



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

**“ANÁLISIS DE MATERIAL SINTERIZADO ALUMINIO 1060 CON BABBIT  
B 23 ALLOY 2 Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN,  
DUREZA Y DESGASTE COMBINADOS POR MEZCLA DE POLVOS”**

---

**AUTOR:** Jaime Andrés Beltrán Acurio.

**Tutor:** Ing. Mg. Gonzalo López.

**AMBATO - ECUADOR**

**2017**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “ANÁLISIS DE MATERIAL SINTERIZADO ALUMINIO 1060 CON BABBIT B 23 ALLOY 2 Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, DUREZA Y DESGASTE COMBINADOS POR MEZCLA DE POLVOS”, elaborado por el Sr. Jaime Andrés Beltrán Acurio, portador de la cédula de ciudadanía: 050301174-4, ex estudiante de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

.....  
**Ing. Mg. Gonzalo López.**

**TUTOR**

## **AUTORÍA DEL TRABAJO**

Yo, Jaime Andrés Beltrán Acurio, con C.I. # 050301174-4 declaro que las actividades y tareas para la obtención de resultados en el presente Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico con el Tema “ANÁLISIS DE MATERIAL SINTERIZADO ALUMINIO 1060 CON BABBIT B 23 ALLOY 2 Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, DUREZA Y DESGASTE COMBINADOS POR MEZCLA DE POLVOS”, es exclusivamente auténticos personales y son de absoluta responsabilidad del autor, a excepción de las fuentes bibliográficas que se encuentra citadas en el trabajo de investigación.

Ambato, Enero de 2018.

---

Jaime Andrés Beltrán Acurio

C.I. 050301174-4

**AUTOR**

## **DERECHOS DEL AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigaciones según las normas de la institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos del autor.

---

Jaime Andrés Beltrán Acurio

C.I. 050301174-4

**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante Jaime Andrés Beltrán Acurio de la carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “ANÁLISIS DEL MATERIAL SINTERIZADO ALUMINIO 1060 CON BABBIT B 23 ALLOY 2 Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, DUREZA Y DESGASTE COMBINADOS POR MEZCLA DE POLVOS”

Ambato, Enero del 2018

Para constancia firman:

-----  
Ing. Mg. Christian Castro.

-----  
Ing. Mg. Henry Vaca.

## **DEDICATORIA**

*Dedico mi proyecto de titulación con mucho amor y cariño a mi familia, de manera especial a mis padres; Jaime Beltrán y Alba Acurio, a mis hermanas; Erika, María Fernanda, y con mucho agrado a mis sobrinas; Paula y Emilia; quienes con sacrificio, amor y esfuerzo supieron guiarme y motivarme en todo momento, que, con sus ejemplos de superación y lucha, han sido el pilar fundamental para alcanzar mis metas, haciendo más fácil el camino de estas, gracias al apoyo incondicional que me brindan y lo seguirán haciendo a lo largo de mi vida.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios y a mis padres por darme la vida y las oportunidades que día a día me permite adquirir nuevos conocimientos con los que me he formado como persona y como profesional, con su bendición me permite vivir momentos buenos y malos junto a mi familia guiándonos el sendero correcto.*

*A mi amada familia quienes me brindan su apoyo incondicional en todo momento quienes me han formado de la manera más adecuada con sus ejemplos de lucha y sacrificio compartiendo las experiencias vividas día a día*

*A los ingenieros de la facultad de ingeniería civil y mecánica en especial al Ing. Mg. Gonzalo López por compartir sus conocimientos, por su paciencia y disposición para guiarme en la realización del estudio.*

*A todos los amigos y compañeros que dentro y fuera de los centros de educativos me supieron motivar en una competencia sana a lo largo de la carrera.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO.....	III
DERECHOS DEL AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE FICHA DE DATOS.....	XIV
RESUMEN EJECUTIVO .....	XVI
EXACUTIVE SUMMARY .....	XVII
CAPITULO I.....	1
ANTECEDENTES .....	1
1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL .....	1
CAPITULO II.....	5
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEORICA .....	5
2.1.1 PULVIMETALURGIA .....	5
2.1.1.1 PROCESAMIENTO DE LOS POLVOS METÁLICOS.....	5
2.1.1.2 PRODUCCIÓN DE POLVOS METÁLICOS.....	6
2.1.1.3 TRITURACIÓN O PULVERIZACIÓN.....	7
2.1.1.4 TAMAÑO, FORMA Y DISTRIBUCIÓN DE LAS PARTICULAS .....	7
2.1.1.4.1 TAMAÑO .....	7
2.1.1.4.2 FORMA DE LAS PARTÍCULAS.....	8
2.1.1.4.3 FACTOR DE FORMA.....	8
2.1.1.4.4 DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO.....	8
2.1.1.5 MEZCLA DE POLVOS METÁLICOS.....	9
2.1.1.6 COMPACTACIÓN DE LOS POLVOS METÁLICOS .....	10
2.1.1.7 EQUIPOS.....	11
2.1.1.8 SINTERIZADO .....	12
2.1.1.8.1 PROPIEDADES MECÁNICAS.....	14



2.1.1.8.2	OPERACIONES SECUNDARIAS Y DE ACABADO .....	15
2.1.1.8.3	CONSIDERACIONES DE DISEÑO .....	16
2.1.2	REFRACTARIOS .....	18
2.1.2.1	REFRACTARIOS DE ARCILLA .....	19
2.1.2.2	REFRACTARIOS DE SILICE.....	19
2.1.2.3	REFRACTARIOS BÁSICOS .....	20
2.1.2.4	REFRACTARIOS ESPECIALES.....	20
2.1.3	RESISTENCIA DE LOS MATERIALES.....	20
2.1.3.1	PROPIEDADES DEL ALUMINIO 1060.....	21
2.1.3.2	PROPIEDADES DEL BABBIT ASTM B 23 ALLOY 2. ....	22
2.1.3.3	ENSAYO DE LOS MATERIALES .....	23
2.1.3.3.1	ENSAYOS DE TRACCIÓN.....	23
2.1.3.4	ENSAYO DE DUREZA.....	25
2.1.3.5	ENSAYOS DE DESGASTE.....	27
2.2	HIPÓTESIS.....	28
2.3	SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS....	28
2.3.1	VARIABLES INDEPENDIENTES .....	28
2.3.2	VARIABLES DEPENDIENTES .....	28
2.3.3	TERMINO DE RELACIÓN .....	28
CAPITULO III.....		29
METODOLOGÍA.....		29
3.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	29
3.1.1	INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA .....	29
3.1.2	INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA .....	29
3.1.3	INVESTIGACIÓN CORRELACIONAL.....	29
3.1.4	INVESTIGACIÓN EXPLICATIVA .....	30
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	30
3.2.1	POBLACIÓN.....	30
3.2.2	MUESTRA.....	31
3.3	OPERACIÓN DE VARIABLES.....	31
3.3.1	VARIABLE INDEPENDIENTE .....	31
3.3.2	VARIABLE DEPENDIENTE.....	32

3.4	RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	32
3.5	PLAN DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN Y ANÁLISIS	
	34	
3.5.1	COMPROBACIÓN DE DATOS OBTENIDOS .....	34
3.5.3	ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS.....	34
3.5.4	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS .....	34
3.5.5	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	34
3.6	DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PROBETAS PARA EL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	35
CAPITULO IV .....		39
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....		39
4	PREPARACIÓN Y PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS EN LA MATERIA PRIMA. ....	39
4.1	ADQUISICIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	39
4.2	CRITERIO DE TAMAÑO, FORMA DE PARTÍCULAS, PESOS SELECCIONADOS PARA PROBETAS.- .....	40
4.2.1	PESOS Y FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DE LAS PROBETAS.....	40
4.2.2	IMAGENOLOGÍA Y TAMAÑO DE PARTICULAS.....	40
4.2.3	CRITERIO DE MEZCLADO DE POLVOS. ....	43
4.3	DIMENSIONES DE LAS PROBETAS PARA LOS ENSAYOS PLANTEADOS.....	43
4.3.2	DIMENSIONES PROBETAS ENSAYO A DESGASTE.....	44
4.3.3	PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE PROBETAS. ....	45
4.4	ENSAYOS REALIZADOS A PROBETAS DE MATERIAL SINTERIZADO ALUMINIO 1060 CON BABBIT ASTM B 23 ALLOY 2 COMBINADO POR MEZCLA DE POLVOS. ....	48
4.4.1	ENSAYO A DUREZA .....	49
4.4.2	ENSAYO A DESGASTE.....	61
4.4.3	ENSAYO A TRACCIÓN .....	73
4.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	85
4.5.1	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS OBTENIDAS EN LA APLICACIÓN DE ENSAYOS APLICADOS A LOS DISTINTOS GRUPOS DE MUESTRAS.....	85

4.5.2 PONDERACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS OBTENIDAS EN CADA ENSAYO.....	89
4.5.3 RESUMEN DE EVALUACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL GRUPO DE MUESTRAS QUE PRESENTEN LAS MEJORES PROPIEDADES MECÁNICAS.....	91
4.5.4 EVALUACIÓN, COMPARACIÓN Y PRESENTACIÓN GRAFICA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MEJOR MATERIAL RESULTANTE VS ALUMINIO VS BABBIT. ....	92
4.5.5 Evaluación y ponderación de las propiedades mecánicas obtenidas del mejor material estudiado vs aluminio vs babbit.....	95
4.5.6 Resumen de evaluación y ponderación de las propiedades mecánicas obtenidas del mejor material estudiado vs aluminio vs babbit.	97
4.6 VERIFICACIÓN DE HIPOTESIS.....	99
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>101</b>
<b>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>101</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	101
5.2 RECOMENDACIONES .....	103
BIBLIOGRAFÍA .....	105
<b>ANEXOS.....</b>	<b>107</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ejemplos de partes comunes fabricadas por el método de metalurgia de Polvos. [4] .....	6
<b>Figura 2</b> Resumen de procesos y operaciones comprendidas en la fabricación de las partes mediante metalurgia de polvos. [4] .....	6
<b>Figura 3</b> Forma de las partículas en la metalurgia de polvos y procesos por los cuales se producen. [4].....	7
<b>Figura 4</b> Métodos de trituración mecánica para obtener partículas fina por: pulverización con rodillos, molino de bolas y molido con martillo. [4] .....	7
<b>Figura 5</b> (a) a (d) Algunas figuras comunes de los recipientes para combinar o mezclar polvos. [4].....	10
<b>Figura 6</b> Procesos de Sinterización. [5] .....	13
<b>Figura 7</b> Probeta de tracción normalizada con sección rectangular. [11] .....	24

<b>Figura 8</b> Esquema del aparato utilizado para realizar ensayos de tracción. [10])	24
<b>Figura 9</b> Durómetro. [14].....	26
<b>Figura 10</b> Características generales de los métodos de ensayo de dureza y fórmulas para calcular la dureza. [13].....	27
<b>Figura 11</b> Diagrama del proceso de obtención de probetas para ser ensayadas. .	38
<b>Figura 12</b> a) y b) Forma de partículas metálicas de aluminio 1060 a 40 X. (por el acercamiento del lente se tienen dificultades al diferenciar la forma del grano)..	41
<b>Figura 13</b> a) y b) Forma de partículas metálicas de aluminio 1060 a 100 X. ....	41
<b>Figura 14</b> a) y b) Forma de partículas metálicas de aluminio 1060 a 200 X. ....	42
<b>Figura 15</b> a) y b) Forma de partículas metálicas de Babbit b 23 alloy 2 a 40 X..	42
<b>Figura 16</b> a) y b) Forma de partículas metálicas de Babbit b 23 alloy 2 a 100 X.	42
<b>Figura 17</b> a) y b) Forma de partículas metálicas de Babbit b 23 alloy 2 a 200 X.	43
<b>Figura 18</b> Muestra estándar de pruebas de tensión sin mecanizar para productos de metalurgia en polvo (P/M). [11].....	44
<b>Figura 19</b> Especificaciones para probetas de ensayo a desgaste abrasivo en arena húmeda. [18] .....	44
<b>Figura 20</b> Probeta para ensayo a desgaste por la norma ASTM G 105 .....	44
<b>Figura 21</b> Proceso para obtener polvos metálicos.....	45
<b>Figura 22</b> Proceso de Granulometría y separación de partículas. ....	45
<b>Figura 23</b> Separación de fracciones volumétricas del material, separación en porcentajes.....	46
<b>Figura 24</b> Ingreso de material y recipiente de mezclado. ....	46
<b>Figura 25</b> Máquina de prensado del material llegando a una temperatura de 270Mpa. ....	46
<b>Figura 26</b> Material puesto al horno a una temperatura de 660°C, cubiertos de arena refractaria. ....	47
<b>Figura 27</b> Inspección Visual de las superficies de las probetas al salir del proceso de sinterización.....	47
<b>Figura 28</b> Proceso realizado por inspección con calibrador pie de rey para control de dimensiones. ....	47
<b>Figura 29</b> Realización de ensayos de Dureza Brinell HB en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica FICM-UTA.....	48

<b>Figura 30</b> Durómetro HBRV-187.5 .....	49
<b>Figura 31</b> Penetraciones de bola en el material obtenido en el proceso de pulvimetalurgia. ....	50
<b>Figura 32 a) y b)</b> Representan el control de los límites de borde de huella de penetración. ....	50
<b>Figura 33</b> Máquina de desgaste en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica FICM-UTA.....	61
<b>Figura 34</b> Probetas de desgaste realizadas bajo las Norma ASTM G 105.....	61
<b>Figura 35</b> a), b) y c) Representación del control de dimensiones de probetas preparadas para ensayo a desgaste ASTM G 105. ....	62
<b>Figura 36</b> Máquina Universal ensayo a tracción.....	73
<b>Figura 37</b> Probetas del material obtenido por P/M para ensayo a tracción, a) grupo TXA; b) TXB; c) TXC.....	74
<b>Figura 38</b> Control de dimensiones de probetas para ensayo a Tracción bajo norma ASTM E 8 M.....	74
<b>Figura 39</b> Teoría base utilizada para la ponderación de resultados. [22].....	98

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Presiones de compactado para diversos polvos. [4].....	12
<b>Tabla 2</b> Temperatura y Tiempo de sinterizado para diversos metales. [4] .....	14
<b>Tabla 3</b> Composición de algunos Materiales Refractarios. [6].....	19
<b>Tabla 4</b> Densidad Nominal del aluminio y aleaciones de aluminio. [8] .....	21
<b>Tabla 5</b> Propiedades Mecánicas típicas de varias aleaciones de aluminio. [8]....	21
<b>Tabla 6</b> Propiedades mecánicas típicas para el aluminio 1060. [8] .....	22
<b>Tabla 7:</b> Composición química del ASTM B 23 Alloy 2. [8].....	22
<b>Tabla 8:</b> Propiedades Mecánicas del material ASTM B 23 Alloy 2. [8] .....	23
<b>Tabla 9</b> Fracciones volumétricas de los materiales sinterizados y combinados por mezcla de polvos. ....	30
<b>Tabla 10</b> Cantidad de probetas para cada ensayo.....	31
<b>Tabla 11</b> Variable Independiente. ....	31
<b>Tabla 12</b> Variable Independiente. ....	32

<b>Tabla 13</b> Plan para recolección de información .....	33
<b>Tabla 14</b> Fracciones volumétricas de acuerdo a cada probeta y al peso de cada material.....	40
<b>Tabla 15</b> Forma de partículas de P/M en tamaño de 45 hasta 63 um obtenida por distintos lentes de microscopio. ....	41
<b>Tabla 16</b> Proceso para la obtención de probetas de polvos metálicos. ....	45

## **INDICE DE FICHA DE DATOS**

<b>Ficha de Datos 1</b> Presentación de recolección de información del ensayo de Dureza DXA del material obtenido por P/M 10% Babbit ASTM b 23 alloy 2 con 90% Al 1060.....	52
<b>Ficha de Datos 2</b> Presentación de recolección de información del ensayo de Dureza DXB del material obtenido por P/M 20% Babbit ASTM b 23 alloy 2 con 80% Al 1060.....	55
<b>Ficha de Datos 3</b> Presentación de recolección de información del ensayo de Dureza DXC del material obtenido por P/M 30% Babbit ASTM b 23 alloy 2 con 70% Al 1060.....	58
<b>Ficha de Datos 4</b> Presentación de recolección de información del ensayo de Desgaste DHXA del material obtenido por P/M 10% Babbit ASTM b 23 alloy 2 con 90% Al 1060.....	64
<b>Ficha de Datos 5</b> Presentación de recolección de información del ensayo de Desgaste DHXB del material obtenido por P/M 10% Babbit ASTM b 23 alloy 2 con 90% Al 1060.....	67
<b>Ficha de Datos 6</b> Presentación de recolección de información del ensayo de Dureza DXA del material obtenido por P/M 10% Babbit ASTM b 23 alloy 2 con 90% Al 1060.....	70
<b>Ficha de Datos 7</b> Presentación de recolección de información del ensayo de Tracción TXA del material obtenido por P/M 10% Babbit ASTM b 23 alloy 2 con 90% Al 1060. ....	76

<b>Ficha de Datos 8</b> Presentación de recolección de información del ensayo de Tracción TXB del material obtenido por P/M 20% Babbitt ASTM b 23 alloy 2 con 80% Al 1060. ....	79
<b>Ficha de Datos 9</b> Presentación de recolección de información del ensayo de Tracción TXA del material obtenido por P/M 30% Babbitt ASTM b 23 alloy 2 con 70% Al 1060. ....	82
<b>Ficha de Datos 10</b> Presentación y Análisis de resultados de los ensayos realizados a los distintos grupos de muestras. ....	85
<b>Ficha de Datos 11</b> a) Criterio de ponderación y aceptación para Ensayo de dureza.. b) Criterio de ponderación y aceptación para Ensayo de dureza .....	89
<b>Ficha de Datos 12</b> Criterio de ponderación y aceptación para Ensayo de dureza	90
<b>Ficha de Datos 13</b> Resultados de la Ponderación de cada ensayo realizado al material obtenido por el método de P/M. ....	91
<b>Ficha de Datos 14</b> Tabla de presentación y comparación de resultados de propiedades mecánicas obtenidas vs propiedades mecánicas de materiales base proporcionadas en fichas técnicas e investigaciones previas. ....	92
<b>Ficha de Datos 15</b> a) Criterios de Ponderación Para comparar los resultados de dureza.      b) Criterios de Ponderación Para comparar los resultados de desgaste.. .....	95

## RESUMEN EJECUTIVO

ANÁLISIS DEL MATERIAL SINTERIZADO ALUMINIO 1060 CON BABBIT B 23 ALLOY 2 Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, DUREZA Y DESGASTE COMBINADOS POR MEZCLA DE POLVOS

**Autor:** Jaime Andrés Beltrán Acurio

**Tutor:** Ing. Mg. Gonzalo López.

### Resumen

Los polvos metálicos de los materiales Aluminio 1060 y Babbit b 23 aleación 2 fueron obtenidos mediante el proceso de molienda mecánica en un molino de bolas, el cual tomo una duración de 9 horas, optimizando que el área se encuentre libre de agentes contaminantes, para lograr la pureza de los materiales y la combinación de métodos de Aluminio con babbitt. Estos grupos se mezclaron en un porcentaje de 10%, 20%, 30% de Babbit y la restante con aluminio, del cual obtuvo tres grupos diferentes de fracciones volumétricas a ser estudiadas; La compactación de las fracciones volumétricas corresponde a un grupo que se preparó para el método de prensado en frío con una presión de 270 MPa que en el proceso de sinterización alcanzó una temperatura de 660 ° C. En la presente investigación se estudió la influencia de los cambios de porcentajes en Babbit en la mezcla con el Aluminio, de igual manera se estudia en las propiedades mecánicas que a la durabilidad, desgaste y tracción exponiendo las muestras a ensayos bajo las normas ASTM. Dichos ensayos reflejan que la combinación de estos materiales en una fracción volumétrica del 80% de aluminio 1060 con 20% de Babbit b 23 aleación 2, mejoran en gran porcentaje la resistencia y la resistencia al desgaste en ambos casos, y en el caso del Babbit mejor la resistencia a la tracción. 10% y 30% de babbitt deterioran las propiedades mecánicas de la combinación de los materiales obtenidos por el método de pulvimetalurgia.



## EXACUTIVE SUMMARY

ANALYSIS OF SINTERED MATERIAL, ALUMINUM 1060 WITH BABBIT B 23 ALLOY 2 AND ITS INCIDENCE IN RESISTANCE TO TRACTION, HARDNESS AND WEAR COMBINED BY MIXTURED POWDERS.

**Autor:** Jaime Andrés Beltrán Acurio

**Tutor:** Ing. Mg. Gonzalo López.

The metallic powders of the materials Aluminum 1060 and Babbit b 23 alloy 2 were obtained by means of the mechanical milling process in a ball mill, which took a duration of 9 hours, optimizing that the area is free of contaminating agents, to achieve the purity of the materials and the combination of aluminum with babbit methods. These groups were mixed in a percentage of 10%, 20%, 30% of Babbit and the rest with aluminum, from which it obtained three different groups of volumetric fractions to be studied; The compaction of the volumetric fractions corresponds to a group that was prepared for the cold pressing method with a pressure of 270 MPa which in the sintering process reached a temperature of 660 ° C. In the present investigation, the influence of the changes of percentages in Babbit in the mixture with the Aluminum, likewise it is studied in the mechanical properties that to the durability, wear and traction exposing the samples to tests under the ASTM norms. These tests reflect that the combination of these materials in a volumetric fraction of 80% aluminum 1060 with 20% Babbit b 23 alloy 2, greatly improve the resistance and wear resistance in both cases, and in the case of the Babbit better the tensile strength. 10% and 30% of babbit deteriorate the mechanical properties of the combination of the materials obtained by the powder metallurgy method

## **CAPITULO I**

### **ANTECEDENTES**

#### **1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

“ANÁLISIS DEL MATERIAL SINTERIZADO ALUMINIO 1060 CON BABBIT B 23 ALLOY 2 Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, DUREZA Y DESGASTE COMBINADOS POR MEZCLA DE POLVOS”

#### **ANÁLISIS DE ANTECEDENTES**

La Universidad Técnica de Ambato con la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica en la Carrera de Ingeniería Mecánica cuenta con un completo laboratorio correspondiente al área de Materiales la misma que con la implementación de nuevos equipos y máquinas correspondientes a pulvimetalurgia facilita la experimentación y que a su vez fomentan la realización de prácticas de laboratorio para estudiar y de ser posible sustituir materiales obsoletos o comunes, con materiales prósperos que cuentan con mejores características, propiedades y con nuevas técnicas de obtención.

