product or its in-service behavior in different environments.

4.3 These test methods are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments. The test methods have been used extensively in the trade for this purpose.

#### 5. Apparatus

5.1 *Testing Machines*—Machines used for tension testing shall conform to the requirements of Practices E 4. The forces used in determining tensile strength and yield strength shall be within the verified force application range of the testing machine as defined in Practices E 4.

##### 5.2 *Gripping Devices*

5.2.1 *General*—Various types of gripping devices may be used to transmit the measured force applied by the testing machine to the test specimens. To ensure axial tensile stress within the gage length, the axis of the test specimen should coincide with the center line of the heads of the testing machine. Any departure from this requirement may introduce bending stresses that are not included in the usual stress computation (force divided by cross-sectional area).

*Note 5*—The effect of this eccentric force application may be illustrated by calculating the bending moment and stress thus added. For a standard 1/8-in. diameter specimen, the stress increase is 1.5 percentage points for each 0.001 in. of eccentricity. This error increases to 2.24 percentage points/0.001 in. for a 0.350-in. diameter specimen and to 3.17 percentage points/0.001 in. for a 0.250-in. diameter specimen.

*Note 6*—Alignment methods are given in Practice E 1012.

5.2.2 *Wedge Grips*—Testing machines usually are equipped with wedge grips. These wedge grips generally furnish a satisfactory means of gripping long specimens of ductile metal and flat plate test specimens such as those shown in Fig. 1. If, however, for any reason, one grip of a pair advances farther than the other as the grips tighten, an undesirable bending stress may be introduced. When liners are used behind the wedges, they must be of the same thickness and their faces must be flat and parallel. For best results, the wedges should be supported over their entire lengths by the heads of the testing machine. This requires that liners of several thicknesses be available to cover the range of specimen thickness. For proper gripping, it is desirable that the entire length of the serrated face of each wedge be in contact with the specimen. Proper

alignment of wedge grips and liners is illustrated in Fig. 2. For short specimens and for specimens of many materials it is generally necessary to use machined test specimens and to use a special means of gripping to ensure that the specimens, when under load, shall be as nearly as possible in uniformly distributed pure axial tension (see 5.2.3, 5.2.4, and 5.2.5).

5.2.3 *Grips for Threaded and Shouldered Specimens and Brittle Materials*—A schematic diagram of a gripping device for threaded-end specimens is shown in Fig. 3, while Fig. 4 shows a device for gripping specimens with shouldered ends. Both of these gripping devices should be attached to the heads of the testing machine through properly lubricated spherical-seated bearings. The distance between spherical bearings should be as great as feasible.

5.2.4 *Grips for Sheet Materials*—The self-adjusting grips shown in Fig. 5 have proven satisfactory for testing sheet materials that cannot be tested satisfactorily in the usual type of wedge grips.

5.2.5 *Grips for Wire*—Grips of either the wedge or snubbing types as shown in Fig. 5 and Fig. 6 or flat wedge grips may be used.

5.3 *Dimension-Measuring Devices*—Micrometers and other devices used for measuring linear dimensions shall be accurate and precise to at least one half the smallest unit to which the individual dimension is required to be measured.

5.4 *Extensometers*—Extensometers used in tension testing shall conform to the requirements of Practice E 83 for the classifications specified by the procedure section of this test method. Extensometers shall be used and verified to include the strains corresponding to the yield strength and elongation at fracture (if determined).

5.4.1 Extensometers with gage lengths equal to or shorter than the nominal gage length of the specimen (dimension shown as "G-Gage Length" in the accompanying figures) may be used to determine the yield behavior. For specimens without a reduced section (for example, full cross sectional area specimens of wire, rod, or bar), the extensometer gage length for the determination of yield behavior shall not exceed 80 % of the distance between grips. For measuring elongation at fracture with an appropriate extensometer, the gage length of the extensometer shall be equal to the nominal gage length required for the specimen being tested.

#### 6. Test Specimens

##### 6.1 *General*

6.1.1 *Specimen Size*—Test specimens shall be either substantially full size or machined, as prescribed in the product specifications for the material being tested.

6.1.2 *Location*—Unless otherwise specified, the axis of the test specimen shall be located within the parent material as follows:

6.1.2.1 At the center for products 1 1/2 in. or less in thickness, diameter, or distance between flats.

6.1.2.2 Midway from the center to the surface for products over 1 1/2 in. in thickness, diameter, or distance between flats.

6.1.3 *Specimen Machining*—Improperly prepared test specimens often are the reason for unsatisfactory and incorrect test results. It is important, therefore, that care be exercised in the preparation of specimens, particularly in the machining, to



	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 1½-in. Wide	Sheet-Type, ½-in. Wide	¼-in. Wide
	in.	in.	in.
G—Gage length (Note 1 and Note 2)	8.00 ± 0.01	2.000 ± 0.008	1.000 ± 0.003
W—Width (Note 3 and Note 4)	1½ ± ¼, ¾	0.500 ± 0.010	0.250 ± 0.008
T—Thickness (Note 5)		thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 8)	1	½	¼
L—Over-all length, (Note 2, Note 7 and Note 8)	18	8	4
A—Length of reduced section, min	9	2½	1½
B—Length of grip section, (Note 8)	3	2	1½
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	2	¾	¾

Note 1—For the 1½-in. wide specimen, punch marks for measuring elongation after fracture shall be made on the flat or on the edge of the specimen and within the reduced section. Either a set of nine or more punch marks 1 in. apart, or one or more pairs of punch marks 8 in. apart may be used.

Note 2—When elongation measurements of 1½-in. wide specimens are not required, a minimum length of reduced section (A) of 2½ in. may be used with all other dimensions similar to those of the plate-type specimen.

Note 3—For the three sizes of specimens, the ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.004, 0.002 or 0.001 in., respectively. Also, there may be a gradual decrease in width from the ends to the center, but the width at each end shall not be more than 0.015, 0.005, or 0.003 in., respectively, larger than the width at the center.

Note 4—For each of the three sizes of specimens, narrower widths (W and C) may be used when necessary. In such cases the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits, however, unless stated specifically, the requirements for elongation in a product specification shall not apply when these narrower specimens are used.

Note 5—The dimension T is the thickness of the test specimen as provided for in the applicable material specifications. Minimum thickness of 1½-in. wide specimens shall be ¼ in. Maximum thickness of ½-in. and ¼-in. wide specimens shall be ¼ in. and ¼ in., respectively.

Note 6—For the 1½-in. wide specimen, a ¼-in. minimum radius at the ends of the reduced section is permitted for steel specimens under 100 000 psi in tensile strength when a profile cutter is used to machine the reduced section.

Note 7—The dimension shown is suggested as a minimum. In determining the minimum length, the grips must not extend in to the transition section between Dimensions A and B, see Note 9.

Note 8—To aid in obtaining axial force application during testing of ¼-in. wide specimens, the over-all length should be as large as the material will permit, up to 8.00 in.

Note 9—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section large enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips. If the thickness of ½-in. wide specimens is over ¼ in., longer grips and correspondingly longer grip sections of the specimen may be necessary to prevent failure in the grip section.

Note 10—For the three sizes of specimens, the ends of the specimen shall be symmetrical in width with the center line of the reduced section within 0.10, 0.05 and 0.005 in., respectively. However, for referee testing and when required by product specifications, the ends of the ¼-in. wide specimen shall be symmetrical within 0.01 in.

Note 11—For each specimen type, the radii of all fillets shall be equal to each other within a tolerance of 0.05 in., and the centers of curvature of the two fillets at a particular end shall be located across from each other (on a line perpendicular to the centerline) within a tolerance of 0.10 in.

Note 12—Specimens with sides parallel throughout their length are permitted, except for referee testing, provided: (a) the above tolerances are used; (b) an adequate number of marks are provided for determination of elongation; and (c) when yield strength is determined, a suitable extensometer is used. If the fracture occurs at a distance of less than 2W from the edge of the gripping device, the tensile properties determined may not be representative of the material. In acceptance testing, if the properties meet the minimum requirements specified, no further testing is required, but if they are less than the minimum requirements, discard the test and retest.

FIG. 1 Rectangular Tension Test Specimens

maximize precision and minimize bias in test results.

6.1.3.1 The reduced sections of prepared specimens should be free of cold work, notches, chatter marks, grooves, gouges, burrs, rough surfaces or edges, overheating, or any other condition which can deleteriously affect the properties to be measured.

Note 7—Punching or blanking of the reduced section may produce significant cold work or shear burrs, or both, along the edges which should be removed by machining.

6.1.3.2 Within the reduced section of rectangular speci-

mens, edges or corners should not be ground or abraded in a manner which could cause the actual cross-sectional area of the specimen to be significantly different from the calculated area.

6.1.3.3 For brittle materials, large radius fillets at the ends of the gage length should be used.

6.1.3.4 The cross-sectional area of the specimen should be smallest at the center of the reduced section to ensure fracture within the gage length. For this reason, a small taper is permitted in the reduced section of each of the specimens described in the following sections.

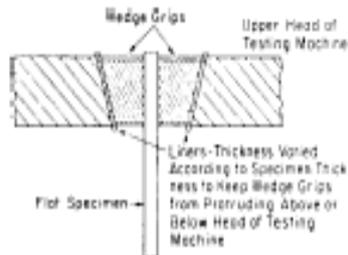


FIG. 2 Wedge Grips with Liners for Flat Specimens

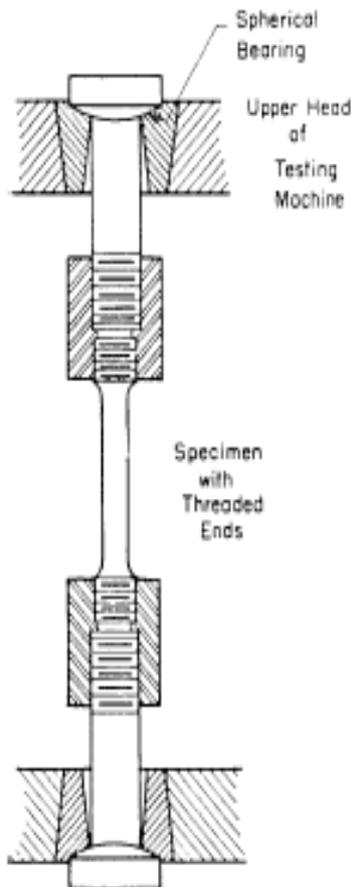


FIG. 3 Gripping Device for Threaded-End Specimens

6.1.4 *Specimen Surface Finish*—When materials are tested with surface conditions other than as manufactured, the surface finish of the test specimens should be as provided in the applicable product specifications.

*Note 8*—Particular attention should be given to the uniformity and quality of surface finish of specimens for high strength and very low ductility materials since this has been shown to be a factor in the variability of test results.

6.2 *Plate-Type Specimens*—The standard plate-type test specimen is shown in Fig. 1. This specimen is used for testing metallic materials in the form of plate, shapes, and flat material having a nominal thickness of  $\frac{1}{8}$  in. or over. When product specifications so permit, other types of specimens may be used, as provided in 6.3, 6.4, and 6.5.

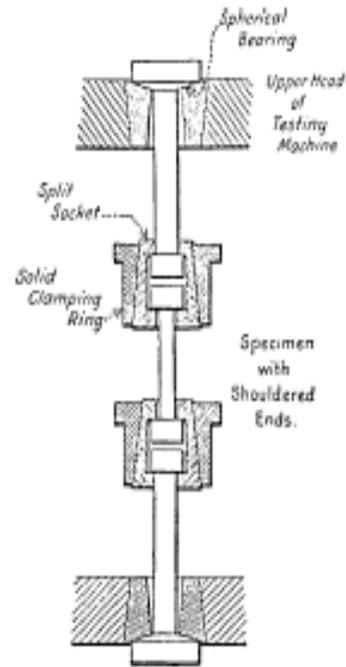


FIG. 4 Gripping Device for Shouldered-End Specimens

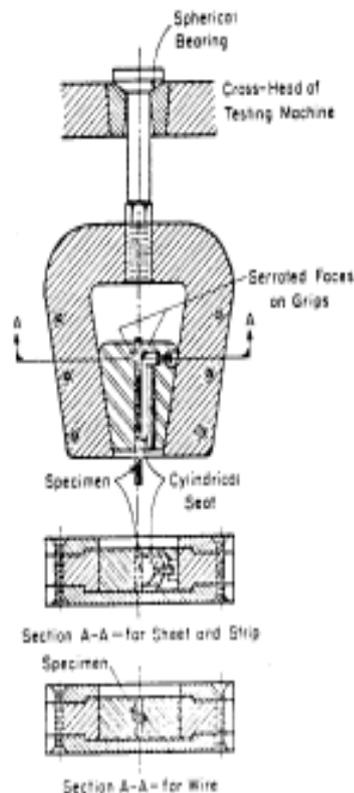


FIG. 6 Gripping Devices for Sheet and Wire Specimens

6.3 *Sheet-Type Specimens:*

6.3.1 The standard sheet-type test specimen is shown in Fig. 1. This specimen is used for testing metallic materials in the

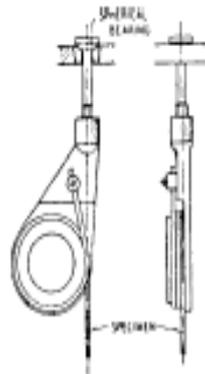


FIG. 8 Snubbing Device for Testing Wire

form of sheet, plate, flat wire, strip, band, hoop, rectangles, and shapes ranging in nominal thickness from 0.005 to 1/4 in. When product specifications so permit, other types of specimens may be used, as provided in 6.2, 6.4, and 6.5.

NOTE 9—Test Methods E 345 may be used for tension testing of materials in thicknesses up to 0.0059 in.

6.3.2 Pin ends as shown in Fig. 7 may be used. In order to avoid buckling in tests of thin and high-strength materials, it may be necessary to use stiffening plates at the grip ends.

6.4 Round Specimens:

6.4.1 The standard 0.500-in. diameter round test specimen shown in Fig. 8 is used quite generally for testing metallic materials, both cast and wrought.

6.4.2 Fig. 8 also shows small-size specimens proportional to the standard specimen. These may be used when it is necessary

to test material from which the standard specimen or specimens shown in Fig. 1 cannot be prepared. Other sizes of small round specimens may be used. In any such small-size specimen it is important that the gage length for measurement of elongation be four times the diameter of the specimen.

6.4.3 The shape of the ends of the specimen outside of the gage length shall be suitable to the material and of a shape to fit the holders or grips of the testing machine so that the forces may be applied axially. Fig. 9 shows specimens with various types of ends that have given satisfactory results.