Estudios relacionados con la combinación de materiales tipo Babbit son los siguientes:

Hugo Froilán Zabala Cepeda previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo realiza la investigación con el tema “Procesos para la obtención del Babbit 83 en el taller de fundición de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y sus aplicaciones en la industria” dicha investigación concluye que: El material Babbit 83 producido como un elemento para recubrimientos superficiales de partes mecánicas como son cojinetes de biela, bancada de automotores, barcos, trenes, sean pequeños o grandes, de turbinas que necesiten de este acabado para cumplir con sus funcionamientos, para lo cual se calificó a cada uno de los elementos utilizados para la elaboración del metal blanco o metales antifricción. [1]

Leonardo Osorio Valencia previo a la obtención del Título de Ingeniero de Materiales en la Universidad del Valle en Santiago de Cali realiza la investigación con el tema: “Obtención y caracterización por vía pulvimetalúrgica de la matriz aluminio reforzada con partículas intermetálicas de  $\text{CuAl}_2$  y  $\text{Cu}$ ” en la cual concluye que: La sinterización de aluminio que esté previamente aleado para lograr consolidar un pieza de aluminio reforzada con un material intermetálico, se realiza con la finalidad de lograr por una vía alterna y ventajosa para la obtención de piezas o nuevos elementos con una resistencia específica y/o necesaria para ser aplicada con fines industriales, la cual es lograda por la consolidación y extensión de las uniones cohesivas intersuperficiales que coalescen por difusión al estado sólido a altas temperaturas. [2]

De igual manera puedo enunciar la siguiente investigación:

Autores: J.J. Fuentes, J.A. Rodríguez y E.J. Herrera presentan la investigación con el tema: “Comportamiento mecánico de materiales de aluminio am sinterizados” En el presente trabajo, la consolidación se ha llevado a cabo por un procesado atípico de prensado en frío y sinterización. Para mejorar la sinterabilidad del polvo Al AM, se mezcló, previamente al prensado, con una pequeña cantidad de polvo de cobre. Eventualmente, el polvo Al AM, usado en la mezcla, se había ablandado, con anterioridad, por recocido. Se ha podido observar que, tanto la adición de cobre como el recocido, mejoran las propiedades mecánicas del Al AM sinterizado, en particular la ductilidad. [2]

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

El estudio de las propiedades mecánicas de los metales utilizados en la industria ha tomado impulso y fuerza debido a que el conocimiento de esas propiedades contribuye al mejoramiento y optimización del uso de los mismos. Vale decir que la industria pequeña o grande lo necesita tanto en el proceso de manufactura mismo, como también en los procesos que se vienen aplicando para la utilización de metales de alta calidad, conseguidos a través de combinaciones (aleaciones) y/o tratamientos térmicos, con otros materiales, cuyo resultado se refleja y tiene una

gran incidencia en el comportamiento de los metales, mismos que demuestran mejoras en propiedades importantes, como dureza, resistencia, ductilidad y otras; que le son útiles a la industria.

Hoy en día el estudio de la ciencia y tecnología de materiales está avanzando a pasos agigantados por tal motivo, la aplicación de diferentes procesos de obtención de nuevas combinaciones en ciertos metales y aleaciones se realiza con la intención de mejorar sus propiedades mecánicas, modificar las microestructuras de los mismos, a fin de obtener ventajas y máximo aprovechamiento en el servicio que los metales van a proporcionar, por ejemplo en la construcción de elementos de máquinas, en la construcción de levas, engranes, moldes, herramientas agrícolas, ejes, cojinetes, y varios etcéteras; entre otras que dichos procesos sean amigables con el medio ambiente.

El conocimiento es la base para el desarrollo y permite superar barreras, es por ello y por lo anteriormente expuesto que nos proponemos realizar el estudio del material sinterizado Aluminio 1060 con Babbit ASTM B 23 alloy 2, el mismo que tiene como finalidad adquirir un material combinado cuyas condiciones sean aceptables y que por sus características permita un alto porcentaje de uso en la industria manufacturera automotriz, industrial y pueda ser empleado en la producción de partes de motores, cojinetes y partes de maquinaria. Igualmente el propósito es generar información técnica del material sinterizado Aluminio 1060 con Babbit ASTM B 23 alloy 2 para futuras aplicaciones industriales como también, que sea un pilar en bases de estudio complementarias.

Para conseguir el material propuesto se emplearán procesos de Metalurgia de Polvos recomendados en la bibliografía relacionada con temas importantes como es la mezcla de polvos, el compactado y la sinterización de los metales; misma que será un importante aporte y contribuirá en el procedimiento para estudiar las propiedades mecánicas del material sinterizado propuesta para aplicaciones industriales. De la misma forma en el desarrollo del estudio propuesto, se emplearán máquinas, equipos de los laboratorios y otros recursos técnicos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato; pero

principalmente esta es la oportunidad para poner en práctica los conocimientos adquiridos en la Carrera de Ingeniería Mecánica de nuestra Alma Máter.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL:**

- Analizar el material sinterizado Aluminio 1060 con Babbit ASTM B 23 alloy 2 y su incidencia en la resistencia a la tracción, dureza y desgaste combinados por mezcla de polvos.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Establecer los parámetros y obtener las probetas del material sinterizado Aluminio 1060 con Babbit ASTM B 23 alloy 2.
- Determinar las propiedades mecánicas del material sinterizado Aluminio 1060 con Babbit ASTM B 23 alloy 2 mediante la aplicación de los ensayos: Resistencia a la tracción y desgaste.
- Efectuar ensayos de dureza en las probetas del material sinterizado.
- Realizar un ensayo de desgaste por abrasión de arena húmeda.

## **CAPITULO II**

### **2.1 FUNDAMENTACIÓN TEORICA**

#### **2.1.1. PULVIMETALURGIA**

El proceso de la pulvimetalurgia, de la metalurgia de los polvos o P/M, consiste en compactar el metal en polvo y después tratarlo térmicamente con el fin de densificar la pieza. Con la pulvimetalurgia se conforman piezas prácticamente sin porosidad y propiedades comparables a las del material denso. Este procedimiento es muy apropiado para metales de baja ductilidad, ya que sólo es necesario que en las partículas de polvo tenga lugar una pequeña deformación plástica. Los metales que tienen altas temperaturas de fusión son difíciles de modelar y se conforman mediante P/M, así como las partes que requieren tolerancias dimensionales muy ajustadas, como por ejemplo engranes y guías, [3]

##### **2.1.1.1 PROCESAMIENTO DE LOS POLVOS METÁLICOS**

Los polvos metálicos se compactan para darles las formas deseadas, con frecuencia complejas, y se sinterizan (se calientan sin que se fundan) para formar una pieza sólida. Los egipcios emplearon este proceso por primera vez alrededor del año 3000 a.C. para fabricar herramientas de hierro. Uno de sus primeros usos en la época moderna fue a principios del siglo XX, a fin de hacer filamentos de tungsteno para focos. La disponibilidad de una amplia variedad de composiciones de polvos metálicos, la capacidad de producir partes en formas netas (formado de formas netas) y la economía general de la operación, proporcionan a este proceso único sus numerosas aplicaciones, atractivas y crecientes. [4]

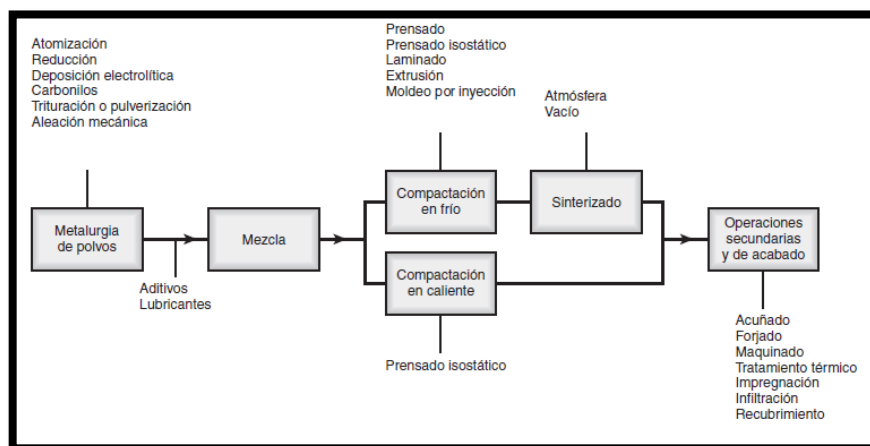
Por medio de las técnicas de metalurgia de polvos se fabrica una amplia gama de partes y componentes: [4]



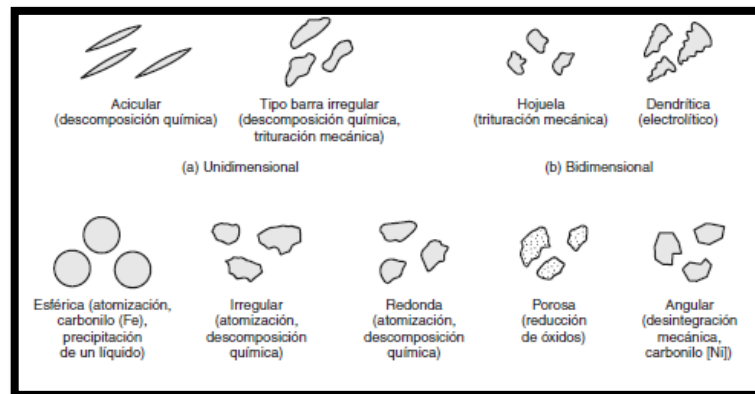
*Figura 1 Ejemplos de partes comunes fabricadas por el método de metalurgia de Polvos. [4]*

### 2.1.1.2 PRODUCCIÓN DE POLVOS METÁLICOS

La mayoría de polvos metálicos, se pueden elaborar mediante diversos métodos conocidos, que se los aplica según el criterio técnico de quien los utiliza; aunque básicamente la elección de un método depende del perfil y los requisitos que esperamos, tenga el producto final. La microestructura, las propiedades de la masa y de la superficie, la pureza química, la porosidad, la forma y distribución del tamaño de las partículas dependen del proceso específico que se utilizó. Estas características son de vital importancia, ya que afectan de manera significativa el flujo y la permeabilidad del material, durante la compactación y en las operaciones posteriores de sinterizado. El tamaño de las partículas producidas también juegan un rol importante puesto que va de 0.1 a 1000  $\mu\text{m}$  (4 a 0.04 pulgadas). [4]



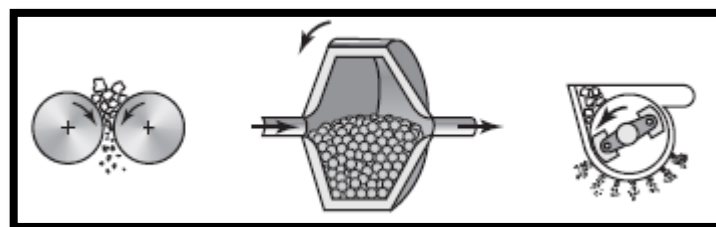
*Figura 2 Resumen de procesos y operaciones comprendidas en la fabricación de las partes mediante metalurgia de polvos. [4]*



*Figura 3: Forma de las partículas en la metalurgia de polvos y procesos por los cuales se producen. [4]*

### 2.1.1.3 TRITURACIÓN O PULVERIZACIÓN

La trituración mecánica (pulverización) comprende la trituración, molido en un molino de bolas, o esmerilado de metales frágiles o menos dúctiles en pequeñas partículas. Un molino de bolas es una máquina con un cilindro hueco giratorio que se llena parcialmente con bolas de acero o de fundición blanca. En el caso de los materiales frágiles, las partículas de polvo producidas tienen formas angulares; si los metales son dúctiles tienen forma de hojuela y no son particularmente adecuadas para aplicaciones en metalurgia de polvos. [4]



*Figura 4 Métodos de trituración mecánica para obtener partículas fina por: pulverización con rodillos, molino de bolas y molido con martillo. [4]*

### 2.1.1.4 TAMAÑO, FORMA Y DISTRIBUCIÓN DE LAS PARTICULAS

#### 2.1.1.4.1. TAMAÑO

Por lo general, el tamaño de las partículas se mide por medio de tamizado, es decir, pasando el polvo metálico a través de tamices (cribas) con diversos tamaños de malla. El análisis del tamizado se realiza mediante una pila vertical de tamices, con el tamaño cada vez más fino de malla conforme el polvo pasa hacia abajo a través de los tamices. Cuanto más grande es el tamaño de la malla, más pequeña es la



abertura en el tamiz. Por ejemplo, una malla de tamaño 30 tiene una abertura de 600  $\mu\text{m}$ , el tamaño 100 tiene 150  $\mu\text{m}$  y el tamaño 400 tiene 38  $\mu\text{m}$ . (Este método es similar a la numeración de los granos abrasivos. Cuanto más grande es el número, más pequeño será el tamaño de la partícula abrasiva). [4]

#### **2.1.1.4.2. FORMA DE LAS PARTÍCULAS**

La forma de las partículas, que afecta en gran medida las características de su procesamiento, por lo general se describe en términos de relación de aspecto o factor de forma. La relación de aspecto es la relación de la dimensión más grande respecto de la dimensión más pequeña de la partícula. Esta relación va de la unidad (para una partícula esférica) hasta aproximadamente 10, para partículas con forma de hojuela o de aguja. [4]

#### **2.1.1.4.3. FACTOR DE FORMA**

También conocido como índice de forma, es una medida de la relación del área de la superficie de la partícula respecto de su volumen, que se normaliza por referencia a una partícula esférica de volumen equivalente. Por lo tanto, el factor de forma de una hojuela es más alto que el de una esfera. [4]

#### **2.1.1.4.4. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO**

La distribución del tamaño de las partículas es un factor que debe considerarse, porque afecta las características de procesamiento del polvo. Se determina en términos de la gráfica de frecuencia y distribución. Al valor máximo se le conoce como tamaño de modo (o de la moda).

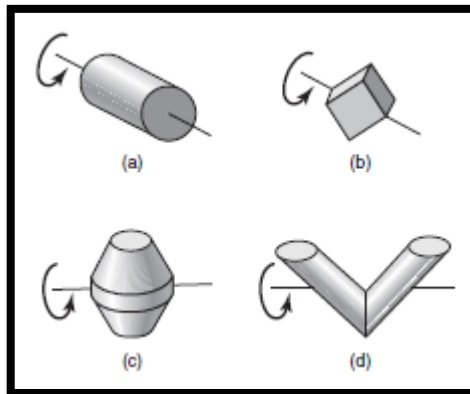
Otras propiedades de los polvos metálicos que tienen un efecto sobre su comportamiento durante el procesamiento son: (a) las propiedades de flujo, cuando se llenan las matrices o dados, (b) la compresibilidad, cuando se compactan, (c) la densidad, como se define en diversos términos como la densidad teórica, la densidad aparente y la densidad al momento en que el polvo se sacude o se golpea ligeramente dentro de la cavidad de la matriz. [4]

### **2.1.1.5 MEZCLA DE POLVOS METÁLICOS**

La mezcla (combinación) de los polvos es el siguiente paso en el procesamiento de la metalurgia de polvos. Se realiza con los siguientes propósitos:

- Se pueden mezclar polvos de diferentes metales y otros materiales con el fin de proporcionar propiedades y características físicas y mecánicas especiales al producto de la P/M. Nótese que se pueden producir combinaciones de metales aleándolos antes de elaborar un polvo, o se pueden producir las mezclas. La combinación adecuada es fundamental para garantizar la uniformidad de las propiedades mecánicas en toda la pieza.
- Aun cuando se utiliza un solo metal, los polvos pueden variar significativamente en tamaño y forma, por lo que deben mezclarse para obtener uniformidad entre las piezas. La combinación ideal es aquella en la que todas las partículas de cada material (y de cada tamaño y morfología) se distribuyen de manera uniforme.
- Se pueden mezclar lubricantes con los polvos para mejorar sus características de flujo. Reducen la fricción entre las partículas metálicas, mejoran el flujo de los polvos metálicos en las matrices y mejoran la vida de la matriz. En general, los lubricantes son ácido esteárico o estearato de zinc en una proporción de 0.25% a 5% en peso.
- Se utilizan otros aditivos: aglutinantes (como en los moldes de arena) para desarrollar suficiente resistencia en verde (crudo) y también se pueden usar aditivos para facilitar el sinterizado.

La mezcla de polvos debe efectuarse en condiciones controladas para evitar la contaminación o el deterioro. Éste se debe a un mezclado excesivo, que puede alterar la forma de las partículas y hacer que se endurezcan por trabajo, dificultando así la operación posterior de compactado. Los polvos se pueden mezclar en aire, en atmósferas inertes (para evitar la oxidación) o en líquidos (que actúan como lubricantes y hacen que la mezcla sea más uniforme). Existen diversos tipos de equipo de mezclado. [4]



*Figura 5 (a) a (d) Algunas figuras comunes de los recipientes para combinar o mezclar polvos. [4]*

### 2.1.1.6 COMPACTACIÓN DE LOS POLVOS METÁLICOS

La compactación es el paso en el que se prensan los polvos mezclados para darles diversas formas dentro de las matrices. Los propósitos de la compactación son obtener la forma, densidad y contacto de partícula con partícula necesarios y hacer que la pieza tenga suficiente resistencia para su proceso posterior. El polvo (materia prima) es introducido en la matriz mediante una zapata de alimentación y el punzón superior desciende hacia el interior de la matriz. Las prensas utilizadas son las accionadas por medios hidráulicos o mecánicos y, por lo general, el proceso se realiza a temperatura ambiente, aunque puede efectuarse a temperaturas elevadas.

Al polvo prensado se le conoce como comprimido crudo o compactado en verde, ya que tiene una resistencia baja. Las partes crudas o en verde son muy frágiles (similares a un gis) y se pueden desmoronar o dañar con mucha facilidad; esta situación se exagera por medio de prácticas deficientes de prensado. Para obtener resistencias más elevadas en verde, el polvo se debe proporcionar de manera adecuada a la cavidad de la matriz y tienen que desarrollarse las presiones adecuadas en toda la pieza.

La densidad del comprimido crudo o en verde depende de la presión aplicada. Conforme aumenta la presión de compactación, la densidad del comprimido se aproxima a la del metal en su forma sólida. Un factor importante en la densidad es la distribución del tamaño de las partículas: si todas son del mismo tamaño, siempre habrá cierta porosidad al momento de compactarlas; en teoría, una porosidad de por lo menos 24% en volumen. (Por ejemplo, si observa una caja llena con pelotas de

tenis, notará que siempre hay espacios vacíos entre éstas). Al introducir partículas más pequeñas en la mezcla de polvo, se llenan los espacios entre las partículas grandes del polvo y de esa manera se obtiene una densidad superior en el compactado.

Cuanta más alta sea la densidad de la pieza compactada, más elevada serán su resistencia y módulo elástico. La razón es que cuanta más alta es la densidad, más alta es la cantidad de metal sólido en el mismo volumen y, por lo tanto, su resistencia es mayor (resistencia a fuerzas externas). Debido a la fricción entre (a) las partículas metálicas del polvo y (b) las superficies del punzón y las paredes de la matriz, la densidad en el interior de la parte puede variar en forma considerable. Esta variación se puede minimizar con el diseño adecuado del punzón y de la matriz y mediante el control de la fricción. Por ejemplo, podría ser necesario utilizar punzones múltiples con movimientos independientes, a fin de garantizar que la densidad sea más uniforme en toda la parte. Recuérdese una discusión similar relacionada con el compactado de arena en la fabricación de moldes. Sin embargo, la variación de densidad puede ser deseable en componentes como engranes, levas, bujes y partes estructurales. Por ejemplo, es posible aumentar la densidad en lugares críticos en los que son importantes la resistencia elevada y la resistencia al desgaste, y reducirla en donde no lo son. [4]

#### **2.1.1.7 EQUIPOS**

La presión requerida para prensar polvos metálicos va de 70 MPa (10 ksi) (para el aluminio) a 800 MPa (120 ksi) (para piezas de hierro de alta densidad). La presión necesaria para compactado depende de las características y la forma de las partículas, del método de mezclado y del lubricante.

Las capacidades de prensado van de 1.8 a 2.7 MN (200 a 300 toneladas), aunque se utilizan prensas con mucha mayor capacidad para aplicaciones especiales. La mayoría de las aplicaciones requieren menos de 100 toneladas. Para tonelajes pequeños se usan prensas mecánicas tipo cigüeñal (manivela) o excéntricas; para capacidades superiores, se emplean prensas de balancín (rótula) o de junta articulada (palanca). Se pueden utilizar prensas hidráulicas con capacidades tan elevadas como 45 MN (5000 toneladas) para partes grandes. La selección de la

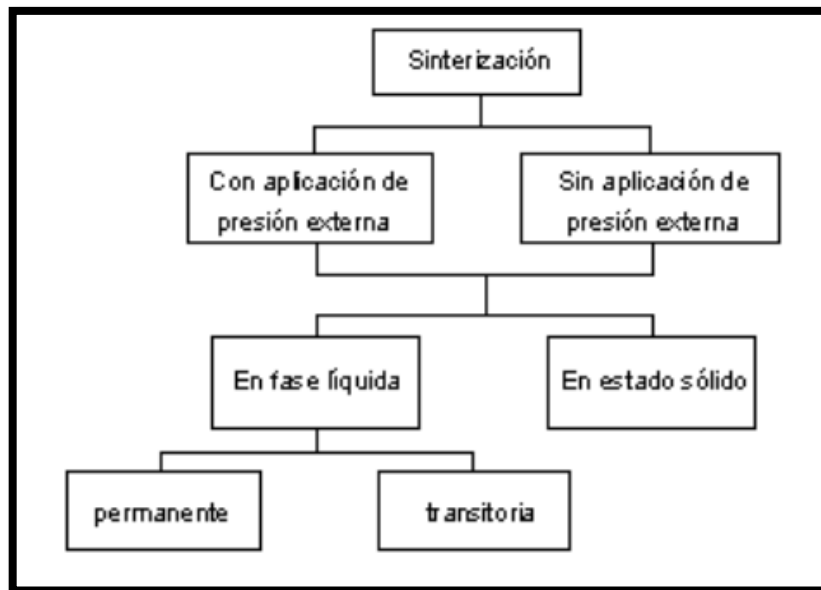
prensa depende del tamaño de la pieza y su configuración, los requisitos de densidad y la capacidad de producción. Sin embargo, cuanto más alta sea la velocidad de prensado, mayor será la tendencia de la prensa a atrapar aire en la cavidad de la matriz y, de esta manera, evitar la compactación adecuada. [4]

*Tabla 1 Presiones de compactado para diversos polvos. [4]*

<b>Presiones de compactado para diversos polvos</b>	
<b>Metal</b>	<b>Presión (MPa)</b>
Aluminio	70–275
Latón	400–700
Bronce	200–275
Hierro	350–800
Tantalo	70–140
Tungsteno	70–140
<b>Otros materiales</b>	
Óxido de aluminio	110–140
Carbono	140–165
Carburos cementados	140–400
Ferritas	110–165

### **2.1.1.8 SINTERIZADO**

El sinterizado es el proceso mediante el cual los compactados crudos o en verde se calientan en un horno de atmósfera controlada a una temperatura por debajo del punto de fusión, pero lo suficientemente elevada para permitir que se unan (fusionen) las partículas individuales. Como ya hemos visto, el comprimido crudo o en verde es frágil y su resistencia (resistencia en crudo) es baja. La naturaleza y resistencia de la unión entre las partículas y, por lo tanto, la del compactado sinterizado, depende de los complejos mecanismos de difusión, flujo plástico, evaporación de materiales volátiles en el compactado, recristalización, crecimiento de los granos y contracción de los poros.



*Figura 6 Procesos de Sinterización. [5]*

Las variables principales en la sinterización son la temperatura, el tiempo y la atmósfera del horno. Por lo general, las temperaturas de sinterización se encuentran en el intervalo de 70% a 90% del punto de fusión del metal o la aleación. Los tiempos de sinterización van de un mínimo de unos 10 minutos para aleaciones de hierro y cobre, hasta 8 horas para tungsteno y tantalio.

Los hornos de sinterización continua, que se utilizan en la mayor parte de la producción, tienen tres cámaras:

1. Cámara de quemado para volatilizar los lubricantes del compactado crudo, a fin de mejorar la resistencia de la unión y evitar agrietamientos.
2. Cámara de alta temperatura para sinterización.
3. Cámara de enfriamiento.

Si se desea obtener propiedades óptimas, es importante controlar adecuadamente la atmósfera del horno para una sinterización exitosa. Una atmósfera sin oxígeno es fundamental para controlar el carburado y descarburado de los compactados de hierro y de base hierro, además de evitar la oxidación de los polvos. Por lo general, se utiliza un vacío para sinterizar aleaciones de metal refractario y aceros inoxidable. Los gases más empleados para la sinterización son hidrógeno,

amoníaco disociado o quemado, gases de hidrocarburos parcialmente quemados y nitrógeno.

Los mecanismos de sinterización son complejos y dependen tanto de la composición de las partículas metálicas como de los parámetros del procesamiento. Los mecanismos de sinterizado son difusión, transporte de la fase vapor y sinterizado de la fase líquida. Al aumentar la temperatura, dos partículas adyacentes de polvo empiezan a formar una unión por medio de un mecanismo de difusión (unión de estado sólido); en consecuencia, se incrementan la resistencia, densidad, ductilidad y conductividades térmica y eléctrica del compactado. Sin embargo, al mismo tiempo, el compactado se contrae, de ahí que se deban considerar tolerancias para la contracción, como se hace en fundición.

Un segundo mecanismo de sinterización es el transporte de la fase vapor. Dado que el material se calienta muy cerca de su temperatura de fusión, algunos átomos del metal se liberan de las partículas como fase vapor. En geometrías convergentes (la interfaz entre dos partículas), la temperatura de fusión es localmente más alta y la fase vapor se solidifica de nuevo. Por lo tanto, la interfaz crece y se refuerza, en tanto que cada partícula se contrae como un todo. [4]

*Tabla 2 Temperatura y Tiempo de sinterizado para diversos metales. [4]*

<b>Temperatura y tiempo de sinterización para diversos metales</b>		
Material	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
Cobre, latón y bronce	760-900	10-45
Hierro y hierro-grafito	1000-1150	8-45
Níquel	1000-1150	30-45
Aceros inoxidable	1100-1290	30-60
Aleaciones de álnico (para imanes permanentes)	1200-1300	120-150
Ferritas	1200-1500	10-600
Carburo de tungsteno	1430-1500	20-30
Molibdeno	2050	120
Tungsteno	2350	480
Tantalio	2400	480

#### **2.1.1.8.1. PROPIEDADES MECÁNICAS**

Dependiendo de la temperatura, el tiempo y la historia del procesamiento, se pueden obtener diferentes estructuras y porosidades en un compactado sinterizado y así afectar sus propiedades. La porosidad no se puede eliminar por completo porque:

- Quedan huecos después del compactado, y
- Se desarrollan gases durante el sinterizado.

La porosidad puede consistir en una red de poros interconectados u orificios cerrados. Por lo general, si la densidad del material es menor a 80% de su densidad teórica, los poros se interconectan. Aunque la porosidad reduce la resistencia del producto de la P/M, es una característica importante para fabricar filtros y rodamientos metálicos y para permitir la infiltración de lubricantes líquidos por medio de la tensión superficial. [4]

#### **2.1.1.8.2. OPERACIONES SECUNDARIAS Y DE ACABADO**

Para mejorar más las propiedades de los productos sinterizados mediante la P/M, o para proporcionarles características especiales, se pueden efectuar operaciones adicionales después de la sinterización.

- El acuñado y dimensionamiento son operaciones de compactado que se realizan a alta presión en prensas. Los propósitos de estas operaciones son proporcionar precisión dimensional a la pieza sinterizada y mejorar su resistencia y acabado superficial mediante densificación adicional.
- Los compactados preformados y sinterizados de polvo aleado se pueden forjar después en frío o en caliente para darles las formas finales deseadas y, en algunas ocasiones, mediante forjado por impacto. Estos productos tienen un buen acabado superficial, buenas tolerancias dimensionales y tamaño de grano fino y uniforme. Las propiedades superiores obtenidas hacen que esta tecnología sea particularmente apropiada para aplicaciones como los componentes automovilísticos y de motores a reacción sometidos a esfuerzos elevados.
- Las partes de polvos metálicos se pueden someter a otras operaciones de acabado como:
  - Maquinado: para producir diversas características geométricas mediante fresado, taladrado y roscado (para producir orificios roscados).
  - Rectificado: para mejorar la precisión dimensional y el acabado superficial.



- Recubrimiento: para mejorar la apariencia y la resistencia al desgaste y a la corrosión.
- Tratamiento térmico: para mejorar la dureza y la resistencia.
- La porosidad inherente de los componentes de la P/M se puede utilizar impregnándolos con un fluido. Los rodamientos y bujes que se lubrican internamente hasta con 30% de aceite en volumen se fabrican al sumergir el rodamiento sinterizado en aceite caliente. Estos rodamientos tienen un suministro continuo de lubricante (debido a la acción capilar) durante su vida útil (también se los conoce como lubricados permanentemente). Las uniones universales se fabrican asimismo por medio de técnicas de P/M impregnadas con grasa, por lo que ya no requieren los accesorios tradicionales para la grasa.
- La infiltración es un proceso por el cual se pone en contacto un lodo de un metal de punto de fusión inferior con la parte sinterizada. Después se calienta el montaje a una temperatura suficientemente alta para fundir el lodo. El metal fundido se infiltra en los poros mediante la acción capilar y produce una parte relativamente libre de poros, con una buena densidad y resistencia. La aplicación más común es la infiltración de compactados con base de hierro mediante cobre. Las ventajas de la infiltración es que se mejoran la dureza y la resistencia a la tensión de la parte y se llenan los poros, por lo que se evita la penetración de humedad (que puede provocar corrosión). Además, dado que es deseable cierta porosidad cuando se utiliza un infiltrante, la parte puede sinterizarse sólo parcialmente, lo que produce una distorsión térmica inferior.

[4]

### **2.1.1.8.3. CONSIDERACIONES DE DISEÑO**

Dadas las propiedades únicas de los polvos metálicos, sus características de flujo en la matriz y la fragilidad de los compactados crudos o en verde, existen ciertos principios de diseño que es necesario seguir:

- La forma del compactado debe ser lo más simple y uniforme posible. Deben evitarse cambios abruptos de contorno, secciones delgadas, variaciones de espesor y las relaciones altas longitud a diámetro.

- Deben tomarse precauciones para expulsar el compactado crudo de la matriz sin dañarlo, por lo que los orificios o depresiones tienen que ser paralelos al eje de avance del punzón. También deben proveerse biseles para evitar daños a las orillas durante la expulsión.
- Las partes producidas mediante P/M se deben producir con las tolerancias dimensionales más amplias aceptables (congruentes con las aplicaciones a las que se destinan), para aumentar la vida de los herramientas y matrices y reducir los costos de producción.
- Por lo general, el espesor de las paredes de la pieza no debe ser menor a 1.5 mm (0.060 pulgada); sin embargo, con cuidado especial se pueden prensar con éxito paredes delgadas hasta de 0.34 mm (0.0135 pulgada) en componentes de 1 mm (0.04 pulgada) de longitud. Las paredes con relaciones de longitud a espesor mayores a 8:1 son difíciles de prensar y las variaciones de densidad son virtualmente inevitables.
- Se pueden producir escalones en las partes si son simples y su tamaño no excede 15% de la longitud total de la parte. Se pueden prensar escalones más grandes, pero requieren herramienta más complejo, de movimientos múltiples.
- Se pueden prensar letras si están orientadas de manera perpendicular a la dirección del prensado y se pueden realzar o rebajar. Las letras realzadas son más susceptibles a daños en la etapa cruda y también evitan el apilamiento durante el sinterizado.
- Los rebordes o salientes se pueden producir mediante un escalón en el dado. Sin embargo, los rebordes grandes pueden romperse con la expulsión y requerir herramienta más elaborado. Un reborde largo debe incorporar un ángulo de salida alrededor del mismo, un radio en la arista inferior y un radio en la unión del reborde y/o el cuerpo del componente para reducir las concentraciones de esfuerzo y la probabilidad de fractura.
- No se puede prensar un radio verdadero en la orilla de una parte porque requeriría que el punzón se biselara en forma vertical (que se conificará ligeramente) hasta un espesor de cero, como se muestra en la figura 17.21d. Es preferible prensar chaflanes o planos, y un método común de diseño es un ángulo de 45° en un plano de 0.25 mm (0.010 pulgada).

- Las chavetas, las ranuras de chavetas y los orificios utilizados para transmitir torques en engranes y poleas se pueden formar durante la compactación de polvos. Es posible producir resaltes siempre que se utilicen ángulos de salida adecuados y su longitud sea pequeña en comparación con el componente en general.
- Se pueden hacer muescas y ranuras si se orientan perpendicularmente en la dirección del prensado. Se recomienda que las ranuras circulares no excedan una profundidad de 20% de todo el componente y que las ranuras rectangulares no excedan 15%.
- Las partes producidas mediante moldeo por inyección de polvos tienen restricciones similares de diseño a las del moldeo por inyección de los polímeros. Con el PIM, los espesores de pared deben ser uniformes para minimizar la distorsión durante el sinterizado. Además, los moldes se deben diseñar con transiciones tersas para evitar la acumulación de polvo y permitir la distribución uniforme del mismo.
- Por lo general, las tolerancias dimensionales de las partes sinterizadas mediante P/M son del orden de  $\pm 0.05$  a  $0.1$  mm ( $\pm 0.002$  a  $0.004$  pulgada). Las tolerancias mejoran de modo significativo con operaciones adicionales, como dimensionamiento, maquinado y rectificado. [4]

### **2.1.2. REFRACTARIOS**

Otra clase importante de cerámicas que se utiliza en grandes cantidades son las cerámicas refractarias. Las propiedades sobresalientes de estos materiales incluyen la capacidad de soportar altas temperaturas sin fundir o descomponerse y la capacidad de permanecer inertes sin reaccionar cuando son expuestos a medios agresivos. Además, la capacidad de producir aislamiento térmico también es a menudo una consideración importante. Los materiales refractarios son comercializados de maneras diferentes, pero los ladrillos son los más comunes. Aplicaciones típicas incluyen revestimientos de hornos para el afino de metales, elaboración del vidrio, tratamiento metalúrgico y generación de electricidad. El comportamiento de una cerámica refractaria depende en gran medida de su

composición. Sobre esta base, existen varias clasificaciones, a saber, refractarios de arcilla, ácidos (o de sílice), básicos y especiales. [6]

**Tabla 3** Composición de algunos Materiales Refractarios. [6]

Tabla 14.2 Composición de cinco materiales cerámicos refractarios								
Tipo de refractario	Composición porcentual en peso							Porosidad aparente (%)
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	
Arcilla refractaria	25-45	70-50	0-1		0-1	0-1	1-2	10-25
Arcilla refractaria de alto contenido en alúmina	90-50	10-45	0-1		0-1	0-1	1-4	18-25
Sílice	0,2	96,3	0,6			2,2		25
Periclasa	1,0	3,0	90,0	0,3	3,0	2,5		22
Mineral de periclasa y óxido de cromo	9,0	5,0	73,0	8,2	2,0	2,2		21

### 2.1.2.1 REFRACTARIOS DE ARCILLA

Los ingredientes primarios de estas cerámicas son mezclas de arcillas refractarias de alta pureza, alúmina y sílice, con un 25 a un 45% de alúmina. De acuerdo con el diagrama de las fases SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, en este intervalo de composiciones de la más alta temperatura que puede alcanzar sin que se forme líquido es 1587°C. Por debajo de la estación de las fases en equilibrio son mullita y sílice (cristobalita). Durante la vida en servicio del refractario puede permitirse una pequeña cantidad de la fase líquida sin que esto afecte a la integridad mecánica. Por encima de 1587C, la fracción de líquido presente depende de la composición del refractario. Aumento del porcentaje de alúmina aumentará la máxima temperatura de servicio permitiendo la existencia de una cantidad de líquido. Los ladrillos refractarios de arcilla se utilizan principalmente en la construcción de hornos, para confinar atmosferas muy calientes y para aislar térmicamente los elementos estructurales de temperaturas excesivas. En el caso de los ladrillos refractarios de arcilla, la resistencia no es generalmente una restricción importante, debido a que no se requiere que soporten cargas. Normalmente se controla la exactitud dimensional y la estabilidad del producto [6]

### 2.1.2.2 REFRACTARIOS DE SILICE

El principal ingrediente de los refractarios de silicio, algunas veces denominados refractarios ácidos, es la sílice. Estos materiales, bien conocidos por su capacidad estructural a temperaturas elevadas, se utilizan ordinariamente en los techos arqueados de los hornos de la producción de acero y del vidrio; para estas

aplicaciones, se alcanza temperaturas tan altas como 1650 °C. En estas condiciones, una pequeña porción del ladrillo está en forma de líquido. La presencia de incluso pequeñas concentraciones de alúmina tiene un efecto adverso sobre las prestaciones de estos refractarios. Estos materiales refractarios son también resistentes a las escorias ricas en sílice (denominadas escorias ácidas) y se utilizan como recipientes para contenerlas. Por otro lado, son fácilmente atacables por escorias con una alta proporción de CaO y/o MgO (escorias básicas), de manera que el contacto con estos óxidos debe ser evitado. [6]

### **2.1.2.3 REFRACTARIOS BÁSICOS**

Los refractarios ricos en periclasa, o magnesia calcinada (MgO), se nombran básicos, también pueden contener compuestos calcio, y hierro. La presencia de sílice es perjudicial para sus prestaciones a temperatura elevada. Los refractarios básicos son especialmente resistentes al ataque por escorias que contienen altas concentraciones de MgO y CaO y se encuentran en gran utilización en hornos altos de producción de acero [6]

### **2.1.2.4 REFRACTARIOS ESPECIALES**

Existen otros materiales cerámicos que se utilizan en aplicaciones refractarias más bien especiales. Algunos de ellos son óxidos de relativamente alta pureza, muchos de los cuales pueden producirse con poca porosidad. En este grupo se encuentra la alúmina, sílice, magnesia, óxido de berilio (BeO), circonita (ZrO<sub>2</sub>) y mullita (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-2SiO<sub>2</sub>). Otros refractarios son compuestos de carburos, además carbono y grafito. El carburo de silicio (SiC) ha sido utilizado para resistencias eléctricas de calefactores, como material de crisoles y en componentes de hornos. El carbono y el grafito son muy refractarios, pero se encuentran limitadas las aplicaciones debido a que son susceptibles a la oxidación a temperaturas superiores a 800°C Tal como cabría esperar, estos refractarios especiales son relativamente [6]

### **2.1.3. RESISTENCIA DE LOS MATERIALES**

La resistencia de materiales es el estudio de las propiedades de los cuerpos sólidos que les permite resistir la acción de las fuerzas externas, el estudio de las fuerzas internas en los cuerpos y de las deformaciones ocasionadas por las fuerzas externas.

La Resistencia de Materiales se ocupa del estudio de los efectos causados por la acción de las cargas externas que actúan sobre un sistema deformable. [7]

### 2.1.3.1 PROPIEDADES DEL ALUMINIO 1060

Para reseña de las propiedades mecánicas del aluminio 1060, se utilizó libros y publicaciones de la Sociedad Americana de Metales, los mismos que son una referencia estándar en la ciencia de materiales y para lo cual se tendrá como base la densidad en tabla 4, Propiedades mecánicas típica del aluminio en la tabla 5 y tabla 6.

**Tabla 4** Densidad Nominal del aluminio y aleaciones de aluminio. [8]

Alloy	Density	
	g/cm <sup>3</sup>	lb/in. <sup>3</sup>
1050	2.705	0.0975
1060	2.705	0.0975

**Tabla 5** Propiedades Mecánicas típicas de varias aleaciones de aluminio. [8]

Alloy and temper	Ultimate tensile strength		Tensile yield strength		Elongation in 50 mm (2 in.), %		Hardness HB <sup>(a)</sup>	Ultimate shearing strength		Fatigue endurance limit <sup>(b)</sup>		Modulus of elasticity <sup>(c)</sup>	
	MPa	ksi	MPa	ksi	1.6 mm ( $\frac{1}{16}$ in.) thick specimen	1.3 mm ( $\frac{1}{2}$ in.) diam specimen		MPa	ksi	MPa	ksi	GPa	10 <sup>6</sup> psi
1060-O	70	10	30	4	43	...	19	50	7	20	3	69	10.0
1060-H12	85	12	75	11	16	...	23	55	8	30	4	69	10.0

**Tabla 6** Propiedades mecánicas típicas para el aluminio 1060. [8]

Temper	Tensile strength		Yield strength		Elongation <sup>(a)</sup> , %	Hardness, HB <sup>(b)</sup>	Shear strength		Fatigue limit <sup>(c)</sup>	
	MPa	ksi	MPa	ksi			MPa	ksi	MPa	ksi
O	69	10	28	4	43	19	48	7	21	3
H12	83	12	76	11	16	23	55	8	28	4
H14	97	14	90	13	12	26	62	9	34	5
H16	110	16	103	15	8	30	69	10	45	6.5

### 2.1.3.2 PROPIEDADES DEL BABBIT ASTM B 23 ALLOY 2.

Las propiedades mecánicas del Babbit ASTM B 23 alloy 2, se obtuvo mediante libros y publicaciones realizadas por la Sociedad Americana de Metales, los mismos que sirven como una referencia estándar en la ciencia de materiales y para lo cual se tiene la composición química en tabla 7, Propiedades mecánicas típica del Babbit ASTM B 23 alloy 2 en la tabla 7 y tabla 8.

**Tabla 7:** Composición química del ASTM B 23 Alloy 2. [8]

Designation	Nominal composition, %										
	Sn <sup>(a)</sup>	Sb	Pb max <sup>(b)</sup>	Cu	Fe max	As max	Bi max	Zn max	Al max	Total other max	
ASTM B 23 alloys											
Alloy 1	91.0	4.5	0.35	4.5	0.08	0.10	0.08	0.005	0.005	0.05 Cd <sup>(c)</sup>	
Alloy 2	89.0	7.5	0.35	3.5	0.08	0.10	0.08	0.005	0.005	0.05 Cd <sup>(c)</sup>	

**Tabla 8: Propiedades Mecánicas del material BABBIT ASTM B 23 Alloy 2. [8]**

Designation	Specific gravity	Compressive yield strength <sup>(a)(b)</sup>				Compressive ultimate strength <sup>(a)(c)</sup>				Hardness, HB <sup>(d)</sup>		Solidus temperature		Liquidus temperature		Pouring temperature	
		At 20 °C (68 °F)		At 100 °C (212 °F)		At 20 °C (68 °F)		At 100 °C (212 °F)		At 20 °C (68 °F)	At 100 °C (212 °F)	°C	°F	°C	°F	°C	°F
		MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi								
ASTM B 23, Alloy 1	7.34	30.3	4.40	18.3	2.65	88.6	12.85	47.9	6.95	17.0	8.0	223	433	371	700	440	825
ASTM B 23, Alloy 2	7.39	42.1	6.10	20.7	3.00	102.7	14.90	60.0	8.70	24.5	12.0	241	466	354	669	425	795

### 2.1.3.3 ENSAYO DE LOS MATERIALES

Toda clase de materiales permite evaluar sus propiedades mecánicas para su caracterización mediante ensayos. Para realizar el ensayo se utiliza una cantidad de muestra de cierto material y hacer cierta cantidad de pruebas para garantizar el comportamiento del mismo. Para que los resultados sean válidos los ensayos mecánicos se lo realiza con equipos adecuados y simuladas, el procedimiento se debe realizar utilizando normas que existen para la caracterización mecánica. Existen instituciones normalizadores como ASTM, ASME, ISO, UNE, ICONTEC, INEN, etc. han creado normas para diferentes aplicaciones en estas también incluyen las caracterizaciones mecánicas. [9]

Existen diferentes tipos de ensayos de los cuales para el cumplimiento de los objetivos planteados en la investigación se considera los siguientes ensayos, los cuales son: Ensayo de Tracción, Ensayo de Dureza y Ensayo de Desgaste en medio acuoso.

#### 2.1.3.3.1. ENSAYOS DE TRACCIÓN

Uno de los ensayos mecánicos esfuerzo-deformación más comunes es el realizado a tracción. El ensayo a tracción puede ser utilizado para determinar varias propiedades de los materiales que son importantes para el diseño. Normalmente se deforma una probeta hasta la rotura, con una carga de tracción que aumenta gradualmente y que se aplicará uniáxicamente a lo largo del eje de la probeta. Generalmente la probeta es circular, pero también se utilizan de sección rectangular. [10]



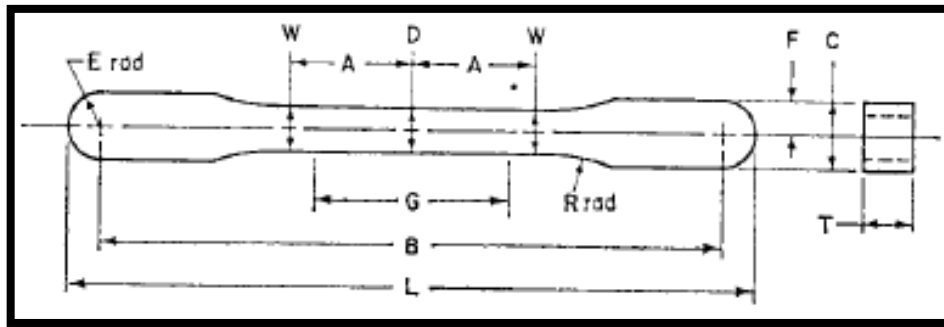


Figura 7 Probeta de tracción normalizada con sección rectangular. [11]

El ensayo a tracción nos permite adquirir propiedades mecánicas como, el esfuerzo máximo a la tracción, porcentaje de deformación, módulo de elasticidad; Dichas propiedades se obtienen mediante la utilización de la máquina conocida como Universal.