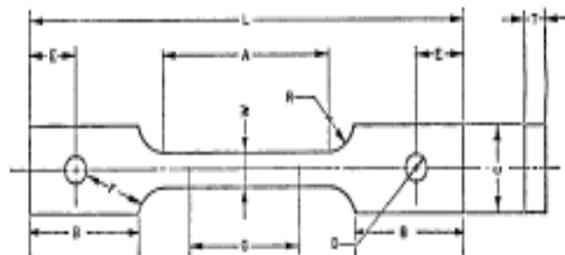
6.5 Specimens for Sheet, Strip, Flat Wire, and Plate—In testing sheet, plate, flat wire, and strip one of the following types of specimens shall be used:

6.5.1 For material ranging in nominal thickness from 0.005 to 1/4 in., use the sheet-type specimen described in 6.3.

NOTE 10—Attention is called to the fact that either of the flat specimens described in 6.2 and 6.3 may be used for material from 1/16 to 1/4 in. in thickness, and one of the round specimens described in 6.4 may also be used for material 1/4 in. or more in thickness.

6.5.2 For material having a nominal thickness of 1/16 in. or over (Note 10), use the plate-type specimen described in 6.2.

6.5.3 For material having a nominal thickness of 1/2 in. or over (Note 10), use the largest practical size of specimen described in 6.4. When product specifications so permit, a sheet-type 1/2 in. wide specimen conforming to the geometry of Fig. 1 is appropriate, provide the T-Thickness dimension is machined to .400 in., ± .020 in. and this machined thickness is uniform within .004 in. throughout the reduced section. In the event of disagreement, referee specimens shall be the round specimen.



Dimensions	In.
G—Gage length	2.000 ± 0.005
W—Width (Note 1)	0.500 ± 0.010
T—Thickness, max (Note 2)	5/16
R—Radius of fillet, min (Note 3)	1/8
L—Over-all length, min	8
A—Length of reduced section, min	2 1/4
B—Length of grip section, min	2
C—Width of grip section, approximate	2
D—Diameter of hole for pin, min (Note 4)	1/8
E—Edge distance from pin, approximate	1 1/8
F—Distance from hole to fillet, min	1/8

NOTE 1—The ends of the reduced section shall differ in width by not more than 0.002 in. There may be a gradual taper in width from the ends to the center, but the width at each end shall be not more than 0.005 in. greater than the width at the center.

NOTE 2—The dimension T is the thickness of the test specimen as stated in the applicable product specifications.

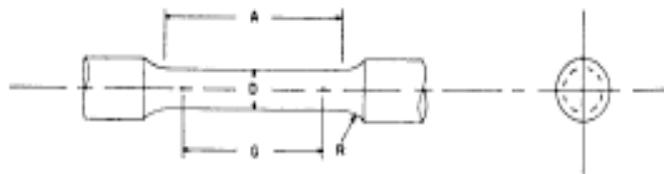
NOTE 3—For some materials, a fillet radius R larger than 1/8 in. may be needed.

NOTE 4—Holes must be on center line of reduced section, within ± 0.002 in.

NOTE 5—Variations of dimensions C, D, E, F, and L may be used that will permit failure within the gage length.

FIG. 7 Pin-Loaded Tension Test Specimen with 2-in. Gage Length

ASTM E 8



	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	1/2	3/8	3/16	3/16
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 1/4 in. in diameter shall be as prescribed in product specifications. In testing wire, rod, or bar that has a 1/4-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 1/4 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.

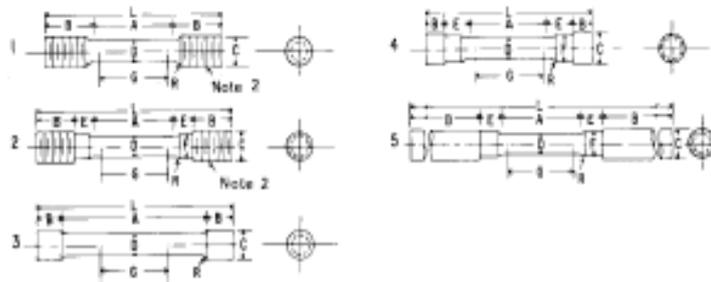
Note 11—The ends of copper or copper alloy specimens may be flattened 10 to 50 % from the original dimension in a jig similar to that shown in Fig. 10, to facilitate fracture within the gage marks. In flattening the opposite ends of the test specimen, care shall be taken to ensure that the four flattened 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**



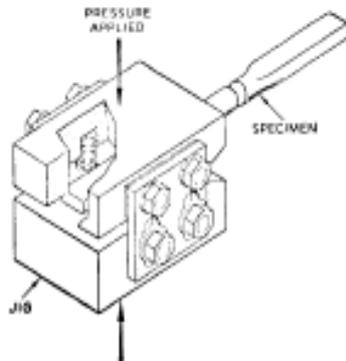
	Dimensions				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
	in.				
G—Gage length	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005
D—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010
R—Radius of fillet, min	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8
A—Length of reduced section	2 1/4, min	2 1/4, min	4, approximately	2 1/4, min	2 1/4, min
L—Over-all length, approximate	5	5 1/2	5 1/2	4 3/4	6 1/2
B—Length of end section (Note 3)	1 1/4, approximately	1, approximately	3/4, approximately	1/2, approximately	3, min
C—Diameter of end section	3/8	3/8	3/8	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	3/8

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. 8 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 3/8 in. but not less than 1/8 in. shall be used at the ends of the reduced sections.

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

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

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

6.9 Specimens for Pipe and Tube (Note 12):

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

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

6.9.2 For large-diameter tube that cannot be tested in full section, longitudinal tension test specimens shall be cut as indicated in Fig. 12. Specimens from welded tube shall be located approximately 90° from the weld. If the tube-wall thickness is under 1/4 in., either a specimen of the form and

# **ANEXO D2**

## 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>3</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.  
800 HBW 1/30/20 = Brinell hardness of 800 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 =  $\frac{1}{k_n} = \frac{1}{9.80665} = 0.102$

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
	$= \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$
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

TABLE 2 Brinell Hardness Numbers<sup>a</sup>  
(Ball 10 mm in Diameter, Applied Forces of 500, 1500, and 3000 kgf)

NOTE 1—The values given in this table for Brinell hardness numbers are merely solutions of the equation given in the definition in 3.1.1, and include values for indentation diameters outside the ranges recommended in 8.1. These values are indicated by italics.

Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number		
	500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force
2.00	158	473	945	2.60	92.6	278	555	3.20	60.5	182	363	3.80	42.4	127	255
2.01	158	488	938	2.61	91.8	276	551	3.21	60.1	180	361	3.81	42.2	127	253
2.02	154	483	926	2.62	91.1	273	547	3.22	59.8	179	359	3.82	42.0	126	252
2.03	153	489	917	2.63	90.4	271	543	3.23	59.4	178	358	3.83	41.7	125	250
2.04	151	484	908	2.64	89.7	269	538	3.24	59.0	177	354	3.84	41.5	125	249
2.05	150	480	899	2.65	89.0	267	534	3.25	58.6	176	352	3.85	41.3	124	248
2.06	148	445	890	2.66	88.4	265	530	3.26	58.3	175	350	3.86	41.1	123	246
2.07	147	441	882	2.67	87.7	263	526	3.27	57.9	174	347	3.87	40.9	123	245
2.08	146	437	873	2.68	87.0	261	522	3.28	57.5	173	345	3.88	40.6	122	244
2.09	144	432	865	2.69	86.4	259	518	3.29	57.2	172	343	3.89	40.4	121	242
2.10	143	428	856	2.70	85.7	257	514	3.30	56.8	170	341	3.90	40.2	121	241
2.11	141	424	848	2.71	85.1	255	510	3.31	56.5	169	339	3.91	40.0	120	240
2.12	140	420	840	2.72	84.4	253	507	3.32	56.1	168	337	3.92	39.8	119	239
2.13	139	416	832	2.73	83.8	251	503	3.33	55.8	167	335	3.93	39.6	119	237
2.14	137	412	824	2.74	83.2	250	499	3.34	55.4	166	333	3.94	39.4	118	236
2.15	136	408	817	2.75	82.6	248	496	3.35	55.1	165	331	3.95	39.1	117	235
2.16	135	404	809	2.76	81.9	246	492	3.36	54.8	164	329	3.96	38.9	117	234
2.17	134	401	802	2.77	81.3	244	488	3.37	54.4	163	326	3.97	38.7	116	232
2.18	132	397	794	2.78	80.6	242	485	3.38	54.1	162	325	3.98	38.5	116	231
2.19	131	393	787	2.79	80.2	240	481	3.39	53.8	161	323	3.99	38.3	115	230
2.20	130	390	780	2.80	79.6	239	477	3.40	53.4	160	321	4.00	38.1	114	229
2.21	129	388	772	2.81	79.0	237	474	3.41	53.1	159	319	4.01	37.9	114	228
2.22	128	383	765	2.82	78.4	235	471	3.42	52.8	158	317	4.02	37.7	113	226
2.23	126	379	758	2.83	77.9	234	467	3.43	52.5	157	315	4.03	37.5	113	225
2.24	125	376	752	2.84	77.3	232	464	3.44	52.2	156	313	4.04	37.3	112	224
2.25	124	372	745	2.85	76.8	230	461	3.45	51.8	156	311	4.05	37.1	111	223
2.26	123	369	738	2.86	76.2	229	457	3.46	51.5	155	309	4.06	37.0	111	222
2.27	122	366	732	2.87	75.7	227	454	3.47	51.2	154	307	4.07	36.8	110	221
2.28	121	363	725	2.88	75.1	225	451	3.48	50.9	153	306	4.08	36.6	110	219
2.29	120	359	719	2.89	74.6	224	448	3.49	50.6	152	304	4.09	36.4	109	218
2.30	119	356	712	2.90	74.1	222	444	3.50	50.3	151	302	4.10	36.2	109	217
2.31	118	353	706	2.91	73.6	221	441	3.51	50.0	150	300	4.11	36.0	108	216
2.32	117	350	700	2.92	73.0	219	438	3.52	49.7	149	298	4.12	35.8	108	215
2.33	116	347	694	2.93	72.5	218	435	3.53	49.4	148	297	4.13	35.7	107	214
2.34	115	344	688	2.94	72.0	216	432	3.54	49.2	147	295	4.14	35.5	106	213
2.35	114	341	682	2.95	71.5	215	429	3.55	48.9	147	293	4.15	35.3	106	212
2.36	113	338	676	2.96	71.0	213	426	3.56	48.6	146	292	4.16	35.1	105	211
2.37	112	335	670	2.97	70.5	212	423	3.57	48.3	145	290	4.17	34.9	105	210
2.38	111	332	665	2.98	70.1	210	420	3.58	48.0	144	288	4.18	34.8	104	209
2.39	110	330	659	2.99	69.6	209	417	3.59	47.7	143	286	4.19	34.6	104	208
2.40	109	327	653	3.00	69.1	207	415	3.60	47.5	142	285	4.20	34.4	103	207
2.41	108	324	648	3.01	68.6	206	412	3.61	47.2	142	283	4.21	34.2	103	206
2.42	107	322	643	3.02	68.2	205	409	3.62	46.9	141	282	4.22	34.1	102	204
2.43	106	319	637	3.03	67.7	203	406	3.63	46.7	140	280	4.23	33.9	102	203
2.44	105	316	632	3.04	67.3	202	404	3.64	46.4	139	278	4.24	33.7	101	202
2.45	104	313	627	3.05	66.8	200	401	3.65	46.1	138	277	4.25	33.6	101	201
2.46	104	311	621	3.06	66.4	199	398	3.66	45.9	138	275	4.26	33.4	100	200
2.47	103	308	616	3.07	65.9	198	396	3.67	45.6	137	274	4.27	33.2	99.7	199
2.48	102	306	611	3.08	65.5	196	393	3.68	45.4	136	272	4.28	33.1	99.2	198
2.49	101	303	606	3.09	65.0	195	390	3.69	45.1	135	271	4.29	32.9	98.8	198
2.50	100	301	601	3.10	64.6	194	388	3.70	44.9	135	269	4.30	32.8	98.3	197
2.51	99.4	298	597	3.11	64.2	193	386	3.71	44.6	134	268	4.31	32.6	97.8	196
2.52	98.6	296	592	3.12	63.8	191	383	3.72	44.4	133	266	4.32	32.4	97.3	195
2.53	97.8	294	587	3.13	63.3	190	380	3.73	44.1	132	265	4.33	32.3	96.8	194
2.54	97.1	291	582	3.14	62.9	189	378	3.74	43.9	132	263	4.34	32.1	96.4	193
2.55	96.3	289	578	3.15	62.5	188	375	3.75	43.6	131	262	4.35	32.0	95.9	192
2.56	95.5	287	573	3.16	62.1	186	373	3.76	43.4	130	260	4.36	31.8	95.5	191
2.57	94.8	284	569	3.17	61.7	185	370	3.77	43.1	129	259	4.37	31.7	95.0	190
2.58	94.0	282	564	3.18	61.3	184	368	3.78	42.9	129	257	4.38	31.5	94.5	189
2.59	93.3	280	560	3.19	60.9	183	366	3.79	42.7	128	256	4.39	31.4	94.1	188

because of the risk in damaging the ball and difficulty measuring the indentation. The upper limit is necessary because of a reduction in sensitivity as the diameter of the indentation approaches the ball diameter. The thickness and spacing

requirements of 6.1.1, 6.1.2, and 8.3 may determine the maximum permissible diameter of indentation for a specific test. Table 6 gives standard test forces and approximate Brinell hardness numbers for the above range of indentation diameters.