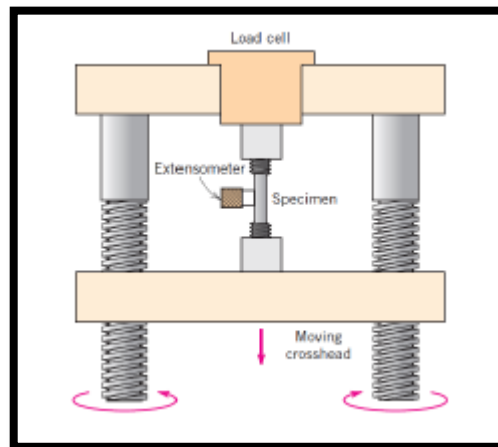


Figura 8 Esquema del aparato utilizado para realizar ensayos de tracción. [10]

### ➤ Esfuerzo máximo a tracción

El esfuerzo máximo se obtiene de la fuerza más alta aplicada al cuerpo en ensayo denominada resistencia a la tensión, que este el esfuerzo máximo sobre la curva esfuerzo - deformación ingenieril. Los materiales dúctiles, la deformación no se mantiene uniforme. En cierto instante, una región se deforma más que otra y se genera una reducción local de importancia en la sección recta la ecuación con la que se calcula es la siguiente:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:  $\sigma_{max}$  es el esfuerzo máximo (MPa), F es la carga máxima para producir fractura (N), A es la área de la sección transversal de la probeta ( $mm^2$ ). [12]

➤ **Porcentaje de deformación.**

El porcentaje de deformación tiene relación con la longitud total del objeto, y se analiza la deformación unitaria,  $\varepsilon$ , obtenida al dividir la diferencia de longitud entre la longitud del inicial. La elongación es el tanto por ciento de deformación que se obtiene al multiplicar la deformación unitaria por 100, como se puede observar en las siguientes ecuaciones:

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_i}{l_i} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\% \text{ de deformación} = \frac{l_f - l_i}{l_i} * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:  $\varepsilon$  es la elongación,  $l_f$  es la longitud final (mm),  $l_i$  es la longitud inicial (mm) [12].

➤ **Módulo de elasticidad**

El módulo elástico es la deformación elástica de un cuerpo, que es denominado también como módulo de Young que se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon} \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:  $E$  es el módulo de Young,  $\sigma_{max}$  es el esfuerzo máximo,  $\varepsilon$  es la elongación [12].

➤ **Norma Para aplicación del ensayo de Tracción**

Para realizar los ensayos de tracción se trabajara con las regulaciones de la norma ASTM E 8 M a las mismas que hacen referencia a: Métodos de Prueba Estándar de Ensayos de Tensión de Aluminio Forjado y Fundido y Productos de aleación de magnesio [Métrico].

### 2.1.3.4 ENSAYO DE DUREZA

La dureza es una propiedad común; proporciona una indicación general de la resistencia del material al rayado y al desgaste. Más específicamente, la dureza suele definirse como la resistencia a la indentación permanente; por ejemplo, el acero es más duro que el aluminio y éste es más duro que el plomo. Sin embargo,

la dureza no es una propiedad fundamental, porque la resistencia a la indentación depende de la forma del indentador y de la carga aplicada.

Se han desarrollado varios métodos de ensayo para medir la dureza de los materiales, mediante diferentes materiales y formas para el indentador. A continuación se describen los ensayos de dureza utilizadas comúnmente. [13]



*Figura 9 Durómetro. [14]*

#### **2.1.3.4.1. Ensayo Brinell.**

Este ensayo consiste en oprimir una bola de acero o de carburo de tungsteno de 10 mm (0.4 pulgadas) de diámetro contra una superficie, con una carga de 500, 1500 o 3000 kg. El número de dureza Brinell (HB) se define como la relación de la carga  $P$  a la superficie curvada del área de indentación. Cuanto más duro sea el material por ensayar, menor será la impresión; de ahí que suele recomendarse una carga de 1500 o 3000 kg a fin de obtener impresiones suficientemente grandes para medirlas con precisión. Según las condiciones del material, se desarrolla uno de dos tipos de impresión sobre la superficie. En general, las impresiones en los metales recocidos tienen un perfil redondo; en los metales trabajados en frío, ese perfil es afilado. [13]

#### **2.1.3.4.2. Ensayo Rockwell.**

Esta prueba mide la profundidad de penetración en lugar del diámetro de la indentación. El indentador se oprime sobre la superficie, primero con una carga menor y después con una carga mayor; la diferencia en las profundidades de penetración es una medida de la dureza del material. A continuación se muestran

algunas de las escalas de dureza Rockwell e indentadores más utilizados. Los ensayos Rockwell de dureza superficial también se han desarrollado mediante el mismo tipo de indentadores, pero con cargas ligeras. [13]

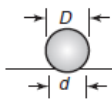

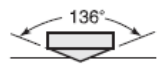

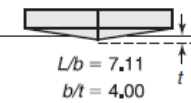
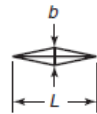
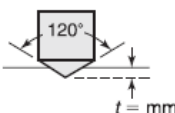

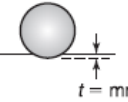

Ensayo	Indentador	Forma de la Indentación		Carga, $P$	Número de dureza			
		Vista lateral	Vista superior					
Brinell	Bola de acero o de carburo de tungsteno de 10 mm			500 kg 1500 kg 3000 kg	$HB = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$			
Vickers	Pirámide de diamante			1-120 kg	$HV = \frac{1.854P}{L^2}$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

Figura 10 Características generales de los métodos de ensayo de dureza y fórmulas para calcular la dureza. [13]

### 2.1.3.4.3. Norma Para aplicación del ensayo de dureza.

Para realizar los ensayos de dureza se trabajara con las regulaciones de la norma ASTM E 10 las mismas que hacen referencia al: Método de prueba estándar para la dureza Brinell de los materiales metálicos, respectivamente.

### 2.1.3.5 ENSAYOS DE DESGASTE.

El proceso de desgaste, puede definirse como una pérdida de material de la interface de dos cuerpos, cuando se les ajusta a un movimiento relativo bajo la acción de una fuerza. En general, los sistemas de ingeniería implican el movimiento relativo entre componentes fabricados a partir de metales y no metales, y se han identificado seis tipos principales de desgaste, como sigue [15]:

- Desgaste por adherencia.
- Desgaste por abrasión.
- Desgaste por ludimiento.
- Desgaste por fatiga.
- Desgaste por erosión.
- Desgaste corrosivo.

#### **2.1.3.5.1. Norma Para aplicación del ensayo de desgaste abrasivo.**

Para realizar los ensayos de desgaste en medio abrasivo se trabajara con las regulaciones de la norma ASTM G 105 las mismas que hacen referencia al: Método de prueba estándar para la realización de pruebas de abrasión de arena húmeda / caucho 1.

## **2.2 HIPÓTESIS**

Las fracciones volumétricas de material sinterizado aluminio 1060 con Babbit ASTM B 23 alloy 2 combinados por mezcla de polvos influirán de manera positiva en las propiedades de resistencia a la tracción, dureza y desgaste.

## **2.3 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS**

### **2.3.1. VARIABLES INDEPENDIENTES**

Fracción volumétrica, Temperatura de sinterización, Tamaño de Partículas, Tiempo.

### **2.3.2. VARIABLES DEPENDIENTES**

Propiedades mecánicas: Resistencia a la Tracción, Desgaste y Dureza.

### **2.3.3. TERMINO DE RELACIÓN**

INFLUIRÁ.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Para la investigación se utiliza investigación tipo exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa. Estos tipos de investigaciones suelen ser las etapas cronológicas de todo estudio científico, y cada una tiene una finalidad diferente: primero se 'explora' un tema para conocerlo mejor, luego se 'describen' las variables involucradas, después se 'correlacionan' las variables entre sí para obtener predicciones rudimentarias, y finalmente se intenta 'explicar' la influencia de unas variables sobre otras en términos de causalidad. [16]

##### **3.1.1. INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA**

El objetivo de aplicar la investigación exploratoria es, examinar o explorar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado nunca antes. Por lo tanto, sirve para familiarizarse con fenómenos relativamente desconocidos, poco estudiados o novedosos, permitiendo identificar conceptos o variables promisorias, e incluso identificar relaciones potenciales entre ellas. [16]

##### **3.1.2. INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA**

En el estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones, conceptos o variables y se mide cada una de ellas independientemente de las otras, con el fin, precisamente, de describirlas. Estos estudios buscan especificar las propiedades importantes de los materiales a estudiar o cualquier otro fenómeno relacionado con la investigación. [16]

##### **3.1.3. INVESTIGACIÓN CORRELACIONAL**

Se efectúa con el fin medir el grado de relación que eventualmente pueda existir entre dos o más conceptos o variables, en los materiales que se van a estudiar. Más concretamente, se busca establecer si hay o no una correlación, de qué tipo es y cuál es su grado o intensidad (cuán correlacionadas están). En otros términos, los

estudios correlacionales pretenden ver cómo se relacionan o vinculan diversos fenómenos entre sí o si no se relacionan. [16]

### 3.1.4. INVESTIGACIÓN EXPLICATIVA

Las investigaciones descriptivas y correlacionales constituyen una mera descripción de algunos fenómenos, para lo que se centran en la medición de una o más variables dependientes en alguna población o muestra. La investigación explicativa, en cambio, va más allá tratando de encontrar una explicación del fenómeno en cuestión, para lo cual busca establecer, de manera confiable, la naturaleza de la relación entre uno o más efectos o variables dependientes y una o más causas o variables independientes. [16]

## 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

### 3.2.1. POBLACIÓN

La población a ser utilizada en el trabajo de investigación propuesta serán un conjunto de probetas del sinterizado aluminio 1060 con Babbit ASTM b 23 alloy 2 combinados por mezcla de polvos, las mismas que se caracterizan por tener distintas fracciones volumétricas de cada material, recalcando que las probetas pasan por procesos de combinación de polvos, compactado y finalmente por un proceso de sinterizado. Las probetas son sometidas a ensayos de: Resistencia a la tracción, dureza y desgaste abrasivo, dichos ensayos se realizaron bajo las normas ASTM, en la tabla 9 se presentan las fracciones volumétricas para la obtención del material conformado.

*Tabla 9 Fracciones volumétricas de los materiales sinterizados y combinados por mezcla de polvos.*

Material	Indicador	Nomenclatura	Índice de Mezcla		
			Aluminio 1060	Babbit ASTM B 23 Alloy 2	Tamaño de Partículas (µm)
Material sinterizado	Fracción Volumétrica	P1	90 % [8]	10 % [8]	45 hasta 63 [17]
		P2	80 % [8]	20 % [8]	45 hasta 63 [17]
		P3	70 % [8]	30 % [8]	45 hasta 63 [17]

(Fuente: Autor)

### 3.2.2. MUESTRA

La muestra utilizada en el trabajo de investigación propuesta serán un conjunto de probetas del sinterizado aluminio 1060 con Babbit ASTM b 23 alloy 2 combinados por mezcla de polvos, las mismas que por las distintas fracciones volumétricas de cada material combinados por mezcla de polvos se realiza cinco probetas para ensayos de Resistencia a la Tracción teniendo en cuenta que por alguna falla en el proceso de obtención, se cuenta con dos probetas extras; teniendo en total siete probetas para ensayo de resistencia a la tracción. Asumiendo las consideraciones mencionadas se empleara el mismo concepto para los ensayos realizados tomando las dimensiones presentes en las normas ASTM, en la tabla 10 se presenta la cantidad de muestras necesarias para la realización de los ensayos programados.

*Tabla 10 Cantidad de probetas para cada ensayo.*

Material	Indicador	Nomenclatura	NORMAS		
			TRACCIÓN	DUREZA	DESGASTE
			TX	DX	DHX
Material sinterizado	Fracción Volumétrica	A	7	7	7
		B	7	7	7
		C	7	7	7

(Fuente: Autor)

### 3.3. OPERACIÓN DE VARIABLES

#### 3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Material sinterizado Aluminio 1060 con Babbit ASTM B 23 alloy 2 combinados por mezcla de polvos, en la tabla 11 se presenta la conceptualización de las variables independientes.

*Tabla 11 Variable Independiente.*

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e Instrumentación
El proceso de pulvimetalurgia o metalurgia de polvos se caracteriza por obtener polvo de		Temperatura. (85% de la temperatura del	Fichas Técnicas.



un metal base, combinado con polvo de material de aporte, los mismos después de ser mezclados pasan a un proceso de compactado y posteriormente a un proceso de sinterizado en el cual el material mezclado va a obtener sus propiedades; este proceso permite que el material sinterizado obtenga una estructura interna homogénea de grano y unión de partículas.	Elevación de la temperatura en la probeta.	material de menor temperatura de fusión). [4]	Fichas de laboratorio. Catálogos.
	Duración del material en el horno.	Tiempo. 60 minutos. [17] 275 Mpa [4]	Observación. Molino de bolas.
	Compactación del material combinado.	Fracción Volumétrica. Tamaño de Partículas	Horno. Cronómetro.

(Fuente: Autor)

### 3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Propiedades que se van analizar en el material sinterizado de Aluminio 1060 con Babbit ASTM B 23 Alloy 2 en la tabla 12 se presenta la conceptualización de las variables dependientes.

Tabla 12 Variable Independiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e Instrumentación
Las propiedades mecánicas propias de cada material, muestran el comportamiento de un material antes y después de ser sujeto a agentes externos (fuerzas). Dichas propiedades se establecen después de someter el material a cargas, enfocadas a experimentación de laboratorio.	Ensayos de: Dureza. Tracción. Desgaste.	Dureza (ASTM E 10). Resistencia a la Tracción (ASTM E 8). Porcentaje de Alargamiento. Peso Perdido (ASTM G 105).	Experimentación Inspección Visual. Durómetro. Máquina Universal. Microscopio. Desgaste por abrasión húmeda. Fichas de Observación. Fichas de Laboratorio. Observación.

(Fuente: Autor)

### 3.4. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

En la tabla 13 se plantea el plan para la recolección de información.

*Tabla 13 Plan para recolección de información*

<b>PLAN PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN</b>	
<b>¿Qué?</b>	Se procederá a obtener las propiedades mecánicas: Resistencia a la Tracción, Dureza y Desgaste en medio acuoso del material sinterizado Aluminio 1060 con Babbit ASTM B 23 alloy 2 combinados por mezcla de polvos.
<b>¿Para qué?</b>	El objetivo de la investigación es conocer las propiedades mecánicas que brinda cada fracción volumétrica del material sinterizado Aluminio 1060 con Babbit ASTM B 23 alloy 2 combinados por mezcla de polvos
<b>¿Quién?</b>	El estudio de las propiedades mecánicas del material propuesto se realizó por el investigador Andrés Beltrán.
<b>¿A quiénes?</b>	Los ensayos bajo las normas ASTM son aplicados a las probetas conformadas con cada fracción volumétrica propuesta
<b>¿Cómo?</b>	Aplicando la normativa ASTM para los ensayos propuestos, empleando herramientas de recolección de datos, fichas técnicas como también utilizando registros de carácter bibliográfico
<b>¿Con que?</b>	Se recolectó la información mediante la creación de fichas técnicas, las cuales facilitaron la toma de datos de cada ensayo para cada fracción volumétrica del material sinterizado.
<b>¿Cuándo?</b>	Realizado en el año 2017
<b>¿Cuántas veces?</b>	Se realizó 7 ensayos para cada uno de los análisis propuestos Resistencia a la tracción, Dureza y Desgaste en medio acuoso.
<b>¿Dónde?</b>	La investigación se realizó en la Universidad Técnica de Ambato en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica campus Huachi Chico como también con el apoyo del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H. Gobierno Provincial Tungurahua.

*(Fuente: Autor)*

### **3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN Y ANÁLISIS**

Para el correcto desarrollo del trabajo de investigación propuesto, los datos adquiridos son procesados cronológicamente para lo cual se siguen los siguientes pasos:

#### **3.5.1. COMPROBACIÓN DE DATOS OBTENIDOS**

Este paso sirve para comprobar que los datos obtenidos en los ensayos sean coherentes con los métodos con que se están ensayando las probetas las cuales deben estar clasificadas por cada fracción volumétrica empleada en la investigación.

#### **3.5.2. TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS**

Esta herramienta nos permite examinar y clasificar la información obtenida, se emplea el instrumento de tabulación asistida por computadora.

#### **3.5.3. ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS**

En esta sección del plan de procesamiento de información toma en cuenta los valores resultantes de los ensayos a los que fueron aplicadas las probetas para seleccionar la muestra con mejores resultados para tener un enfoque real de los ensayos realizados.

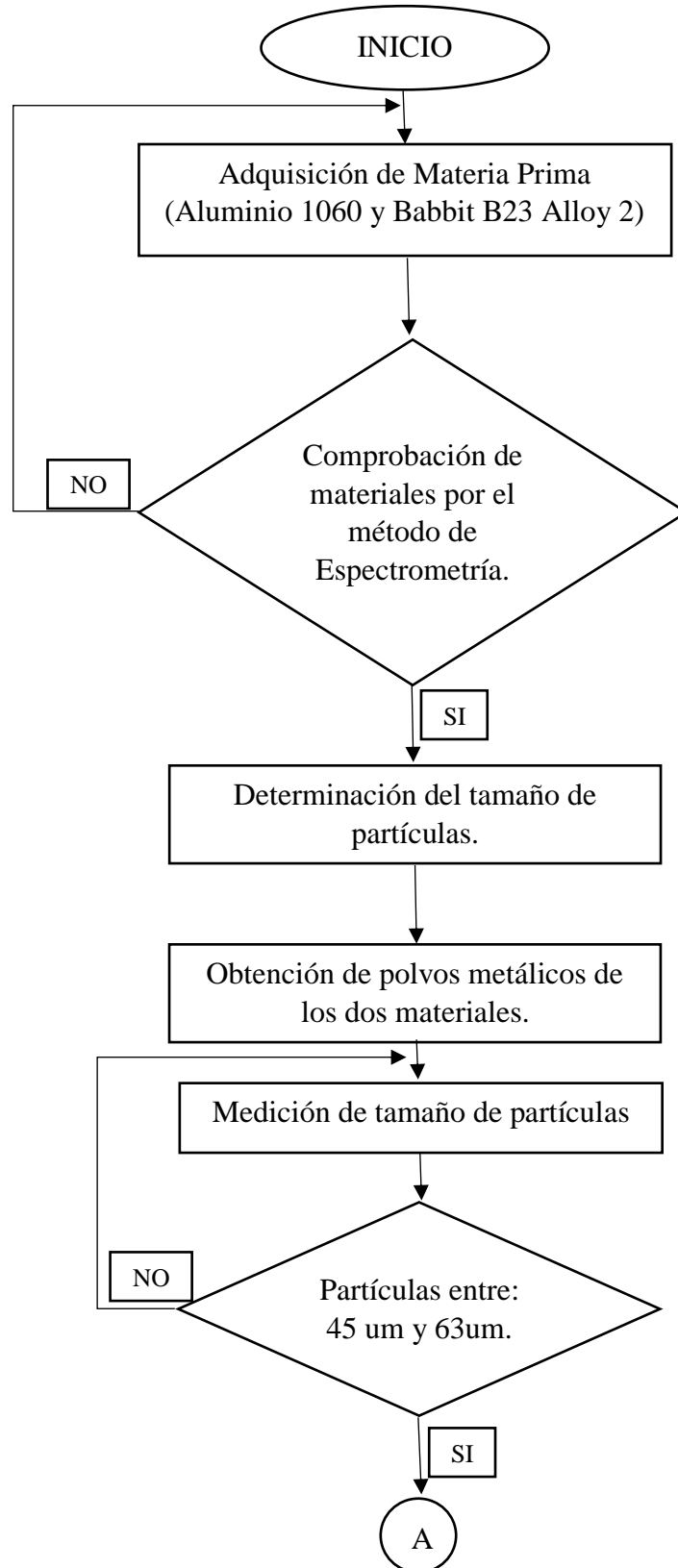
#### **3.5.4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS**

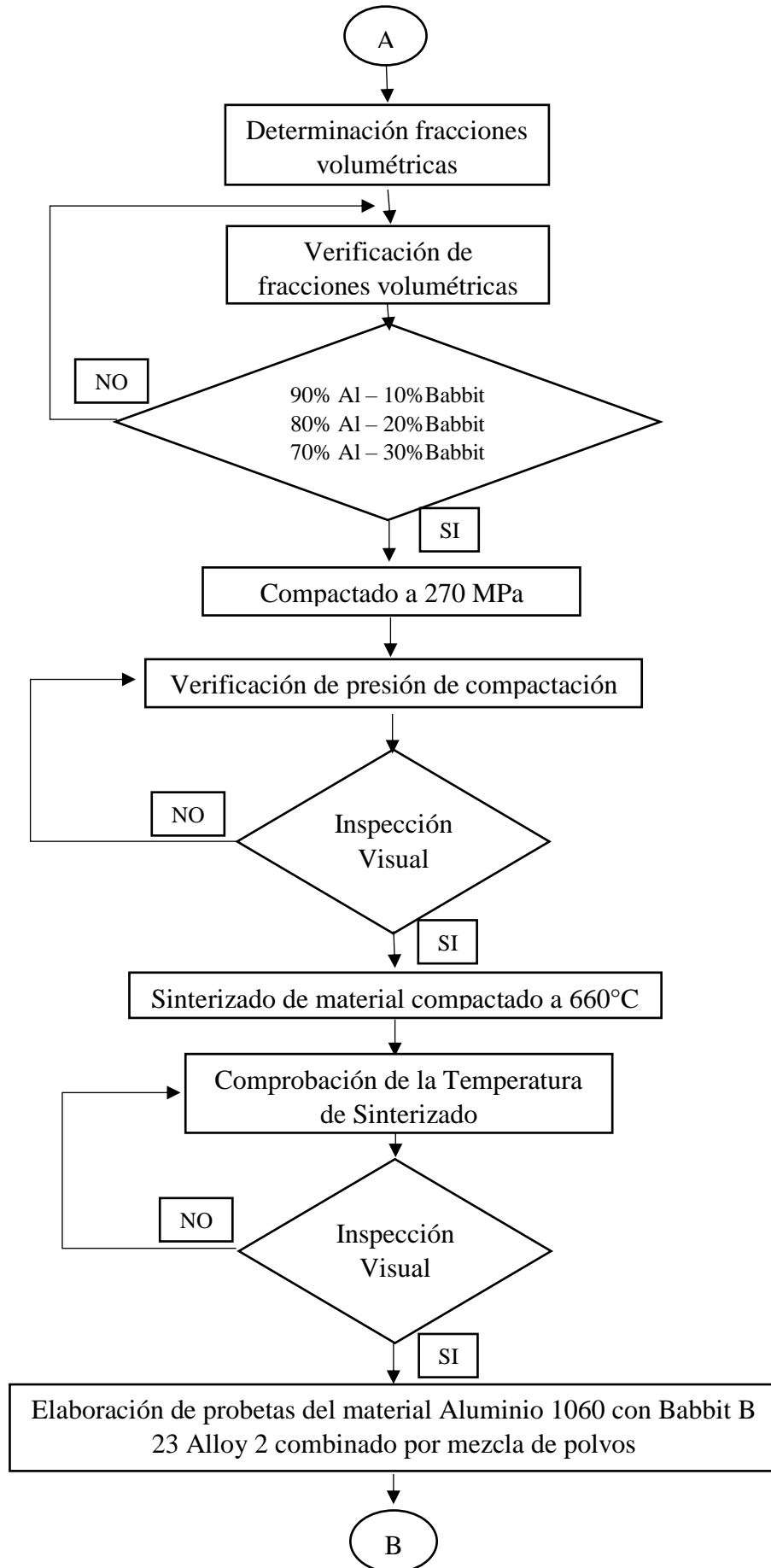
Con los pasos previos como son la comprobación, tabulación y análisis de datos obtenidos, se muestran los resultados empleando herramientas gráficas como método para facilitar la presentación de estos.