TABLE 2 Continued

Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number		
	500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force
4.40	31.2	93.6	187	5.05	23.3	69.8	140	5.70	17.8	53.5	107	6.35	14.0	42.0	84.0
4.41	31.1	93.2	186	5.06	23.2	69.5	139	5.71	17.8	53.3	107	6.36	13.9	41.8	83.7
4.42	30.9	92.7	185	5.07	23.1	69.2	138	5.72	17.7	53.1	106	6.37	13.9	41.7	83.4
4.43	30.8	92.3	185	5.08	23.0	68.9	138	5.73	17.6	52.9	106	6.38	13.8	41.5	83.1
4.44	30.6	91.8	184	5.09	22.9	68.6	137	5.74	17.6	52.7	105	6.39	13.8	41.4	82.8
4.45	30.5	91.4	183	5.10	22.8	68.3	137	5.75	17.5	52.5	105	6.40	13.7	41.2	82.5
4.46	30.3	91.0	182	5.11	22.7	68.0	136	5.76	17.4	52.3	105	6.41	13.7	41.1	82.2
4.47	30.2	90.5	181	5.12	22.6	67.7	135	5.77	17.4	52.1	104	6.42	13.6	40.9	81.9
4.48	30.0	90.1	180	5.13	22.5	67.4	135	5.78	17.3	51.9	104	6.43	13.6	40.8	81.6
4.49	29.9	89.7	179	5.14	22.4	67.1	134	5.79	17.2	51.7	103	6.44	13.5	40.6	81.3
4.50	29.8	89.3	179	5.15	22.3	66.9	134	5.80	17.2	51.5	103	6.45	13.5	40.5	81.0
4.51	29.6	88.8	178	5.16	22.2	66.6	133	5.81	17.1	51.3	103	6.46	13.4	40.4	80.7
4.52	29.5	88.4	177	5.17	22.1	66.3	133	5.82	17.0	51.1	102	6.47	13.4	40.2	80.4
4.53	29.3	88.0	176	5.18	22.0	66.0	132	5.83	17.0	50.9	102	6.48	13.4	40.1	80.1
4.54	29.2	87.6	175	5.19	21.9	65.8	132	5.84	16.9	50.7	101	6.49	13.3	39.9	79.8
4.55	29.1	87.2	174	5.20	21.8	65.5	131	5.85	16.8	50.5	101	6.50	13.3	39.8	79.5
4.56	28.9	86.8	174	5.21	21.7	65.2	130	5.86	16.8	50.3	101	6.51	13.2	39.6	79.3
4.57	28.8	86.4	173	5.22	21.6	64.9	130	5.87	16.7	50.2	100	6.52	13.2	39.5	79.0
4.58	28.7	86.0	172	5.23	21.6	64.7	129	5.88	16.7	50.0	99.9	6.53	13.1	39.4	78.7
4.59	28.5	85.6	171	5.24	21.5	64.4	129	5.89	16.6	49.8	99.5	6.54	13.1	39.2	78.4
4.60	28.4	85.4	170	5.25	21.4	64.1	128	5.90	16.5	49.6	99.2	6.55	13.0	39.1	78.2
4.61	28.3	84.8	170	5.26	21.3	63.9	128	5.91	16.5	49.4	98.8	6.56	13.0	38.9	78.0
4.62	28.1	84.4	169	5.27	21.2	63.6	127	5.92	16.4	49.2	98.4	6.57	12.9	38.8	77.6
4.63	28.0	84.0	168	5.28	21.1	63.3	127	5.93	16.3	49.0	98.0	6.58	12.9	38.7	77.3
4.64	27.9	83.6	167	5.29	21.0	63.1	126	5.94	16.3	48.8	97.7	6.59	12.8	38.5	77.1
4.65	27.8	83.3	167	5.30	20.9	62.8	126	5.95	16.2	48.7	97.3	6.60	12.8	38.4	76.8
4.66	27.6	82.9	166	5.31	20.9	62.6	125	5.96	16.2	48.5	96.9	6.61	12.8	38.3	76.5
4.67	27.5	82.5	165	5.32	20.8	62.3	125	5.97	16.1	48.3	96.6	6.62	12.7	38.1	76.2
4.68	27.4	82.1	164	5.33	20.7	62.1	124	5.98	16.0	48.1	96.2	6.63	12.7	38.0	76.0
4.69	27.3	81.8	164	5.34	20.6	61.8	124	5.99	16.0	47.9	95.9	6.64	12.6	37.9	75.7
4.70	27.1	81.4	163	5.35	20.5	61.5	123	6.00	15.9	47.7	95.5	6.65	12.6	37.7	75.4
4.71	27.0	81.0	162	5.36	20.4	61.3	123	6.01	15.9	47.6	95.1	6.66	12.5	37.6	75.2
4.72	26.9	80.7	161	5.37	20.3	61.0	122	6.02	15.8	47.4	94.8	6.67	12.5	37.5	74.9
4.73	26.8	80.3	161	5.38	20.3	60.8	122	6.03	15.7	47.2	94.4	6.68	12.4	37.3	74.7
4.74	26.6	79.9	160	5.39	20.2	60.6	121	6.04	15.7	47.0	94.1	6.69	12.4	37.2	74.4
4.75	26.5	79.6	159	5.40	20.1	60.3	121	6.05	15.6	46.8	93.7	6.70	12.4	37.1	74.1
4.76	26.4	79.2	158	5.41	20.0	60.1	120	6.06	15.6	46.7	93.4	6.71	12.3	36.9	73.9
4.77	26.3	78.9	158	5.42	19.9	59.8	120	6.07	15.5	46.5	93.0	6.72	12.3	36.8	73.6
4.78	26.2	78.5	157	5.43	19.9	59.6	119	6.08	15.4	46.3	92.7	6.73	12.2	36.7	73.4
4.79	26.1	78.2	156	5.44	19.8	59.3	119	6.09	15.4	46.2	92.3	6.74	12.2	36.6	73.1
4.80	25.9	77.8	156	5.45	19.7	59.1	118	6.10	15.3	46.0	92.0	6.75	12.1	36.4	72.8
4.81	25.8	77.5	155	5.46	19.6	58.9	118	6.11	15.3	45.8	91.7	6.76	12.1	36.3	72.6
4.82	25.7	77.1	154	5.47	19.5	58.6	117	6.12	15.2	45.7	91.3	6.77	12.1	36.2	72.3
4.83	25.6	76.8	154	5.48	19.5	58.4	117	6.13	15.2	45.5	91.0	6.78	12.0	36.0	72.1
4.84	25.5	76.4	153	5.49	19.4	58.2	116	6.14	15.1	45.3	90.6	6.79	12.0	35.9	71.8
4.85	25.4	76.1	152	5.50	19.3	57.9	116	6.15	15.1	45.2	90.3	6.80	11.9	35.8	71.6
4.86	25.3	75.8	152	5.51	19.2	57.7	115	6.16	15.0	45.0	90.0	6.81	11.9	35.7	71.3
4.87	25.1	75.4	151	5.52	19.2	57.5	115	6.17	14.9	44.8	89.6	6.82	11.8	35.5	71.1
4.88	25.0	75.1	150	5.53	19.1	57.2	114	6.18	14.9	44.7	89.3	6.83	11.8	35.4	70.8
4.89	24.9	74.8	150	5.54	19.0	57.0	114	6.19	14.8	44.5	89.0	6.84	11.8	35.3	70.6
4.90	24.8	74.4	149	5.55	18.9	56.8	114	6.20	14.7	44.3	88.7	6.86	11.7	35.2	70.4
4.91	24.7	74.1	148	5.56	18.9	56.6	113	6.21	14.7	44.2	88.3	6.86	11.7	35.1	70.1
4.92	24.6	73.8	148	5.57	18.8	56.3	113	6.22	14.7	44.0	88.0	6.87	11.6	34.9	69.9
4.93	24.5	73.5	147	5.58	18.7	56.1	112	6.23	14.6	43.8	87.7	6.88	11.6	34.8	69.6
4.94	24.4	73.2	146	5.59	18.6	55.9	112	6.24	14.6	43.7	87.4	6.89	11.6	34.7	69.4
4.95	24.3	72.8	146	5.60	18.6	55.7	111	6.25	14.5	43.5	87.1	6.90	11.5	34.6	69.2
4.96	24.2	72.5	145	5.61	18.5	55.5	111	6.26	14.5	43.4	86.7	6.91	11.5	34.5	68.9
4.97	24.1	72.2	144	5.62	18.4	55.2	110	6.27	14.4	43.2	86.4	6.92	11.4	34.3	68.7
4.98	24.0	71.9	144	5.63	18.3	55.0	110	6.28	14.4	43.1	86.1	6.93	11.4	34.2	68.4
4.99	23.9	71.6	143	5.64	18.3	54.8	110	6.29	14.3	42.9	85.8	6.94	11.4	34.1	68.2
5.00	23.8	71.3	143	5.65	18.2	54.6	109	6.30	14.2	42.7	85.5	6.95	11.3	34.0	68.0
5.01	23.7	71.0	142	5.66	18.1	54.4	109	6.31	14.2	42.6	85.2	6.96	11.3	33.9	67.7
5.02	23.6	70.7	141	5.67	18.1	54.2	108	6.32	14.1	42.4	84.9	6.97	11.3	33.8	67.5
5.03	23.5	70.4	141	5.68	18.0	54.0	108	6.33	14.1	42.3	84.6	6.98	11.2	33.6	67.3
5.04	23.4	70.1	140	5.69	17.9	53.7	107	6.34	14.0	42.1	84.3	6.99	11.2	33.5	67.0

<sup>a</sup> Prepared by the Engineering Mechanics Section, National Bureau of Standards.

It is not mandatory that the Brinell test conform to these hardness ranges, but it should be realized that different Brinell hardness numbers may be obtained for a given material by

using different forces on a 10-mm diameter ball. For the purpose of obtaining a continuous scale of values it may be desirable, however, to use a single force to cover the complete

TABLE 3 Test Conditions

Hardness Symbol	Ball Diameter $D$ , mm	$0.102 F$ $DP$	Test Force $F$ Nominal Value
HBW 10/3000	10	30	29.42 kN - (3000 kgf)
HBW 10/1500	10	15	14.71 kN - (1500 kgf)
HBW 10/1000	10	10	9.807 kN - (1000 kgf)
HBW 10/500	10	5	4.903 kN - (500 kgf)
HBW 10/250	10	2.5	2.452 kN - (250 kgf)
HBW 10/125	10	1.25	1.226 kN - (125 kgf)
HBW 10/100	10	1	980.7 N - (100 kgf)
HBW 5/750	5	30	7.355 kN - (750 kgf)
HBW 5/250	5	10	2.452 kN - (250 kgf)
HBW 5/125	5	5	1.226 kN - (125 kgf)
HBW 5/62.5	5	2.5	612.9 N - (62.5 kgf)
HBW 5/31.25	5	1.25	306.5 N - (31.25 kgf)
HBW 5/25	5	1	245.2 N - (25 kgf)
HBW 2.5/187.5	2.5	30	1.839 kN - (187.5 kgf)
HBW 2.5/62.5	2.5	10	612.9 N - (62.5 kgf)
HBW 2.5/31.25	2.5	5	306.5 N - (31.25 kgf)
HBW 2.5/15.625	2.5	2.5	153.2 N - (15.625 kgf)
HBW 2.5/7.8125	2.5	1.25	76.61 N - (7.8125 kgf)
HBW 2.5/6.25	2.5	1	61.29 N - (6.25 kgf)
HBW 2/30	2	30	1.177 kN - (120 kgf)
HBW 2/40	2	10	392.3 N - (40 kgf)
HBW 2/20	2	5	196.1 N - (20 kgf)
HBW 2/10	2	2.5	98.07 N - (10 kgf)
HBW 2/5	2	1.25	49.03 N - (5 kgf)
HBW 2/4	2	1	39.23 N - (4 kgf)
HBW 1/30	1	30	294.2 N - (30 kgf)
HBW 1/10	1	10	98.07 N - (10 kgf)
HBW 1/5	1	5	49.03 N - (5 kgf)
HBW 1/2.5	1	2.5	24.52 N - (2.5 kgf)
HBW 1/1.25	1	1.25	12.26 N - (1.25 kgf)
HBW 1/1	1	1	9.807 N - (1 kgf)

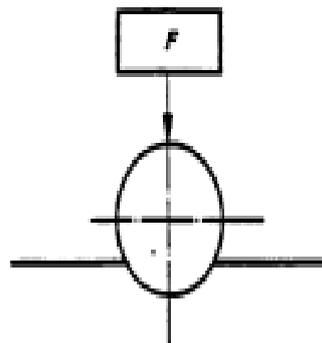


FIG. 1 Principle of Test

range of hardness for a given class of materials. For softer metals, forces of 2.45 kN (250 kgf), 1.23 kN (125 kgf), or 0.981 kN (100 kgf) are sometimes used. The force used shall

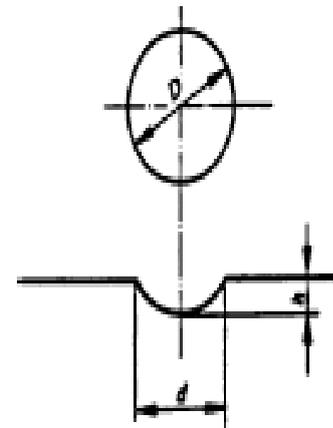


FIG. 2 Principle of Test

TABLE 4 Tolerances for Brinell Hardness Balls

Ball Diameter, mm	Tolerance, mm
10	$\pm 0.005$
5	$\pm 0.004$
2.5	$\pm 0.003$
2	$\pm 0.003$
1	$\pm 0.003$

TABLE 5 Minimum Thickness Requirements for Brinell Hardness Tests

Minimum Thickness of Specimen		Minimum Hardness for Which the Brinell Test May Safely Be Made		
in.	mm	3000-kgf Force	1500-kgf Force	500-kgf Force
$\frac{1}{16}$	1.6	602	301	100
$\frac{1}{8}$	3.2	301	150	50
$\frac{3}{16}$	4.8	201	100	33
$\frac{1}{4}$	6.4	150	75	25
$\frac{5}{16}$	8.0	120	60	20
$\frac{3}{8}$	9.6	100	50	17

TABLE 6 Standard Test Forces

Ball Diameter, mm	Force	Recommended Range, HBW
10	29.42 kN (3000 kgf)	98 to 500
10	14.7 kN (1500 kgf)	48 to 300
10	4.90 kN (500 kgf)	18 to 100

be specifically stated in the test report (see 11.1.2).

TABLE 7 Hardness Ranges Used By Standard Test Block Method

Method
100 to 200 HBW
300 to 400 HBW
500 to 600 HBW

8.1.1 For testing thin or small specimens, a ball less than 10 mm in diameter is sometimes used. Such tests, which are not to be regarded as standard tests, will approximate the standard tests more closely if the relation between the applied force,  $F$ , measured in N, and the diameter of the ball,  $D$ , measured in mm is the same as in the standard tests,

where:

$$0.102F/D^2 = 30 \text{ for } 29.42 \text{ kN (3000 kgf) force and 10-mm ball,}$$

$$0.102F/D^2 = 15 \text{ for } 14.72 \text{ kN (1500 kgf) force and 10-mm ball, and}$$

$$0.102F/D^2 = 5 \text{ for } 4.90 \text{ kN (500 kgf) force and 10-mm ball.}$$

8.1.1.1 Example—A 1.23-kN (125-kgf) test force on a 5-mm diameter ball would approximate a standard 4.90-kN (500-kgf) test force on a 10-mm diameter ball.

8.1.2 Tests for soft metals often are made with the following force-diameter ratios:

$$0.102F/D^2 = 2.5 \quad (2)$$

$$0.102F/D^2 = 1.25$$

$$0.102F/D^2 = 1.0$$

8.1.3 When balls smaller than 10 mm in diameter are used, both the test force and ball size shall be specifically stated in the test report (see 3.1.1, 3.1.1.1, and 11.1.2).

8.2 *Radius of Curvature*—When indentations are made on a curved surface, the minimum radius of curvature of the surface shall be not less than  $2\frac{1}{2}$  times the diameter of the ball. Indentations made on curved surfaces may be slightly elliptical rather than circular in shape. The measurements of the indentation shall be taken as the mean of the major and minor axes.

8.3 *Spacing of Indentations*—The distance of the center of the indentation from the edge of the specimen or edge of another indentation shall be at least two and one half times the diameter of the indentation.

8.4 *Application of Test Force*—Apply the force to the specimen uniformly taking precautions to prevent a momentary overload of the system. Apply the full test force for 10 to 15 s.

8.4.1 If a duration of test force application other than 10 to 15 s is used, results of the test shall be reported using the nomenclature outlined in 4.2 and 11.1.2.