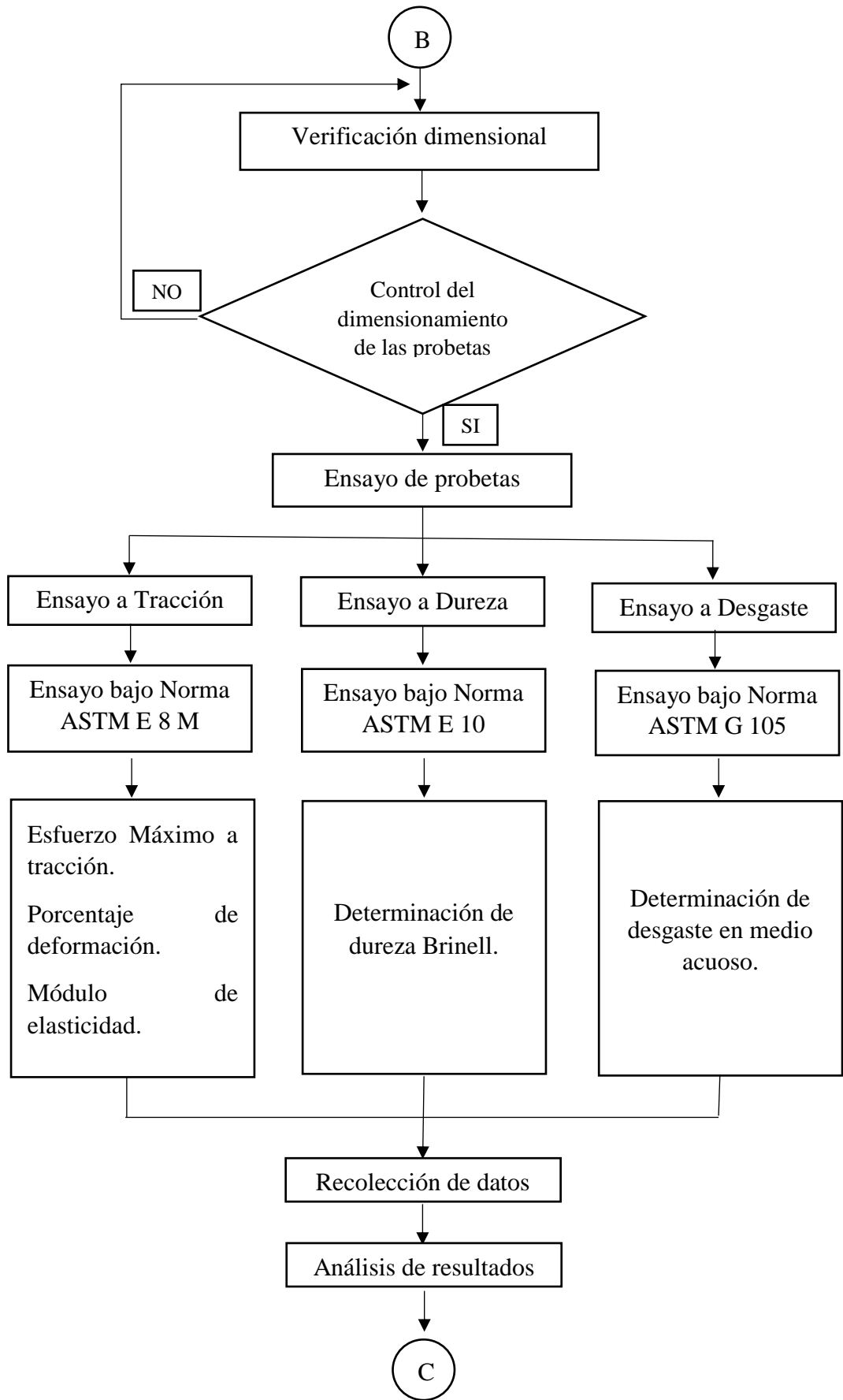
#### **3.5.5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS**

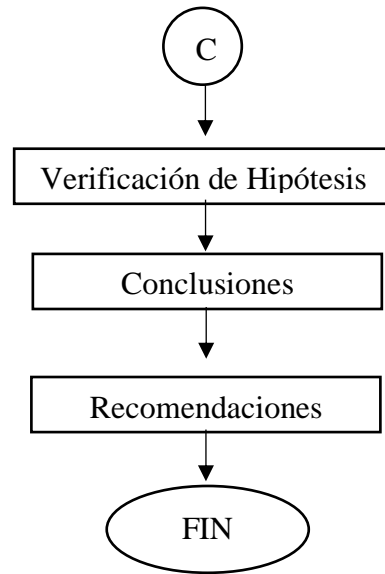
Empleando las herramientas antes enunciadas se procede a interpretar los resultados obtenidos, empleando criterios concluyentes del proyecto de investigación realizado.

**3.6. DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PROBETAS PARA EL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.**









*Figura 11* Diagrama del proceso de obtención de probetas para ser ensayadas.  
*Fuente:* [Autor].

## **CAPITULO IV**

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

#### **4. PREPARACIÓN Y PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS EN LA MATERIA PRIMA.**

##### **4.1. ADQUISICIÓN DE LA MATERIA PRIMA.**

- a) La obtención del Polvo de Aluminio 1060 se la realizó mediante la compra del material base, el mismo que después de comprobar que el material sea el adecuado mediante el proceso de Espectrometría por XRF realizado en el Centro de Fomento Carrocero de la Provincia de Tungurahua, se procedió a ingresar dicho material en el Molino de Bolas para obtener polvo de Aluminio 1060, dicho procedimiento se realizó en los Laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica en la Universidad Técnica de Ambato.
- b) El material Metal Antifricción Magnolia – Tandem, denominado así por la empresa proveedora “Inrioch S.A”, fue expuesto a un análisis Expectrométrico XRF en el Centro de Fomento Carrocero de la Provincia de Tungurahua, en el cual los resultados de dicho procedimiento manifiestan que las muestras realizadas pueden corresponder a el material Babbit b 23 alloy 2 denomina así por la ASTM, una vez obtenidos estos parámetros se realizó el procedimiento de obtención de polvos de dicho material en el Molino de Bolas ubicado en los Laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica en la Universidad Técnica de Ambato.
- c) Las probetas para la realización de los ensayos propuestos cuentan con un peso de: 6g c/u para ensayos de Tracción y 45g c/u para ensayos a Desgaste; estas mediciones se determinaron después de realizadas varias pruebas en las cuales se fijaron que los pesos planteados nos brindan las dimensiones y consideraciones necesarias para la correcta aplicación de la normativa empleada.



## 4.2. CRITERIO DE TAMAÑO, FORMA DE PARTÍCULAS, PESOS SELECCIONADOS PARA PROBETAS.-

Debido a que el tamaño y la forma de las partículas incluyen de manera importante en la compactación y sinterización, acogí recomendaciones como: mientras más pequeña la partícula mejor resultados se obtendrá al compactado; de igual manera la forma de las partículas debido a que una mezcla de partículas circulares e irregulares proveen un mejor empaquetamiento y mejora las características para el moldeo respectivamente.

Dicho proceso se realizó empleando conceptos de granulometría, para lo cual se utilizó tamices, mismo que están normalizados y se encuentran disponibles en los Laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, con lo cual utilizando la granulometría se obtuvo partículas de polvo de Aluminio 1060 y Babbit b 23 alloy 2 con un tamaño de entre 45um y 63um mismo que mediante investigación previa a la realización del proyecto investigativo consideramos que es un tamaño óptimo y aceptable para obtener los resultados esperados.

### 4.2.1. PESOS Y FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DE LAS PROBETAS.

*Tabla 14 Fracciones volumétricas de acuerdo a cada probeta y al peso de cada material.*

Identificación	Fracción Volumétrica (%)	Peso (g)	Aluminio 1060 (g)	Babbit b 23 Alloy 2 (g)
<b>TXA</b>	90 Al /	6	5.4	0.6
<b>DXA</b>	10 Babbit	45	40.5	4.5
<b>TXB</b>	80 Al /	6	4.8	1.2
<b>DXB</b>	20 Babbit	45	36	9
<b>TXC</b>	70 Al /	6	3.3	2.7
<b>DXC</b>	30 Babbit	45	31.5	13.5

(Fuente: Autor)

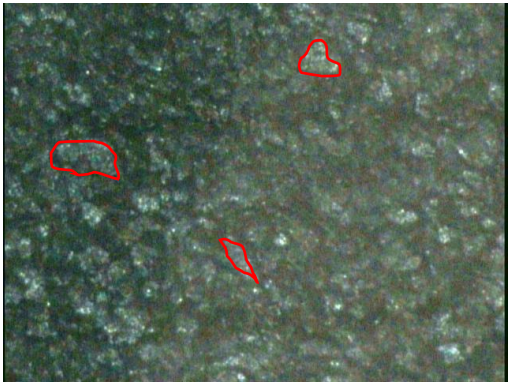
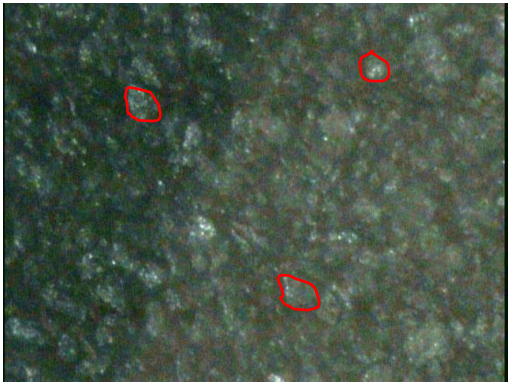


### 4.2.2. IMAGENOLOGÍA Y TAMAÑO DE PARTICULAS.

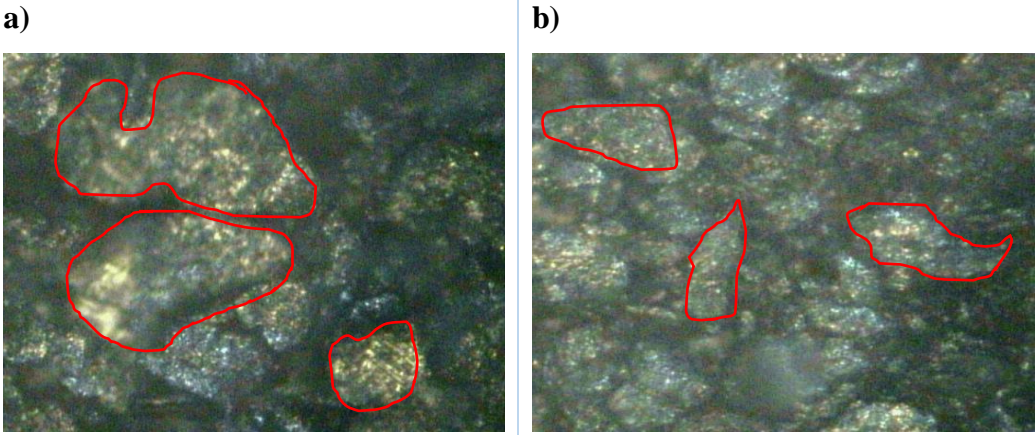
En la tabla 15 podemos observar las diferentes formas de partículas, a distintos niveles de acercamiento, las cuales se han observado en el microscopio y han

podido determinar que encontramos los siguientes tipos de formas de partículas todas obtenidas por el método de trituración mecánica:

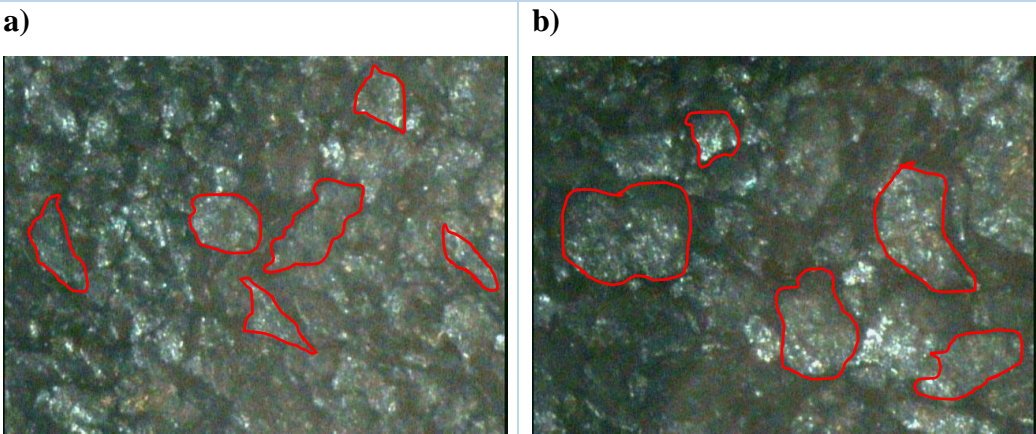
- Acicular. (Flecha)
- Tipo barra irregular.
- Hojuela.
- Irregular.

*Tabla 15 Forma de partículas de P/M en tamaño de 45 hasta 63 um obtenida por distintos lentes de microscopio.*

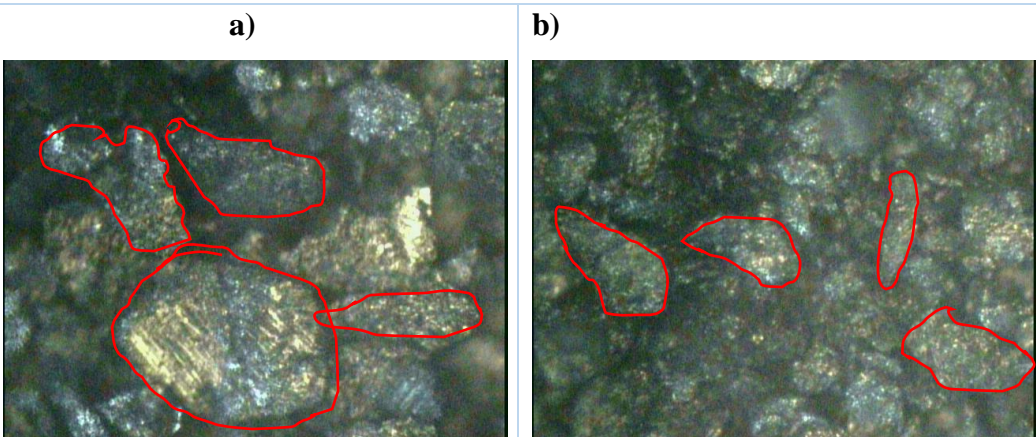
<b>Forma de partículas metálicas en el proceso de Pulvimetalurgia.</b>	
<b>a)</b> 	<b>b)</b> 
<p><i>Figura 12 a) y b) Forma de partículas metálicas de aluminio 1060 a 40 X. (por el acercamiento del lente se tienen dificultades al diferenciar la forma del grano).</i> (Fuente: Autor)</p>	
<b>a)</b> 	<b>b)</b> 
<p><i>Figura 13 a) y b) Forma de partículas metálicas de aluminio 1060 a 100 X.</i> (Fuente: Autor)</p>	



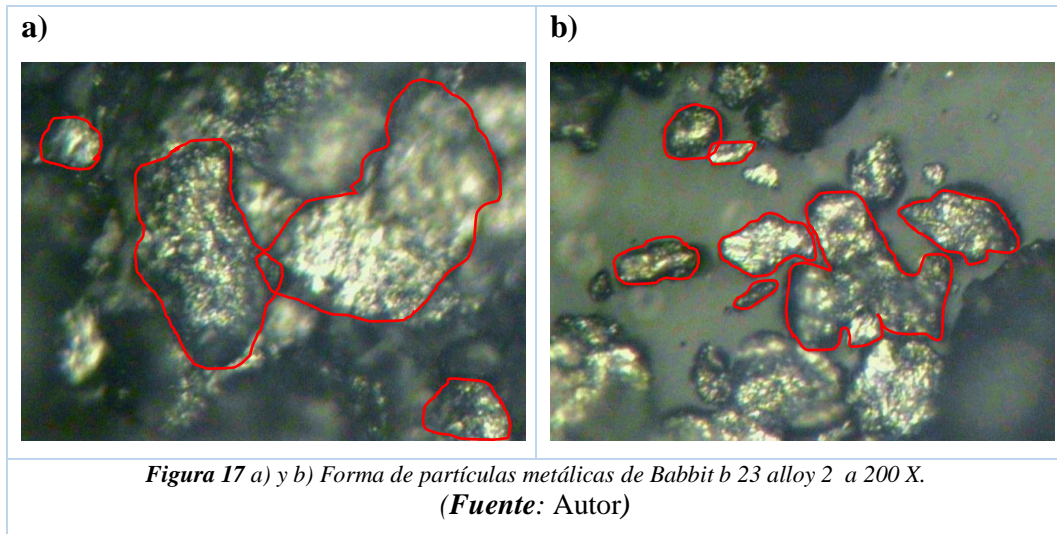
**Figura 14** a) y b) Forma de partículas metálicas de aluminio 1060 a 200 X.  
(Fuente: Autor)



**Figura 15** a) y b) Forma de partículas metálicas de Babbitt b 23 alloy 2 a 40 X.  
(Fuente: Autor)



**Figura 16** a) y b) Forma de partículas metálicas de Babbitt b 23 alloy 2 a 100 X.  
(Fuente: Autor)



(Fuente: Autor)

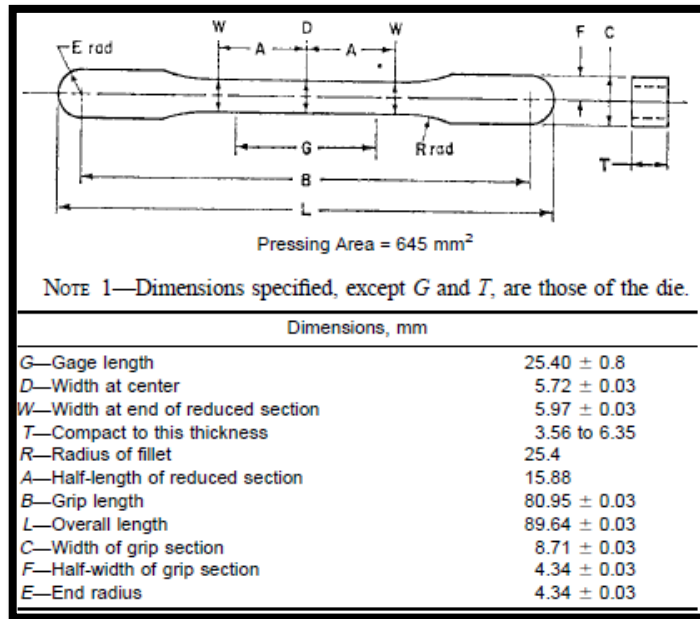
#### **4.2.3. CRITERIO DE MEZCLADO DE POLVOS.**

La mezcla de polvos propuesta hace referencia a una mezcla sencilla de (P/M), para lo cual se utilizó herramientas disponibles en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, en la cual las fracciones volumétricas planteadas y previamente obtenidas con los pesos de las probetas a ser estudiadas se ingresaron en recipientes en forma de V especiales para combinación de (P/M), y se mantuvo en mezclado constante por un tiempo de 0.5 horas. [17]

#### **4.3. DIMENSIONES DE LAS PROBETAS PARA LOS ENSAYOS PLANTEADOS.**

##### **4.3.1. DIMENSIONES PROBETAS ENSAYO A TRACCIÓN.**

Las probetas de los ensayos a tracción se realizaron bajo la norma ASTM E8, en ella se encuentra que para probetas de (P/M) se deben obtener las siguientes dimensiones y forma:



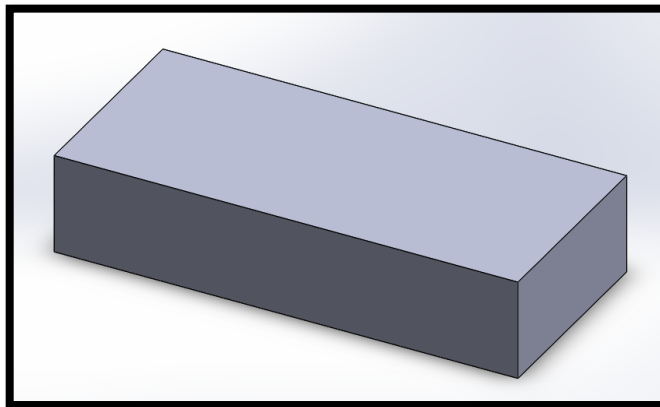
*Figura 18* Muestra estándar de pruebas de tensión sin mecanizar para productos de metalurgia en polvo (P/M). [11]

#### 4.3.2. DIMENSIONES PROBETAS ENSAYO A DESGASTE.

Las probetas de desgaste bajo la norma ASTM G 105 correspondiente a la normativa de desgaste por abrasión en arena húmeda, se debe obtener una probeta que cumpla con las siguientes características y dimensiones:

8.2 *Test Specimen*—The test specimens are rectangular in shape, 25.4 ± 0.8 mm (1.00 ± 0.03 in.) wide by 57.2 ± 0.8 mm (2.25 ± 0.03 in.) long by 6.4 to 15.9 mm (0.25 to 0.625 in.) thick. The test surface should be flat within 0.125 mm (0.005 in.) maximum.

*Figura 19* Especificaciones para probetas de ensayo a desgaste abrasivo en arena húmeda. [18]

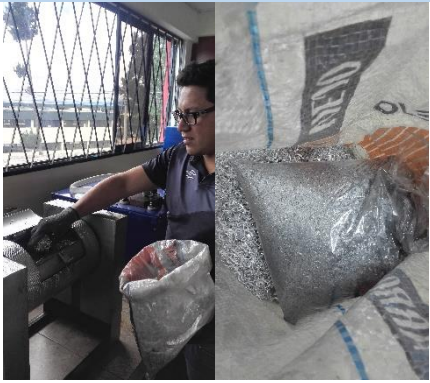



*Figura 20* Probeta para ensayo a desgaste por la norma ASTM G 105  
(Fuente: Autor)

### 4.3.3. PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE PROBETAS.

Una vez obtenidos las partículas, parámetros, dimensiones y consideraciones necesarias para la correcta aplicación del concepto de P/M, se siguió el siguiente procedimiento en el cual se detalla cada parte del mismo y podría ser usado como pasos apropiados para la obtención de las probetas tanto de ensayos a tracción como también para ensayos de desgaste y dureza

*Tabla 16 Proceso para la obtención de probetas de polvos metálicos.*

<b>PROCEDIMIENTO PARA OBTENCIÓN DE PROBETAS DE P/M</b>	
El procedimiento que se muestra a continuación, se enfoca en el procedimiento seguido desde el principio de la investigación propuesta, el mismo que a brindando excelentes resultados	
<b>PROCESO / DESCRIPCIÓN</b>	<b>EVIDENCIA</b>
<p><b>a) Obtención de polvos metálicos.</b></p> <p>Para la obtención de polvos metálicos se toma como base viruta del material seleccionado, esta se lo lleva al molino de bolas y se deja que cumpla la molienda del material por el tiempo necesario hasta obtener el tamaño de grano deseado. 1 kg de cada material molido en 10 horas.</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Figura 21 Proceso para obtener polvos metálicos. (Fuente: Autor)</i></p>
<p><b>b) Separación de partículas por Granulometría.</b></p> <p>Molido el material, procedemos a verter en tamices de cantidades no superiores a 0.5 kg por un tiempo de 0.5 horas, estos datos son tomados por la capacidad de la máquina tamizadora de la resistencia y de la efectividad que se desea conseguir para evitar pérdidas de material Este paso del procedimiento nos proporciona la obtención de las partículas</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Figura 22 Proceso de Granulometría y separación de partículas. (Fuente: Autor)</i></p>

deseadas de entre 45um y 63um de cada material que se haya puesto al proceso de molienda.

**c) Separación por fracciones volumétricas de cada material.**

Utilizando la balanza se procede a separar en porcentajes las cantidades totales de cada material que debe ser combina para la cual como un ejemplo tenemos que el peso total de una probeta para ensayo a tracción pesa 6 g netos, de la cual para la primera fracción volumétrica correspondiente a una mezcla de 90% de AL y 10% Babbit; en peso tenemos que cada probeta debe contener 5.4 g de aluminio y 0.6 g de Babbit.



*Figura 23 Separación de fracciones volumétricas del material, separación en porcentajes.*

*(Fuente: Autor)*

**d) Mezcla simple de polvos metálicos.**

Una vez obtenidas las fracciones volumétricas se ingresan a la máquina mezcladora de polvos, en la cual el material debe permanecer por alrededor de 30min [4]



*Figura 24 Ingreso de material y recipiente de mezclado.*

*(Fuente: Autor)*

**e) Compactación de material.**

El material mezclado ingresa con la cantidad apropiada de polvo a cada uno de los moldes utilizados para P/M, el cual ingresa a la máquina prensadora ubicada en los laboratorios de carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato la misma que de acuerdo a la investigación realizada se utilizó una presión de 270 MPa

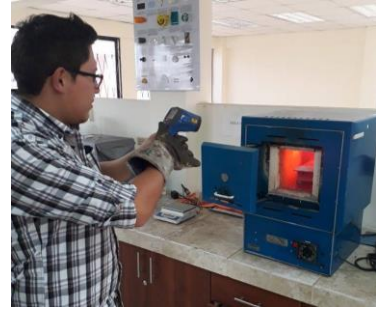


*Figura 25 Máquina de prensado del material llegando a una temperatura de 270Mpa.*

*(Fuente: Autor)*

**f) Sinterización del material compactado.**

Las probetas obtenidas del paso anterior, ingresan al horno recubiertas por arena refractaria la cual protege a las superficies de las probetas del contacto con el oxígeno, evitando así oxidación, esta alcanza una temperatura de 660°C por un tiempo de una hora.



*Figura 26 Material puesto al horno a una temperatura de 660°C, cubiertos de arena refractaria.*

*(Fuente: Autor).*

**g) Control de calidad.**

Es uno de los primeros filtros por el cual pasan las probetas de Aluminio 1060 combinado con Babbit b 23 alloy 2 obtenidas por el método de Pulvimetalurgia en el cual se controla que no exista rechupes, oxidación, e inspección visual del sinterizado del material.



*Figura 27 Inspección Visual de las superficies de las probetas al salir del proceso de sinterización.*

*(Fuente: Autor)*

**h) Control de dimensiones de las probetas.**

Una vez aceptados los parámetros anteriores, procedemos a realizar una comparación de dimensiones de las probetas físicas con las dimensiones proporcionadas por las normas utilizadas para los diversos ensayos como son: ensayo a tracción, desgaste y dureza.



*Figura 28 Proceso realizado por inspección con calibrador pie de rey para control de dimensiones.*

*(Fuente: Autor)*



**i) Realización de ensayos.**

Una vez cumplido con éxito los pasos anteriores se empieza a realizar los ensayos respectivos los cuales nos proporcionan los datos y registros de suma importancia para interpretar y sacar conclusiones de lo realizado.



*Figura 29 Realización de ensayos de Dureza Brinell HB en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica FICM-UTA.*

*(Fuente: Autor)*

*(Fuente: Autor)*

#### **4.4 ENSAYOS REALIZADOS A PROBETAS DE MATERIAL SINTERIZADO ALUMINIO 1060 CON BABBIT ASTM B 23 ALLOY 2 COMBINADO POR MEZCLA DE POLVOS.**

La realización de ensayos aplicados a el material sinterizado, permitieron obtener valores de las propiedades mecánicas en cuanto a: Resistencia ultima a la tracción, Dureza y Desgaste; las misma que se adquirieron aplicando normativa específica para este tipo de elementos.

En la cual los ensayos de Dureza y Desgaste se realizaron en la Universidad Técnica de Ambato, en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, y los ensayos de tracción se realizaron en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del gobierno provincial de Tungurahua; en los cuales se utilizaron máquinas como el Durómetro modelo HBRV-187.5, máquina de desgaste por abrasión húmeda ubicado en los laboratorios de la carrera de ingeniería mecánica, también la Máquina Universal para ensayos a Tracción Metrotec MTE-10/50 del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.

**Nota:** Las probetas para este ensayo llevan la nomenclatura de DXA1, DXA2.....DXA15; DXB1, DXB2.....DXB15; DXC1, DXC2.....DXC15; esta nomenclatura hace referencia a la siguiente codificación:

- D= Ensayo de Dureza.
- XA= Fracción Volumétrica #1 10% Babbit b 23 alloy 2 con 90% Al 1060.
- 1,2.....15= Número de probeta ensayada.

La nomenclatura de las probetas fueron cambiadas de acuerdo al ensayo al que van a ser sometidas las probetas obtenidas por el proceso de P/M como por ejemplo (Tracción = T; Degaste= DH; Dureza= D), La denominación XA, XB, XC; no cambian debido a cada una representa la fracción volumétrica del material que fue ensayado como son XA (10% Babbit b 23 alloy 2 con 90% Al 1060), XB (20% Babbit b 23 alloy 2 con 80% Al 1060), XC (30% Babbit b 23 alloy 2 con 70% Al 1060); y # corresponde al número de probeta que fue ensayada.

#### **4.4.1 ENSAYO A DUREZA**

Para el ensayo de dureza se realizaron quince puntos de muestra (penetraciones de bola en el material de P/M), para lo cual se cumplió con los parámetros especificados en la norma E 10-00, en la cual no se especifica un número mínimo de penetraciones; en la figura 30 se muestra la máquina “Durómetro” que se utilizó para realizar dicho ensayo, en la Figura 31 se muestra la representación de las huellas dejadas en el material.



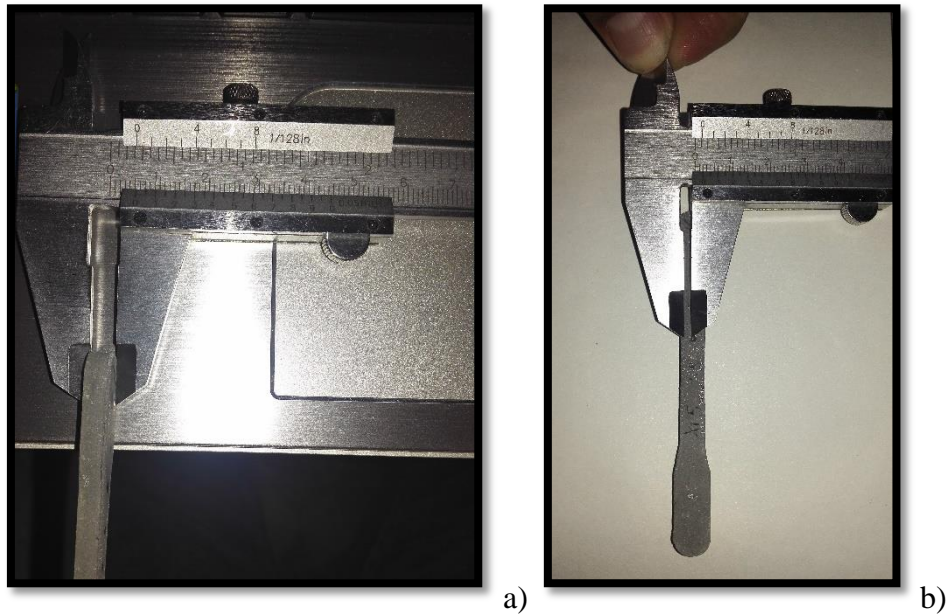
*Figura 30 Durómetro HBRV-187.5  
(Fuente: Autor)*



*Figura 31 Penetraciones de bola en el material obtenido en el proceso de pulvimetalurgia.  
(Fuente: Autor)*

#### 4.4.1.1 ENSAYO A DUREZA EMPLEANDO NORMA ASTM E 10

Cada penetración de bola en el ensayo de dureza HB debe ser realizado a no menos de una distancia de 2 mm del borde de la muestra ensayada, el espesor de la muestra a ensayar no debe ser menor a 1.6 mm; en la Figura 32 se representa el control de los límites enunciados en la norma de ensayos a tracción, recalcando que cada grupo muestra tiene su propio código y se utilizan las mismas consideración para todo el grupo ensayado a Dureza Brinell.



*Figura 32 a) y b) Representan el control de los límites de borde de huella de penetración.*

Una vez realizado en ensayo de Dureza Brinell se obtuvieron los siguientes datos aplicando las siguientes fórmulas:

#### a) Dureza Brinell

$$HB = 0.102 * \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

*Ecuación 6*

En donde:

D = Diámetro de bola en mm.

F = Fuerza aplicada en el ensayo en newton.

d = Diámetro medio de la huella de la penetración en mm

**b) Error**

$$\text{Error} = \bar{H} - H \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\bar{H} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n}$$



$$H_1 + H_2 + \dots + H_n = \text{Valores de dureza de cada penetración} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$H = \text{Dureza obtenida del Bloque.} \quad \text{Ecuación 9}$$

**4.4.1.2 TABULACIÓN Y RECOLECCIÓN DE DATOS.**

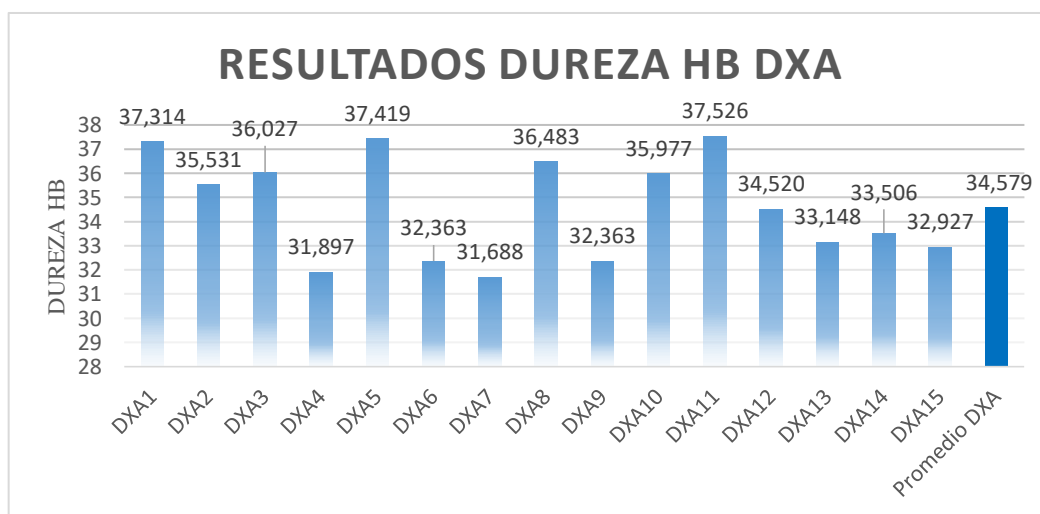
La tabulación y recolección de datos de todas las penetraciones de bola realizadas en el ensayo de Dureza bajo la norma ASTM E 10, se realizan con las características y restricciones que esta manifiesta, los resultados y datos fueron debidamente recolectados y registrados en las fichas que se muestran a continuación las mismas que nos proporcionan la facilidad para graficar, manejar y posteriormente para la debida interpretación de los resultados.

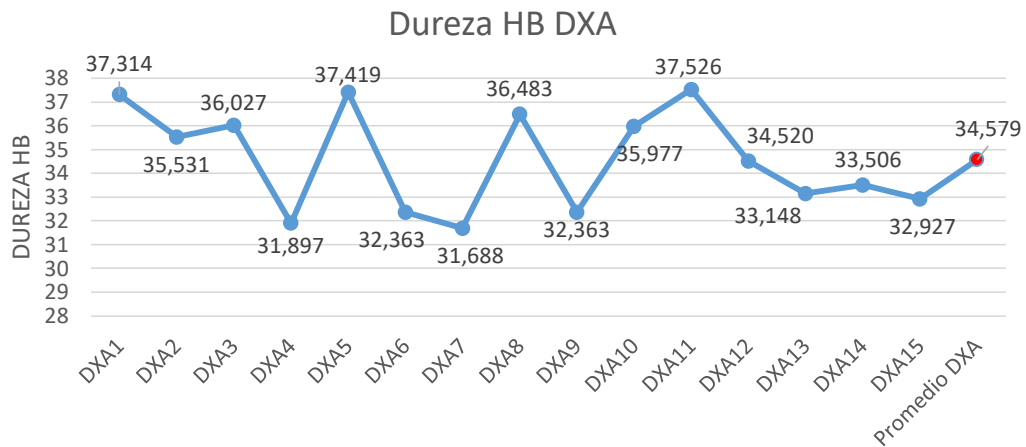
*Ficha de Datos 1 Presentación de recolección de información del ensayo de Dureza DXA del material obtenido por P/M 10% Babbit ASTM b 23 alloy 2 con 90% Al 1060.*

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECANICA		 <b>Reg:DXA,#(1-15)</b>
	<b>ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)</b>		
<b>REGISTRO DE EXAMEN DE DUREZA PARA MATERIAL OBTENIDO POR EL MÉTODO DE P/M; con Fracción Volumétrica (90% Al 1060 combinado con 10% Babbit ASTM b 23 alloy 2).</b>			
<b>Laboratorio</b>	Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica FICM-UTA		
<b>Equipo</b>	Hardness Tester model HBRV-187,5		
<b>Tipo de ensayo</b>	Dureza Brinell (HB)	<b>Ciudad</b>	Ambato
<b>Norma</b>	ASTM E 10	<b>Fecha</b>	07/11/2017
<b>TIPO DE MATERIAL</b>			
<b>Material #1</b>	Babbit ASTM b 23 alloy 2	<b>Material #2</b>	Aluminio 1060
<b>% Material</b>	10%	<b>% Material</b>	90%
<b>CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL</b>			
<b>Granulometría</b>	Forma de granos Mixtos	<b>Tamaño Partículas</b>	45um - 63um
<b>P compactación</b>	270 Mpa	<b>T Sinterizado</b>	660°C
<b>CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO</b>			
<b>Espesor muestra</b>	5 mm	<b>Diámetro bola</b>	5 mm
<b>Distancia al Borde</b>	≥ 2 mm	<b>Distancia entre penetraciones</b>	≥ 2 mm
<b>Fórmula HB</b>	$HB = 0.102 * \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	<b>Fuerza aplicada</b>	612,9 N
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

<b>DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE DUREZA BRINELL</b>			
<b>Nombre Huella.</b>	<b>Fuerza aplicada (N)</b>	<b>Dureza Obtenida (HB)</b>	<b>Error (H<sup>-</sup>-H)</b>
<b>DXA1</b>	612,9	37,314	-2,734
<b>DXA2</b>	612,9	35,531	-0,951
<b>DXA3</b>	612,9	36,027	-1,448
<b>DXA4</b>	612,9	31,897	2,683
<b>DXA5</b>	612,9	37,419	-2,840
<b>DXA6</b>	612,9	32,363	2,216
<b>DXA7</b>	612,9	31,688	2,892
<b>DXA8</b>	612,9	36,483	-1,903
<b>DXA9</b>	612,9	32,363	2,216
<b>DXA10</b>	612,9	35,977	-1,398
<b>DXA11</b>	612,9	37,526	-2,946
<b>DXA12</b>	612,9	34,520	0,059
<b>DXA13</b>	612,9	33,148	1,431
<b>DXA14</b>	612,9	33,506	1,073
<b>DXA15</b>	612,9	32,927	1,652
<b>Promedio DXA</b>	<b>612,9 (N)</b>	<b>34,579 HB</b>	<b>1,896 (error)</b>

**GRÁFICAS DE RESULTADOS**







Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>La distribución de los datos muestran una separación marcada, la cual puede ser causada por la compactación del material.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Del promedio del total de las huellas de penetración se obtiene que el material analizado consta con una DUREZA BRINELL DE 34,579 HB.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Las huellas de penetración XA4 y XA7 muestran los valores inferiores del ensayo de dureza del material.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conforme a la norma ASTM E 10 para durezas Brinell de 30 HB, el porcentaje de <b>error</b> no debe superar el valor de 2,7; Por tal motivo el analizas realizado en este material cumple con esta limitación debido a que el error calculado es de <b>1,896</b> el cual se encuentra dentro del valor aceptable.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Las penetraciones de bola XA12 y XA5 son los picos más altos del ensayo de dureza.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>En total se tiene 15 penetraciones de bola correspondientes al material obtenido por P/M en 10% Babbit ASTM b23 Alloy 2 con 90% Al 1060</li> </ul>	

(Fuente: Autor)

<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

*Ficha de Datos 2 Presentación de recolección de información del ensayo de Dureza DXB del material obtenido por P/M 20% Babbit ASTM b 23 alloy 2 con 80% Al 1060.*

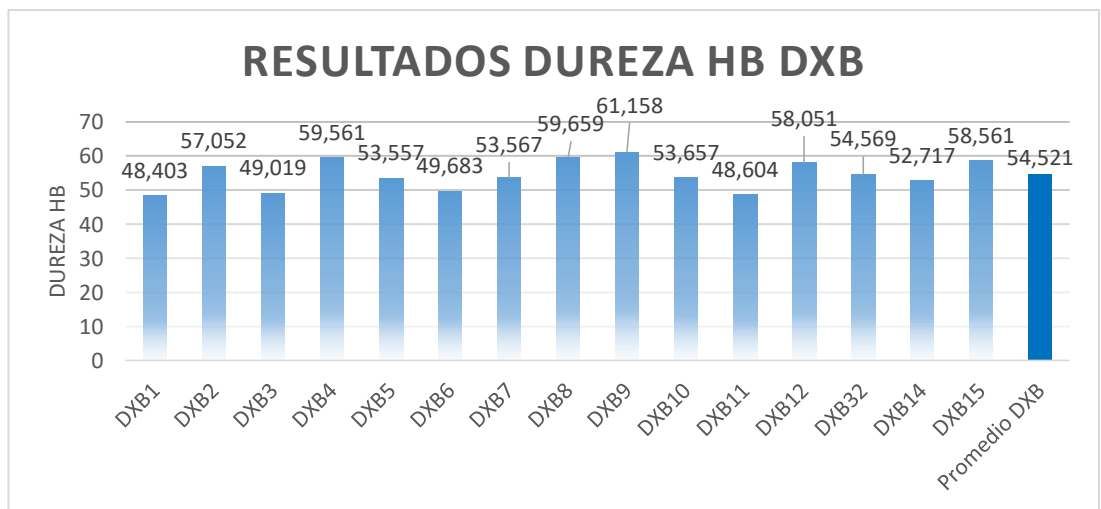
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		 <b>Reg:DXB,#(1-15)</b>								
	<b>ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)</b>										
<b>REGISTRO DE EXAMEN DE DUREZA PARA MATERIAL OBTENIDO POR EL MÉTODO DE P/M; con Fracción Volumétrica (80% Al 1060 combinado con 20% Babbit ASTM b 23 alloy 2).</b>											
<b>Laboratorio</b>	Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica FICM-UTA										
<b>Equipo</b>	Hardness Tester model HBRV-187,5										
<b>Tipo de ensayo</b>	Dureza Brinell (HB)	<b>Ciudad</b>	Ambato								
<b>Norma</b>	ASTM E 10	<b>Fecha</b>	07/11/2017								
<b>TIPO DE MATERIAL</b>											
<b>Material #1</b>	Babbit ASTM b 23 alloy 2	<b>Material #2</b>	Al 1060								
<b>% Material</b>	20%	<b>% Material</b>	80%								
<b>CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL</b>											
<b>Granulometría</b>	Forma de granos Mixtos	<b>Tamaño Partículas</b>	45um - 63um								
<b>P compactación</b>	270 Mpa	<b>T Sinterizado</b>	660°C								
<b>CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO</b>											
<b>Espesor muestra</b>	5 mm	<b>Diámetro bola</b>	5 mm								
<b>Distancia al Borde</b>	≥ 2 mm	<b>Distancia entre penetraciones</b>	≥ 2 mm								
<b>Fórmula HB</b>	$HB = 0.102 * \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	<b>Fuerza aplicada</b>	612,9 N								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"><b>Elaborado por:</b></td> <td style="width: 25%;">Sr. Andrés Beltrán</td> <td style="width: 25%;"><b>Aprobado por:</b></td> <td style="width: 25%;">Ing. Mg. Gonzalo López</td> </tr> <tr> <td><b>Revisado por:</b></td> <td>Ing. Jorge Mera.</td> <td><b>Validado por:</b></td> <td>Ing. Mg. Gonzalo López</td> </tr> </table>				<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López								
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López								

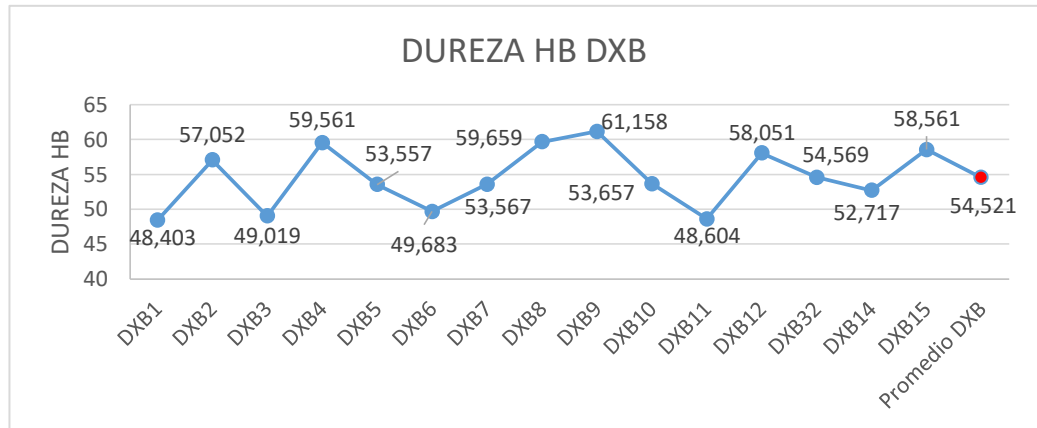


**DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE DUREZA BRINELL**

<b>Nombre Huella.</b>	<b>Fuerza aplicada (N)</b>	<b>Dureza Obtenida (HB)</b>	<b>Error (H<sup>-</sup>-H)</b>
<b>DXB1</b>	612,9	48,403	6,118
<b>DXB2</b>	612,9	57,052	-2,531
<b>DXB3</b>	612,9	49,019	5,502
<b>DXB4</b>	612,9	59,561	-5,040
<b>DXB5</b>	612,9	53,557	0,965
<b>DXB6</b>	612,9	49,683	4,838
<b>DXB7</b>	612,9	53,567	0,954
<b>DXB8</b>	612,9	59,659	-5,137
<b>DXB9</b>	612,9	61,158	-6,637
<b>DXB10</b>	612,9	53,657	0,864
<b>DXB11</b>	612,9	48,604	5,917
<b>DXB12</b>	612,9	58,051	-3,530
<b>DXB32</b>	612,9	54,569	-0,048
<b>DXB14</b>	612,9	52,717	1,804
<b>DXB15</b>	612,9	58,561	-4,040
<b>Promedio DXB</b>	<b>612,9</b>	<b>54,521</b>	<b>3,595</b>