8.5 *Alignment*—The angle between the indenter force line and the surface of the specimen should be  $90 \pm 2^\circ$ . (see 9.1)

## 9. Measurement of Indentation

9.1 *Diameter*—In the Brinell hardness test, two diameters of the indentation at right angles to each other shall be measured and their mean value used as a basis for calculation of the Brinell hardness number for flat specimens. If the largest and smallest diameters for two readings of the same indentation differ by 0.1 mm or more, refer to the material specifica-

tions for further guidance. For routine tests and for tests to determine compliance with a material or product specification, the diameter of the indentation shall be estimated to 0.05 mm (0.0020 in.).

NOTE 4—These measurements are usually made with a low-magnification portable measuring device (approximately 20 $\times$ ) having a fixed scale in the eyepiece. If a more accurate determination is needed, as in referee or standardization tests, a laboratory comparator such as a micrometer measuring device is required.

## 10. Conversion to Other Hardness Scales or Tensile Strength Values

10.1 There is no general method for accurately converting Brinell hardness numbers to other hardness scales or tensile strength values. Such conversion are, at best, approximations and, therefore, should be avoided except for special cases where a reliable basis for the approximate conversion has been obtained by comparison tests.

NOTE 5—Hardness Conversion Tables E 140 for Metals give approximate hardness conversion values for specific materials such as steel, austenitic stainless steel, nickel and high-nickel alloys, and cartridge brass.

## 11. Report

11.1 Whenever a Brinell hardness number is used, provide the following information:

11.1.1 The Brinell hardness number, which shall be reported rounded to three significant digits in accordance with rounding method in Practice E 29 (for example, 125 HBW, 99.2 HBW).

11.1.2 The test conditions when the Brinell hardness number is determined from forces other than 29.42 kN (3000 kgf), ball diameters other than 10 mm, and test force applications other than 10 to 15 s (see 3.1.1 and 8.4).

## 12. Precision and Bias

12.1 *Precision*—An interlaboratory comparison program is now in progress which, when completed, will be the basis of a statement on precision.

12.2 *Bias*—There is no basis for defining the bias for this test method.

## TEST METHOD B—VERIFICATION OF BRINELL HARDNESS TESTING MACHINES

### 13. Scope

13.1 Test Method B covers two procedures for the verification of Brinell hardness testing machines. These are as follows:

13.1.1 *Direct Verification*—Separate verification of force application, indenter, and the measuring device for measuring the diameter of the indentation.

13.1.2 *Indirect Verification*—Verification by the standardized test block method.

13.2 New or rebuilt machines shall be initially checked by the direct verification method (see 13.1.1) before being placed in service.

13.3 Machines used for routine testing may be checked by either verification method.

### 14. General Requirements

14.1 Before a Brinell hardness testing machine is verified,

the machine shall be examined to ensure that:

14.1.1 The machine is set up properly.

14.1.2 The ball holder, with a new ball whose nominal diameter has been checked (see 15.1.2), is mounted firmly in the plunger.

14.1.3 The force will be applied and removed without shock or vibration.

14.2 If the measuring device is integral with the machine, the machine shall be examined to ensure the following:

14.2.1 The change from test force application to measuring does not influence the readings.

14.2.2 The method of illumination does not affect the readings.

14.2.3 The center of the indentation is in the center of the field of view.

## 15. Verification

15.1 *Direct Verification*—Separate verification of force application, indenter, and measuring device:

15.1.1 *Force Application*—Brinell hardness testing machines shall be verified at the test force(s) at which it is used. The test forces will be checked periodically with a force measuring device traceable to national standards (in the United States, National Institute of Standards and Technology) in the manner described in Practices E 4. A Brinell hardness testing machine is acceptable for use when the test force error does not exceed  $\pm 1\%$ .

15.1.2 *Indenter*—The indenter to be verified shall be a new ball selected at random from a lot meeting the hardness requirements specified in 5.2. The diameter of each ball shall be verified at not less than three positions and the mean of these readings shall not differ from the nominal diameter by more than the tolerance specified in Table 4.

15.1.3 *Measuring Device*—The measuring device used to determine the diameter of the indentation shall be verified at five intervals over the working range by the use of an accurate scale such as a stage micrometer. The adjustment of the device shall be such that, throughout the range covered, the difference between the scale divisions of the device and of the calibrating scale does not exceed 0.01 mm (0.0004 in.).

15.1.4 The verification is incomplete if a verification report is not issued.

15.2 *Indirect Verification*—Verification by standardized test block method.

15.2.1 A Brinell hardness testing machine also may be checked by making a series of at least five indentations on standardized hardness test blocks (Test Method C).

15.2.2 If the machine is to be used at conditions other than 10/29.42 kN (3000 kgf)/15, the machine also shall be verified at those other conditions.

15.2.3 The testing machine shall be verified for each test force and for each size of ball used. For each test force, standardized blocks within the hardness ranges given in Table 7, shall be used.

NOTE 6—When the hardness test in question makes it impossible to reach the higher hardness range defined in Table 7 (for  $0.102/F/D^2 = 5$  or 10), the verification may be carried out with two blocks from the lower hardness range.

15.2.3.1 Verification shall be carried out using a tungsten

carbide ball and this verification will be valid for hardnesses  $\leq 650$  HBW.

15.2.4 *Repeatability*—For each standardized block, let  $d_1, d_2, \dots, d_n$  be the mean values of the measured diameter of the indentations, arranged in increasing order of magnitude. The repeatability of the testing machine under the particular verification conditions is determined by the following quantity:

$$d_n - d_1 \quad (3)$$

The repeatability of the testing machine verified is not considered satisfactory unless it satisfies the conditions given in Table 8.

15.2.5 *Error*—The error of the testing machine under the particular verification conditions is characterized by the following quantity:

$$\bar{H} - H \quad (4)$$

where:

$$\text{error} = \bar{H} - H$$

$$\bar{H} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \quad (5)$$

$H_1, H_2, \dots, H_n$  = the hardness values corresponding to  $d_1, d_2, \dots, d_n$ , and

$H$  = specified hardness of the standardized block.

15.2.6 The Brinell hardness testing machine shall be considered verified if the mean hardness differs by no more than 3% from the hardness value of the standardized hardness test block.

15.2.7 The verification is incomplete if a verification report is not issued.

15.3 *Verification Report*—The test report shall include the following information:

15.3.1 Reference to this ASTM test method,

15.3.2 Method of verification (direct or indirect),

15.3.3 Identification of the hardness testing machine,

15.3.4 Means of verification (test blocks, elastic proving devices, etc.),

15.3.5 Diameter of indenter ball and test force,

15.3.6 The result obtained,

15.3.7 Date of verification and reference to the calibration institution, and

15.3.8 Identity of person performing the verification.

## 16. Procedure for Periodic Checks by the User

16.1 Verification by the standardized test block method (15.2) is too lengthy for daily use. Instead, the following is recommended:

TABLE 8 Repeatability of Testing Machine

Hardness of Standardized Block HBW	Repeatability of the Testing Machine, max	HBW	
		H	$H_1 - H_5$ , max
<225	0.04 $\bar{d}$	100	9
		200	17
		300	12
		400	17
		500	20
>225	0.02 $\bar{d}$	500	20
		600	24

16.1.1 Make at least one routine check in accordance with 16.1.2 each day that the testing machine is used.

16.1.2 Consult the machine manufacturer's start-up procedures. Select the force, indenter, and measuring device that will be used for the routine testing. Make at least two indentations on a standardized hardness test block. If the mean of these two values falls within the tolerances required (see 15.2.6), the hardness machine may be regarded as producing satisfactory hardness results. If not, the hardness machine shall be verified as described in 15.2.

### TEST METHOD C—CALIBRATION OF STANDARDIZED HARDNESS TEST BLOCKS FOR BRINELL HARDNESS TESTING MACHINES

#### 17. Scope

17.1 This test method covers the calibration of standardized hardness test blocks for the verification of Brinell hardness testing machines as described in Test Method B.

#### 18. Manufacture

18.1 Each metal block to be calibrated shall be not less than 16 mm ( $\frac{5}{8}$  in.) in thickness for 10-mm balls, 12 mm ( $\frac{1}{2}$  in.) thick for 5-mm balls, and 6 mm ( $\frac{1}{4}$  in.) thick for smaller balls.

18.1.1 The maximum surface area of the test block shall be  $40 \text{ cm}^2$  ( $6 \text{ in.}^2$ ) for balls less than 5 mm in diameter, and  $150 \text{ cm}^2$  ( $24 \text{ in.}^2$ ) for balls equal to or greater than 5 mm in diameter.

18.2 Each block shall be specially prepared and heat treated to give the necessary homogeneity and stability of structure.

18.3 The maximum error in parallelism shall not exceed 0.0008 mm/mm (in./in.) for blocks when used with balls having a diameter greater than or equal to 5 mm and 0.0002 mm/mm (in./in.) for blocks when used with balls having a diameter less than 5 mm. The maximum deviation in flatness of the block surfaces shall not exceed 0.02 mm (0.0008 in.) and 0.005 mm (0.0002 in.) for balls having diameters equal to or greater than 5 mm and less than 5 mm, respectively.

18.4 The supporting surface of the test block shall have a ground finish and shall have a mean surface roughness height rating that shall not exceed 0.0008-mm (32- $\mu\text{in.}$ ) centerline average.

18.5 The test surface shall be free of scratches which would interfere with measurements of the diameters of the indentation.

18.5.1 The mean surface roughness height of the test surface rating shall not exceed 0.0003-mm (12- $\mu\text{in.}$ ) center line average for the standard 10-mm ball. For smaller balls a maximum mean test surface roughness height rating of 0.00015 mm (6  $\mu\text{in.}$ ) is recommended.

18.6 To permit checking that no material is subsequently removed from the standardized block, its thickness at the time of standardization shall be marked on it to the nearest 0.1 mm (0.004 in.), or an identifying mark shall be made on the test surface. (See Section 24.)

18.7 Each block, if of steel, shall be demagnetized by the manufacturer and maintained demagnetized by the user.

18.8 Each block must be uniquely serialized by the manufacturer for traceability.

#### 19. Standardizing Procedure

19.1 The standardized blocks shall be calibrated on a Brinell hardness testing machine which was verified in accordance with the requirements of 15.1.

19.2 The mechanism that controls the application of the force shall ensure that the speed of approach immediately before the ball touches the specimen and the speed of penetration does not exceed 1 mm/s (0.040 in./s).

19.3 The test force shall be within 0.25 % of the nominal force. Use of a Practice E 74 Class AA device will be required to verify the force.

19.4 The test force shall be applied for 10 to 15 s.

19.5 The standardized blocks shall be calibrated at a temperature of  $23 \pm 5^\circ\text{C}$ , using the general procedure described in Test Method A.

#### 20. Indenter

20.1 A ball conforming to the requirements of 15.1.2 shall be used for calibrating standardized hardness test blocks.

#### 21. Number of Indentations

21.1 At least five uniformly distributed indentations shall be made on the test surface of the block.

#### 22. Measurement of the Diameter of the Indentation

22.1 The illuminating system of the measuring device shall be adjusted to give uniform intensity over the field of view and maximum contrast between the indentations and the undisturbed surface of the block.

22.2 The measuring device shall be graduated to read 0.002 mm (0.00008 in.) for indentations made with balls of 5-mm diameter or larger and 0.001 mm (0.00004 in.) for indentations made with balls of smaller diameter.

22.3 The measuring device shall be checked by a stage micrometer, or by other suitable means to ensure that the difference between readings corresponding to any two divisions of the instrument is within  $\pm 0.001$  mm (0.00004 in.) for balls of less than 5-mm diameter and within  $\pm 0.002$  mm (0.00008 in.) for balls of larger diameter.

#### 23. Uniformity of Hardness

23.1 If  $d_1, d_2, \dots, d_n$  are the mean values of the measured diameters as determined by one observer and arranged in increasing order of magnitude, the range of the hardness readings, measured from the last block, is defined as  $d_n - d_1$  where  $n =$  at least five indentations.

23.2 The range of hardness readings shall be equal to or less than 2 % of the mean diameter for Brinell hardness numbers equal to or less than 225 and 1 % for Brinell hardness number values greater than 225.

#### 24. Marking

24.1 Each standardized block shall be marked with the following:

24.1.1 The arithmetic mean of the hardness values found in the standardizing test and the type of ball used.

24.1.2 The name or mark of the supplier.

24.1.3 The serial number or other unique identification of the block.

24.1.4 Name or mark of the calibrating agency if different from supplier.

24.1.5 The thickness of the block or an official mark on the test surface (see 18.6).

24.1.6 The year of calibration. It is sufficient that the year of calibration be incorporated into the serial number of the block.

24.2 All of the markings except the official mark should be placed outside of the test area or on the side of the block. When the markings are on the side of the block, the markings shall be upright when the test surface is the upper face.

24.3 Each block shall be supplied with a certificate showing the results of the individual standardizing tests and the arithmetic mean of those tests, including the following:

24.3.1 Date of standardization,

24.3.2 Serial number of block, and

24.3.3 Name of manufacturer or mark of supplier.

## 25. Keywords

25.1 Brinell hardness; metallic

## SUMMARY OF CHANGES

Committee E28 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue E 10-00a that may impact the use of this standard. The numbering system used in this Summary reflects current numbering of this edition of E 10.

*Note 7*—Most of the changes listed below resulted from the new requirement for using only tungsten-carbide indenter balls and disallowing the use of steel indenter balls (see 5.2.2.2).

(1) 2.1 —E 74 title revised.

(2) 3 —definitions alphabetized and new numbering structure used.

(3) 3.1 —new title added.

(4) 3.1.1 (formerly 3.2) - revised

(5) Equation 1— editorial correction

(6) 3.1.1.1 (formerly Note 2) - revised

(7) 3.1.1.2 (formerly Note 3 ) - revised

(8) 3.1.1.3 (formerly part of Note 3)

(9) 3.1.1.4 (formerly part of Note 3)

(10) 3.1.2 (formerly 3.2) - revised

(11) 3.1.2.1 (formerly Discussion 1) - revised

(12) Former Discussion 2—deleted

(13) Former Discussion 3 - deleted

(14) Table 1—revised and editorially corrected

(15) 3.1.3 (formerly 3.4)

(16) 3.1.4 (formerly 3.3)

(17) 5.2.2—replaced

(18) Former Note 5—deleted

(19) 5.2.2.2—added

(20) 5.2.3—revised

(21) Table 2—revised

(22) Table 3—revised

(23) Table 5—revised

(24) Table 6 (formerly Table 7) - revised

(25) Table 7 (formerly Table 6) - revised

(26) Former Table 8 - deleted

(27) 8.5—revised

(28) 11.1.1—revised

(29) 15.2.3—revised

(30) 15.2.3.1—revised

(31) 15.3.5- revised

(32) Table 9—renumbered as Table 8 and revised

(33) Summary of Changes added.

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2900, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9555 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*