**GRÁFICAS DE RESULTADOS**







Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>La distribución de los datos muestran una separación marcada, la cual puede ser causada por la compactación del material.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Del promedio del total de las huellas de penetración se obtiene que el material analizado consta con una DUREZA BRINELL DE <b>54,521 HB</b>.</li> <li>Conforme a la norma ASTM E 10 para durezas Brinell de 50 HB, el porcentaje de <b>error</b> no debe superar el valor de <b>4,5</b>; Por tal motivo el analizas realizado en este material cumple con esta limitación debido a que el error calculado es de <b>3,595</b> el cual se encuentra dentro del valor aceptable.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Las huellas de penetración XB1 y XB11 muestran los valores inferiores del ensayo de dureza del material.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Las penetraciones de bola XB9 y XB4 son los picos más altos del ensayo de dureza.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>En total se tiene 15 penetraciones de bola correspondientes al material obtenido por P/M en 20% Babbit ASTM b 23 Alloy 2 con 80% Al 1060</li> </ul>	

(Fuente: Autor)

<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

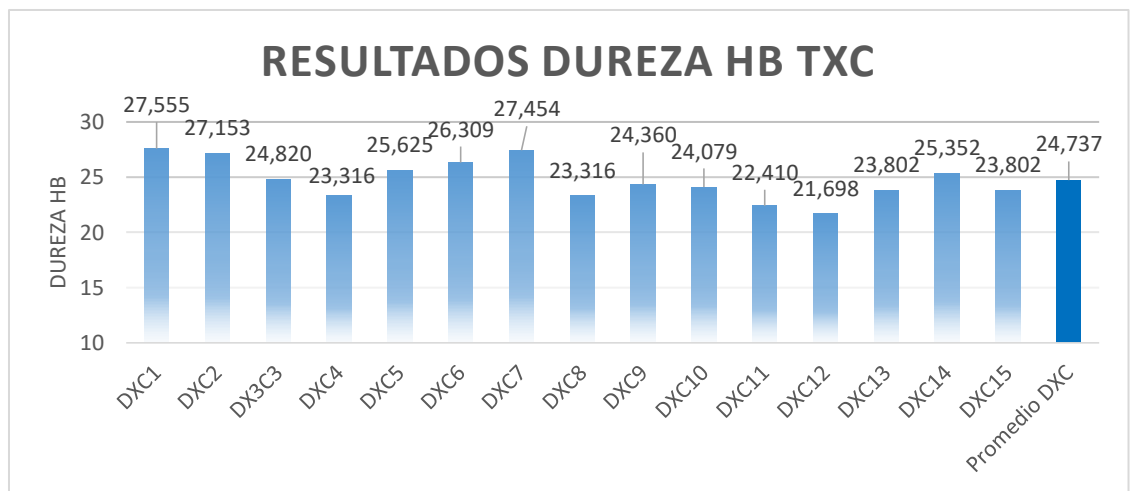
*Ficha de Datos 3 Presentación de recolección de información del ensayo de Dureza DXC del material obtenido por P/M 30% Babbit ASTM b 23 alloy 2 con 70% Al 1060.*

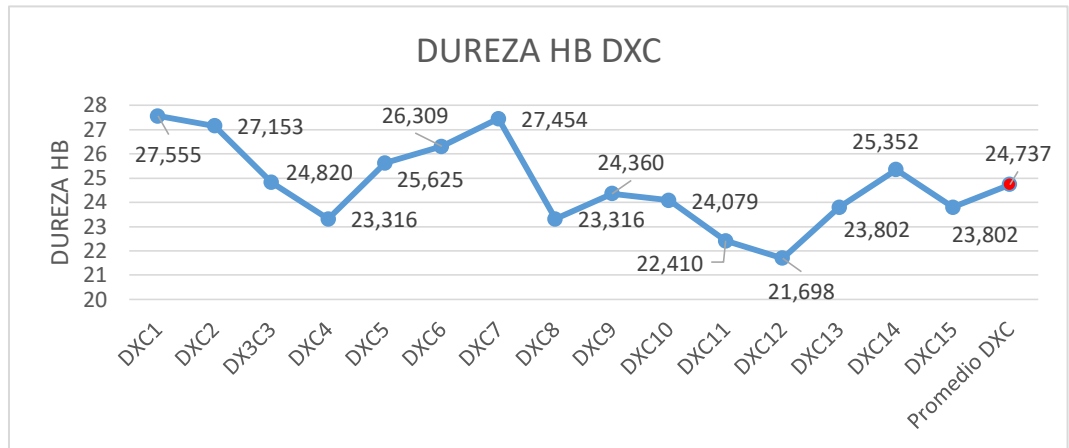
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECANICA		 <b>Reg:DXC,#(1-15)</b>								
	<b>ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)</b>										
<b>REGISTRO DE EXAMEN DE DUREZA PARA MATERIAL OBTENIDO POR EL MÉTODO DE P/M; con Fracción Volumétrica (70% Al 1060 combinado con 30% Babbit ASTM b 23 alloy 2).</b>											
Laboratorio	Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica FICM-UTA										
Equipo	Hardness Tester model HBRV-187,5										
Tipo de ensayo	Dureza Brinell (HB)	Ciudad	Ambato								
Norma	ASTM E 10	Fecha	07/11/2017								
<b>TIPO DE MATERIAL</b>											
Material #1	Babbit ASTM b 23 alloy 2	Material #2	Al 1060								
% Material	30%	% Material	70%								
<b>CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL</b>											
Granulometría	Forma de granos Mixtos	Tamaño Partículas	45um - 63um								
P compactación	270 Mpa	T Sinterizado	660°C								
<b>CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO</b>											
Espesor muestra	5 mm	Diámetro bola	5 mm								
Distancia Al Borde	≥ 2 mm	Distancia Entre penetraciones	≥ 2 mm								
Fórmula HB	$HB = 0.102 * \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	Fuerza aplicada	612,9 N								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"><b>Elaborado por:</b></td> <td style="width: 25%;">Sr. Andrés Beltrán</td> <td style="width: 25%;"><b>Aprobado por:</b></td> <td style="width: 25%;">Ing. Mg. Gonzalo López</td> </tr> <tr> <td><b>Revisado por:</b></td> <td>Ing. Jorge Mera.</td> <td><b>Validado por:</b></td> <td>Ing. Mg. Gonzalo López</td> </tr> </table>				<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López								
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López								

**DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE DUREZA BRINELL**

<b>Nombre Huella.</b>	<b>Fuerza aplicada (N)</b>	<b>Dureza Obtenida (HB)</b>	<b>Error (<math>\bar{H}-H</math>)</b>
<b>DXC1</b>	612,9	27,555	-2,819
<b>DXC2</b>	612,9	27,153	-2,416
<b>DX3C3</b>	612,9	24,820	-0,083
<b>DXC4</b>	612,9	23,316	1,421
<b>DXC5</b>	612,9	25,625	-0,888
<b>DXC6</b>	612,9	26,309	-1,573
<b>DXC7</b>	612,9	27,454	-2,717
<b>DXC8</b>	612,9	23,316	1,421
<b>DXC9</b>	612,9	24,360	0,377
<b>DXC10</b>	612,9	24,079	0,658
<b>DXC11</b>	612,9	22,410	2,326
<b>DXC12</b>	612,9	21,698	3,039
<b>DXC13</b>	612,9	23,802	0,935
<b>DXC14</b>	612,9	25,352	-0,616
<b>DXC15</b>	612,9	23,802	0,935
<b>Promedio DXC</b>	<b>612,9</b>	<b>24,737</b>	<b>1,482</b>

**GRÁFICAS DE RESULTADOS**





Observación	Evaluación
* La distribución de los datos muestran una separación marcada, la cual puede ser causada por la compactación del material.	* Del promedio del total de las huellas de penetración se obtiene que el material analizado consta con una DUREZA BRINELL DE 34,579 HB.
* Las huellas de penetración XC9 y XC12 muestran los valores inferiores del ensayo de dureza del material.	* Conforme a la norma ASTM E 10 para durezas Brinell de 25 HB, el porcentaje de <b>error</b> no debe superar el valor de 2,25; Por tal motivo el analizas realizado en este material cumple con esta limitación debido a que el error calculado es de <b>1,482</b> el cual se encuentra dentro del valor aceptable.
* Las penetraciones de bola XC1 y XC7 son los picos más altos del ensayo de dureza Brinell.	
* En total se tiene 15 penetraciones de bola correspondientes al material obtenido por P/M en 30% Babbit ASTM b 23 Alloy 2 con 70% Al 1060	

(Fuente: Autor)

<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

#### 4.4.2 ENSAYO A DESGASTE

En el ensayo a desgaste del material obtenido por el método de P/M aluminio con Babbit se utilizaron 6 probetas las cuales fueron ensayadas bajo la norma ASTM G 105, en la cual se verificó que el ensayo cuente con todos los parámetros planteados por dicha norma, en la cual tenemos que realizar el cálculo del error comparando el número de muestras y el porcentaje máximo para un grupo “n” de especímenes de un mismo grupo de material; en la figura 33 se observa el equipo completo que permite realizar el ensayo de desgaste, mientras que en la figura 34 se muestra el grupo de probetas listas para realizar el ensayo propuesto.



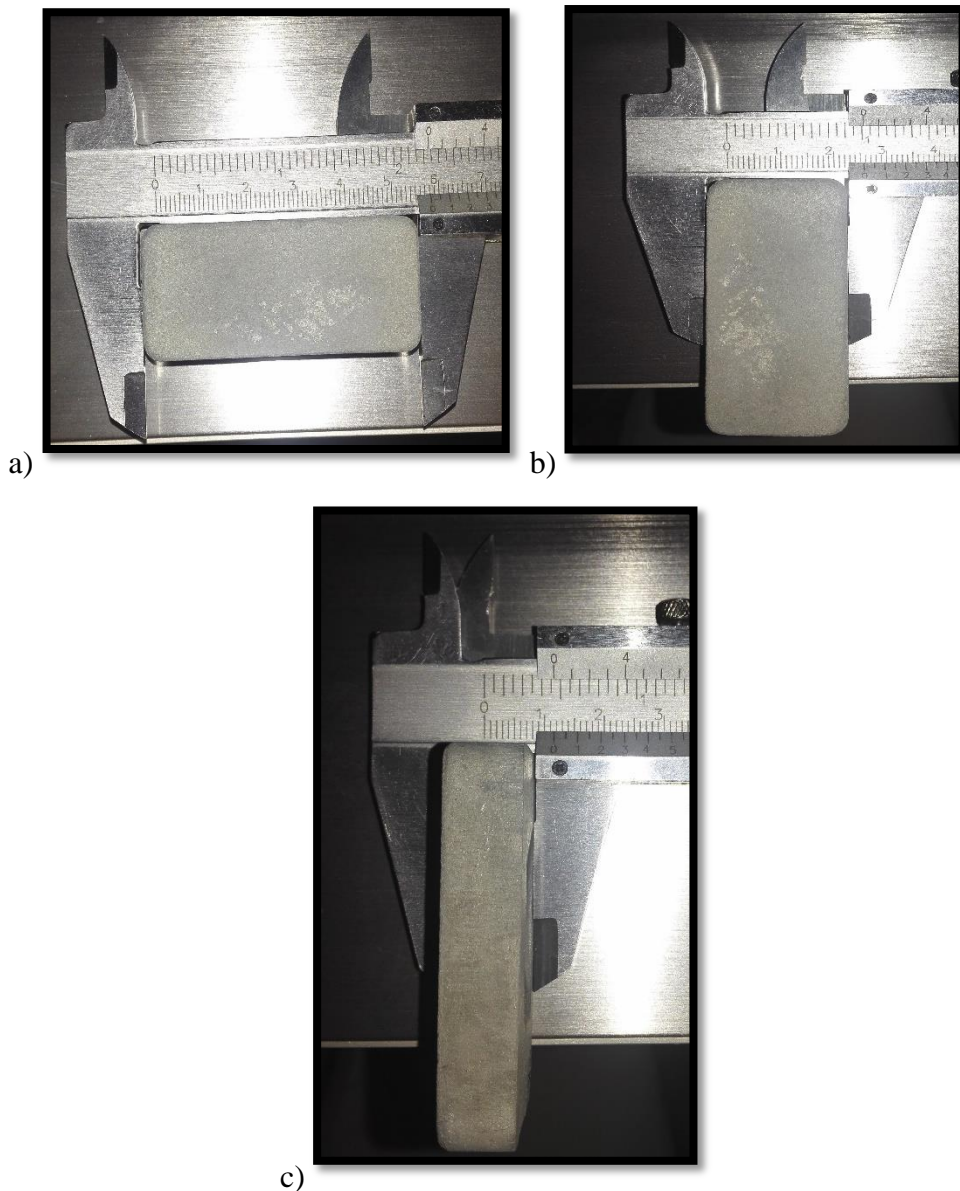
*Figura 33 Máquina de desgaste en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica FICM-UTA  
(Fuente: Autor)*



*Figura 34 Probetas de desgaste realizadas bajo las Norma ASTM G 105  
(Fuente: Autor)*

#### 4.4.2.1 ENSAYO A DESGASTE BAJO LA NORMA ASTM G 105

Para realizar el ensayo debemos tomar en cuenta las recomendaciones de que cada probeta deberá tener un espesor de entre 6.4 mm hasta 15.9 mm, una anchura de 25.4 mm y una longitud de 57.2 mm; en la figura 35 se evidencian momentos en los cuales se realiza el control de las dimensiones de las probetas, puesto que las mismas deben cumplir con lo especificado en la norma, esto; entre otros parámetros enunciados que se detallan y explican en las “Fichas de datos 4, 5 y 6”.



*Figura 35 a), b) y c) Representación del control de dimensiones de probetas preparadas para ensayo a desgaste ASTM G 105.*

*(Fuente: Autor)*

Después de haber realizado el ensayo de desgaste con las especificaciones que este presenta, procedemos a cuantificar los mismos; mediante la aplicación de la siguiente fórmula; resultados que una vez obtenidos se registran en la denominada ficha de datos y resultados:

**a) DESGASTE**

•  $Volumen\ perdido\ mm^3 = \frac{Masa\ perdida\ (g)*1000}{Densidad(\frac{g}{cm^3})}$  *Ecuación 10*

• Desviación Estándar :  $S = \sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 / (n - 1)}$  *Ecuación 11*



• Coeficiente de Variación “Error”:  $V = \left(\frac{S}{\bar{X}}\right) * 100$  *Ecuación 12*

#### **4.4.2.2 TABULACIÓN Y RECOLECCIÓN DE DATOS**

Los datos obtenidos en la realización del ensayo a desgaste por el método de prueba estándar para ensayar pruebas a abrasión de arena húmeda bajo la norma ASTM G 105 fueron realizadas con los parámetros, características y limitaciones que determina la norma. Los resultados fueron recolectados y tabulados con sumo cuidado y procurando la mayor precisión posible puesto que al estar correctamente ubicados en las fichas de datos 4,5,6, permitirán facilidad y claridad en la tarea de interpretación y realización de imágenes para representar de manera más vistosa los resultados obtenidos, tal y como se muestra a continuación.



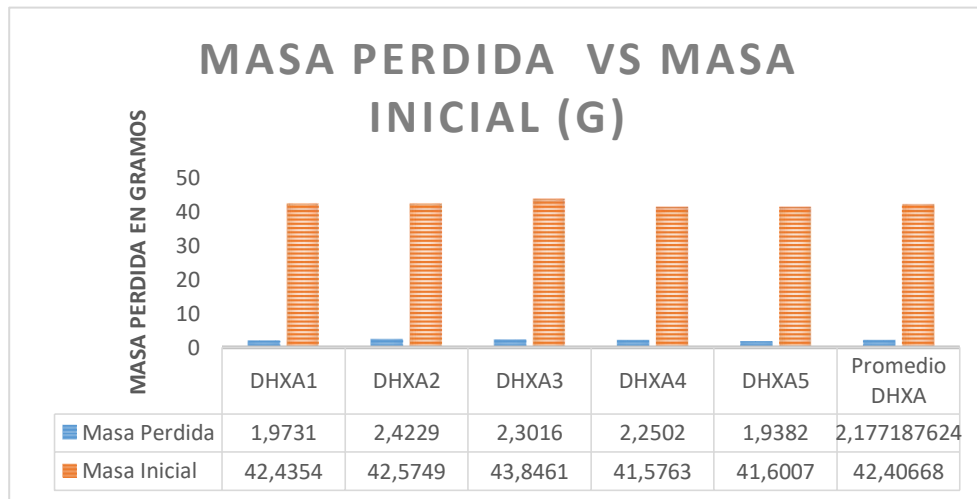
*Ficha de Datos 4 Presentación de recolección de información del ensayo de Desgaste DHXA del material obtenido por P/M 10% Babbit ASTM b 23 alloy 2 con 90% Al 1060.*

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
<b>Reg:</b> DHXA, (1-15)			
<b>ENSAYO DE DESGASTE</b>			
<b>REGISTRO DE EXAMEN DE DESGASTE PARA MATERIAL OBTENIDO POR EL MÉTODO DE P/M; con Fracción Volumétrica (90% Al 1060 combinado con 10% Babbit ASTM b 23 alloy 2).</b>			
<b>Laboratorio</b>	Laboratorios de Carrera de Ingeniería Mecánica de la FICM - UTA		
<b>Equipo</b>	Máquina de desgaste		
<b>Ensayo</b>	Desgaste	<b>Ciudad</b>	Ambato
<b>Norma</b>	ASTM G 105	<b>Fecha</b>	28/11/2017
<b>TIPO DE MATERIAL</b>			
<b>Material #1</b>	Babbit ASTM b 23 alloy 2	<b>Material #2</b>	Al 1060
<b>% Material</b>	10 %	<b>% Material</b>	90 %
<b>CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL</b>			
<b>Granulometría</b>	Forma de granos Mixtos	<b>Tamaño Partículas</b>	45 um - 63 um
<b>P compactación</b>	270 Mpa	<b>T Sinterizado</b>	660°C
<b>CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO</b>			
<b>Tipo de ensayo</b>	Cuantitativo	<b>Tipo de probetas</b>	Plana
<b>Peso. (4 decimales)</b>	0,0001 g	<b>Precarga</b>	222 N
<b>Dimensiones</b>	Cumple criterios dimensionales	<b>Revoluciones</b>	1000 rpm
<b>Arena cuarzo redondeado</b>	1,5 kg	<b>Agua des ionizada</b>	0,940 kg

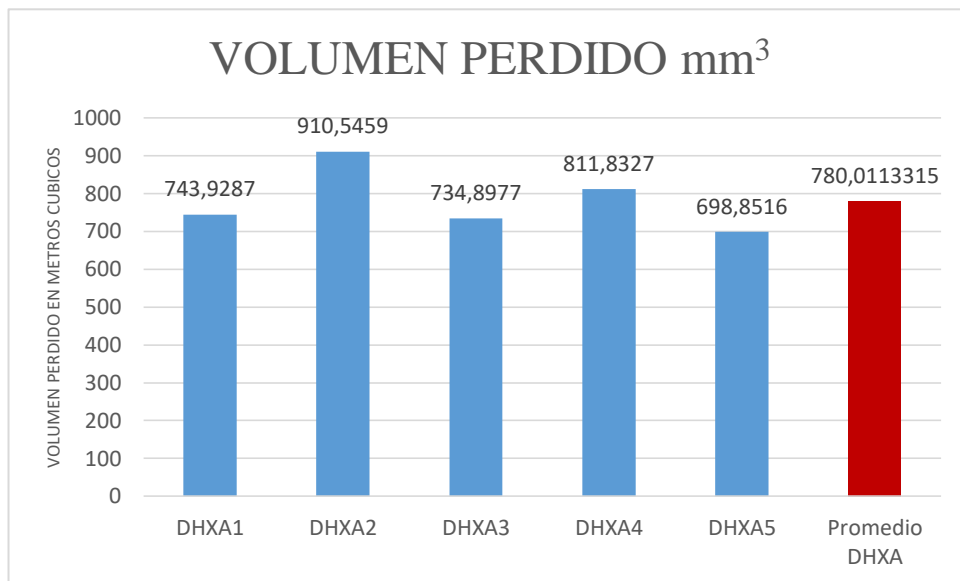
**DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN  
UTILIZANDO LA NORMA G 105**

Nombre Probeta.	Masa Inicial (g)	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Masa Perdida (g)	Volumen Perdido mm <sup>3</sup>	$\bar{X}-X^{\sim}$
DHXA1	42,4354	2,6522	1,9731	743,9287	-0,2041
DHXA2	42,5749	2,6609	2,4229	910,5459	0,2457
DHXA3	43,8461	3,1319	2,3016	734,8977	0,1244
DHXA4	41,5763	2,7718	2,2502	811,8327	0,0730
DHXA5	41,6007	2,7734	1,9382	698,8516	-0,2390
<b>Promedio DHXA</b>	<b>42,4067</b>	<b>2,7980</b>	<b>2,1772</b>	<b>780,0113</b>	<b>0,1773</b>
<b>Desviación Estándar S=</b>	<b>0,0886</b>		<b>Error (Coef. Varia.) V=</b>	<b>4,0707 %</b>	

**GRÁFICAS DE RESULTADOS**



<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López



#### Observación

\* Las probetas ensayadas presentaron un buen comportamiento al momento de realizar el ensayo, recalcando que las muestras cumplen con criterios dimensionales, y los resultados de cada grupo de muestras exhibieron resultados coherentes dentro del mismo.



#### Evaluación

\* Del ensayo realizado se obtiene que el material estudiado perdió 780.113 mm<sup>3</sup>, y una masa perdida de 2.1772 g en promedio; con lo cual se obtiene un porcentaje de error correspondiente a 4.0707 %; que de acuerdo a la norma, el error máximo puede ser de 4.30 %; con estos resultados se presenta un error aceptable para el ensayo bajo norma ASTM G 105, debido a que el error calculado es menor al permitido.

(Fuente: Autor)

<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

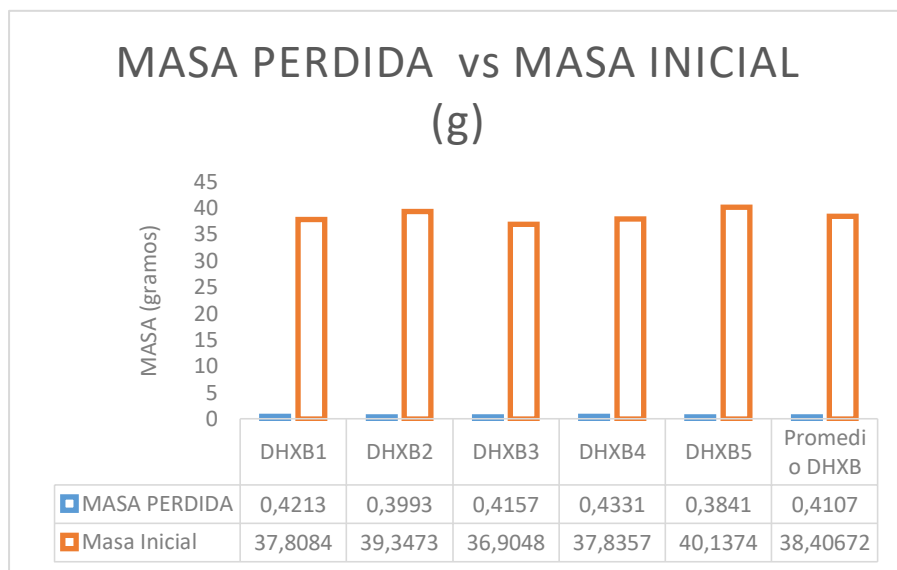
*Ficha de Datos 5 Presentación de recolección de información del ensayo de Desgaste DHXB del material obtenido por P/M 10% Babbit ASTM b 23 alloy 2 con 90% Al 1060.*

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
<b>Reg: DHXB, (1-15)</b>			
<b>ENSAYO DE DESGASTE</b>			
<b>REGISTRO DE EXAMEN DE DESGASTE PARA MATERIAL OBTENIDO POR EL MÉTODO DE P/M; con Fracción Volumétrica (80% Al 1060 combinado con 20% Babbit ASTM b 23 alloy 2).</b>			
<b>Laboratorio</b>	Laboratorios de Carrera de Ingeniería Mecánica de la FICM - UTA		
<b>Equipo</b>	Máquina de desgaste		
<b>Ensayo</b>	Desgaste	<b>Ciudad</b>	Ambato
<b>Norma</b>	ASTM G 105	<b>Fecha</b>	28/11/2017
<b>TIPO DE MATERIAL</b>			
<b>Material #1</b>	Babbit ASTM b 23 alloy 2	<b>Material #2</b>	Al 1060
<b>% Material</b>	20 %	<b>% Material</b>	80 %
<b>CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL</b>			
<b>Granulometría</b>	Forma de granos Mixtos	<b>Tamaño Partículas</b>	45um - 63um
<b>P compactación</b>	270 Mpa	<b>T Sinterizado</b>	660°C
<b>CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO</b>			
<b>Tipo de ensayo</b>	Cuantitativo	<b>Tipo de probetas</b>	Plana
<b>Peso. (4 decimales)</b>	0,0001 g	<b>Precarga</b>	222 N
<b>Dimensiones</b>	Cumple criterios dimensionales	<b>Revoluciones</b>	1000 rpm
<b>Arena cuarzo redondeado</b>	1,5 kg	<b>Agua des ionizada</b>	0,940 kg

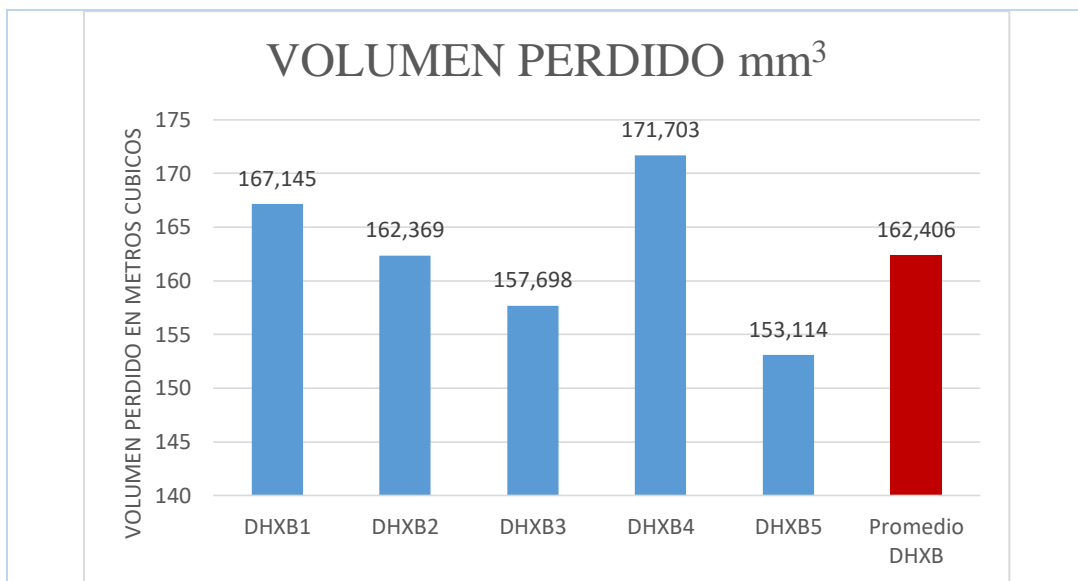
**DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN  
UTILIZANDO LA NORMA G 105**

Nombre Probeta.	Masa Inicial (g)	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Masa Perdida (g)	Volumen Perdido (mm <sup>3</sup> )	$\bar{X}-X^{\sim}$
DHXB1	37,8084	2,5206	0,4213	167,145	0,0106
DHXB2	39,3473	2,4592	0,3993	162,369	-0,0114
DHXB3	36,9048	2,6361	0,4157	157,698	0,0050
DHXB4	37,8357	2,5224	0,4331	171,703	0,0224
DHXB5	40,1374	2,5086	0,3841	153,114	-0,0266
<b>Promedio DHXB</b>	<b>38,4067</b>	<b>2,5294</b>	<b>0,4107</b>	<b>162,406</b>	<b>0,0152</b>
<b>Desviación Estándar S=</b>	<b>0,0076</b>		<b>Error (Coef. Varia.) V=</b>	<b>1,851 %</b>	

**GRÁFICAS DE RESULTADOS**



<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López





Observación	Evaluación
<p>* Las probetas ensayadas presentaron un buen comportamiento al momento de realizar el ensayo, recalando que las muestras cumplen con criterios dimensionales, y los resultados de cada grupo de muestras exhibieron resultados coherentes dentro del mismo.</p>	<p>* Del ensayo realizado se obtiene que el material estudiado perdió 162.406 mm<sup>3</sup>, y una masa perdida de 0.4107 g en promedio; con lo cual se obtiene un porcentaje de error correspondiente a 1.851 %; que de acuerdo a la norma, el error máximo puede ser de 4.30 %; con estos resultados se presenta un error aceptable para el ensayo bajo norma ASTM G 105, debido a que el error calculado es menor al permitido.</p>

(Fuente: Autor)

<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

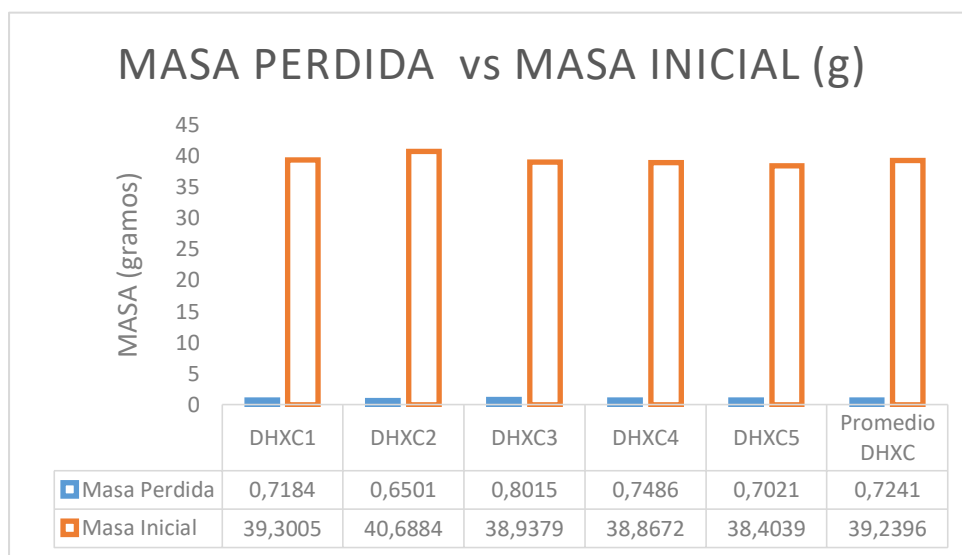
*Ficha de Datos 6 Presentación de recolección de información del ensayo de Dureza DXA del material obtenido por P/M 10% Babbit ASTM b 23 alloy 2 con 90% Al 1060.*

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
<b>ENSAYO DE DESGASTE</b>			
<b>REGISTRO DE EXAMEN DE DESGASTE PARA MATERIAL OBTENIDO POR EL MÉTODO DE P/M; con Fracción Volumétrica (70% Al 1060 combinado con 30% Babbit ASTM b 23 alloy 2).</b>			
<b>Laboratorio</b>	Laboratorios de Carrera de Ingeniería Mecánica de la FICM - UTA		
<b>Equipo</b>	Máquina de desgaste		
<b>Ensayo</b>	Desgaste	<b>Ciudad</b>	Ambato
<b>Norma</b>	ASTM G 105	<b>Fecha</b>	28/11/2017
<b>TIPO DE MATERIAL</b>			
<b>Material #1</b>	Babbit ASTM b 23 alloy 2	<b>Material #2</b>	Al 1060
<b>% Material</b>	30 %	<b>% Material</b>	70 %
<b>CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL</b>			
<b>Granulometría</b>	Forma de granos Mixtos	<b>Tamaño Partículas</b>	45 um – 63 um
<b>P compactación</b>	270 Mpa	<b>T Sinterizado</b>	660°C
<b>CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO</b>			
<b>Tipo de ensayo</b>	Cuantitativo	<b>Tipo de probetas</b>	Plana
<b>Peso. (4 decimales)</b>	0,0001 g	<b>Precarga</b>	222 N
<b>Dimensiones</b>	Cumple criterios dimensionales	<b>Revoluciones</b>	1000 rpm
<b>Arena cuarzo redondeado</b>	1,5 kg	<b>Agua desionizada</b>	0,940 kg

**DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN  
UTILIZANDO LA NORMA G 105**

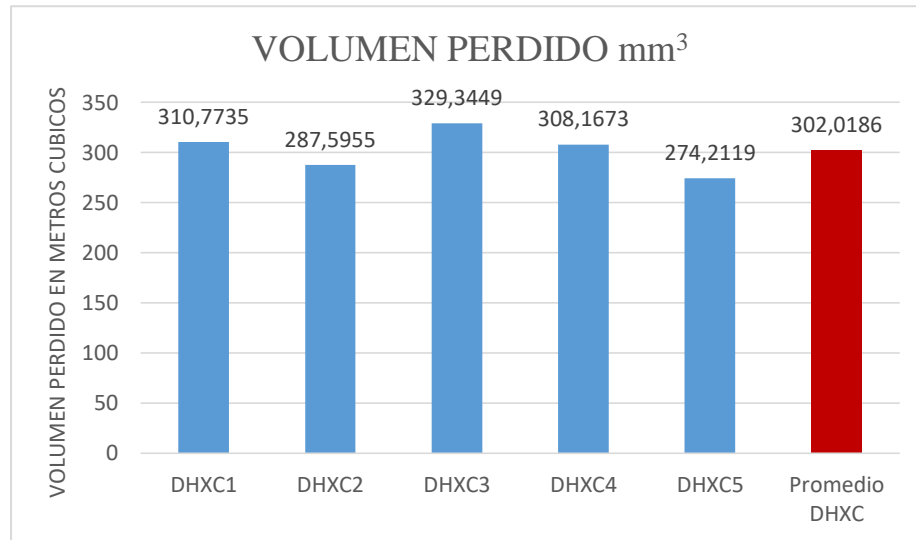
Nombre Probeta.	Masa Inicial (g)	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Masa Perdida (g)	Volumen Perdido (mm <sup>3</sup> )	$\bar{X}-X$
DHXC1	39,3005	2,3118	0,7184	310,7735	-0,0057
DHXC2	40,6884	2,2605	0,6501	287,5955	-0,0740
DHXC3	38,9379	2,4336	0,8015	329,3449	0,0774
DHXC4	38,8672	2,4292	0,7486	308,1673	0,0245
DHXC5	38,4039	2,5603	0,7021	274,2119	-0,0221
<b>Promedio DHXC</b>	<b>39,2396</b>	<b>2,3991</b>	<b>0,7241</b>	<b>302,0186</b>	<b>0,0407</b>
<b>Desviación Estándar S=</b>	<b>0,0203</b>			<b>Error (Coef. Varia.) V=</b>	<b>2,8122</b>

**GRÁFICAS DE RESULTADOS**



<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López





Observación	Evaluación
* Las probetas ensayadas presentaron un buen comportamiento al momento de realizar el ensayo, recalando que las muestras cumplen con criterios dimensionales, y los resultados del cada grupo de muestras exhibieron resultados coherentes dentro del mismo.	* Del ensayo realizado se obtiene que el material estudiado perdió 302.0186 mm <sup>3</sup> , y una masa perdida de 0.7241 g en promedio; con lo cual se obtiene un porcentaje de error correspondiente a 2.8122 %; que de acuerdo a la norma, el error máximo puede ser de 4.30 %; con estos resultados se presenta un error aceptable para el ensayo bajo norma ASTM G 105, debido a que el error calculado es menor al permitido.

(Fuente: Autor)

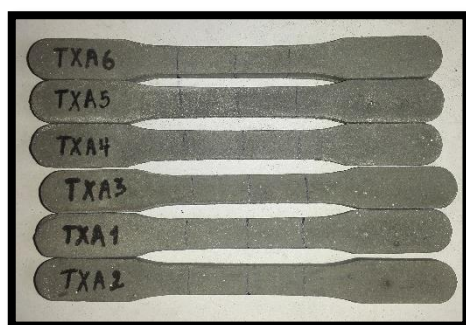
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

### 4.4.3 ENSAYO A TRACCIÓN

Para el ensayo a tracción se realizó la construcción de siete probetas, las cuales cumplen lo determinado en la Norma ASTM E 8 M respecto a las dimensiones y parámetros que en ella se enuncian. En aplicación de la norma, se procedió a realizar el ensayo a cinco probetas, mismas que son la cantidad mínima de muestras que se permite para que este tipo de ensayo sea reconocido y validado, en la figura 36 se muestra la máquina universal utilizada en la realización de los ensayos a tracción; igualmente en la figura 37 se muestran las probetas preparadas para el ensayo.



*Figura 36 Máquina Universal ensayo a tracción  
(Fuente: Autor)*



a)



b)



c)

**Figura 37** Probetas del material obtenido por P/M para ensayo a tracción, a) grupo TXA; b) TXB; c) TXC  
(Fuente: Autor)

#### 4.4.3.1 ENSAYO A TRACCIÓN USANDO LA NORMA ASTM E 8 M

El ensayo de tracción fue realizado en el Centro de Fomento Productivo Carrocero de la ciudad de Ambato, proceso que, al ser de un material metálico obtenido a través del P/M no necesita de ningún tipo de preparación adicional, razón por la cual empezamos comprobando las dimensiones de la probeta, tal y como se muestra en la figura 38; adicionalmente se muestra el control de las dimensiones otorgadas en el norma y comparadas con las reales obtenidas en la construcción.



**Figura 38** Control de dimensiones de probetas para ensayo a Tracción bajo norma ASTM E 8 M.  
(Fuente: Autor)

Una vez realizado el ensayo a tracción y considerando las propiedades del material de P/M se procede aplicar las fórmulas y definiciones que son evidenciadas y expresadas en la sección 2.1.3.3.1; así tenemos:

**a) Esfuerzo máximo a tracción**

El esfuerzo máximo a tracción se obtuvo gracias a la aplicación de la ecuación 1.

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{A}$$

**b) Porcentaje de deformación**

Esta característica del material Babbitt con aluminio obtenido por el proceso de P/M se obtuvo aplicando la ecuación número 3 y 4.

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_i}{l_i}$$

$$\% \text{ de deformación} = \frac{l_f - l_i}{l_i} * 100$$

**c) Módulo de elasticidad**



Esta característica del material se obtuvo mediante la aplicación de la ecuación 5, que igualmente consta en la sección 2.1.3.3.1.

$$E = \frac{\sigma_{\max}}{\varepsilon}$$

**4.4.3.2 TABULACIÓN Y RECOLECCIÓN DE DATOS**

El ensayo de probetas del material Babbitt con aluminio, al amparo de la norma E 8M-00; fue realizado con los parámetros y estándares de calidad que se manejan en los laboratorios del Centro de Fomento Productivo Carrocero de la ciudad de Ambato, obteniendo datos muy interesantes que los tabulamos y registramos en las fichas de datos 7,8,9, las cual se presentan a continuación y que por su alta precisión facilitan la realización de imágenes y diagramas para la interpretación y presentación de dichos datos.

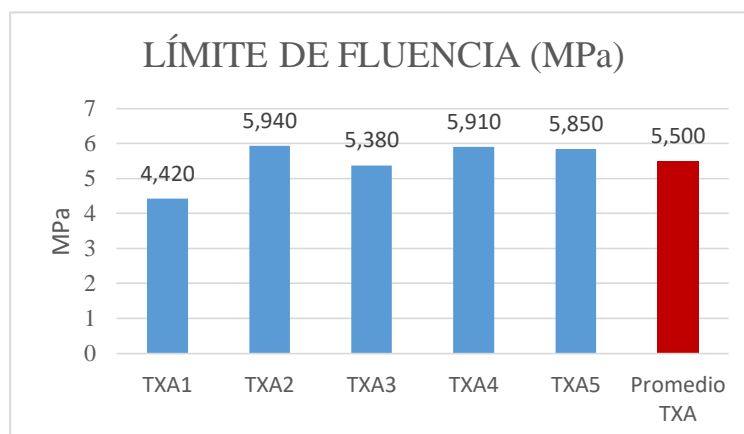
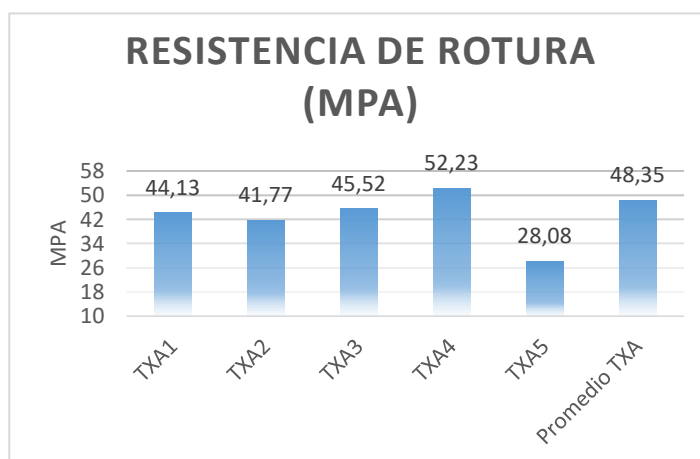
*Ficha de Datos 7 Presentación de recolección de información del ensayo de Tracción TXA del material obtenido por P/M 10% Babbit ASTM b 23 alloy 2 con 90% Al 1060.*

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			 <b>Reg:</b> TXA,#(1-15)
	<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>			
<b>REGISTRO DE EXAMEN DE TRACCIÓN PARA MATERIAL OBTENIDO POR EL MÉTODO DE P/M; con Fracción Volumétrica (90% Al 1060 combinado con 10% Babbit ASTM b 23 alloy 2).</b>				
<b>Laboratorio</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero			
<b>Equipo</b>	Máquina Universal de Ensayos Metro test 50 kN			
<b>Ensayo</b>	Tracción	<b>Ciudad</b>	Ambato	
<b>Norma</b>	ASTM E8	<b>Fecha</b>	15/11/2017	
<b>TIPO DE MATERIAL</b>				
<b>Material #1</b>	Babbit ASTM b 23 alloy 2	<b>Material #2</b>	Al 1060	
<b>% Material</b>	10%	<b>% Material</b>	90%	
<b>CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL</b>				
<b>Granulometría</b>	Forma de granos Mixtos	<b>Tamaño Partículas</b>	45um - 63um	
<b>P compactación</b>	270 Mpa	<b>T Sinterizado</b>	660°C	
<b>CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO</b>				
<b>Tipo de ensayo</b>	Cuantitativo	<b>Tipo de probetas</b>	Plana	
<b>Velocidad ensayo</b>	10mm/min	<b>Precarga</b>	100 N	
<b>Dimensiones</b>	Cumple criterios dimensionales	<b>Longitud calibrada</b>	25,4mm	
<b>Temperatura ensayo</b>	19°C	<b>Humedad Relativa</b>	73%	
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	
<b>Revisado por:</b>	Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	

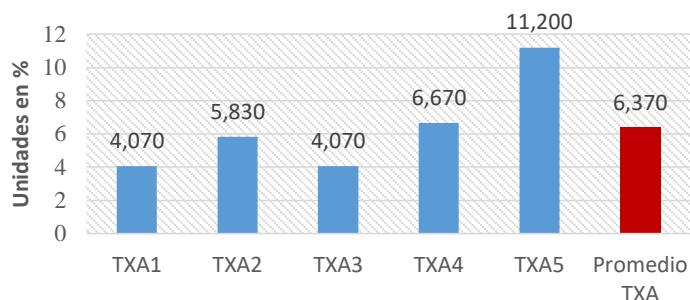
**DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN  
UTILIZANDO LA NORMA E8**

<b>Nombre Probeta.</b>	<b>Fuerza de Rotura (N)</b>	<b>Fuerza de Fluencia (N)</b>	<b>Resistencia de Rotura (MPa)</b>	<b>Límite de Fluencia (MPa)</b>	<b>Módulo de Young (MPa)</b>	<b>% Elongación</b>
<b>TXA1</b>	1274,87	127,8	44,13	4,420	1084,275	4,070
<b>TXA2</b>	1175,47	167,25	41,77	5,940	716,467	5,830
<b>TXA3</b>	1227,53	145,16	45,52	5,380	1118,428	4,070
<b>TXA4</b>	1478,4	167,26	52,23	5,910	783,058	6,670
<b>TXA5</b>	1644,07	166,67	28,08	5,850	250,714	11,200
<b>Promedio TXA</b>	<b>1360,07</b>	<b>154,83</b>	<b>48,35</b>	<b>5,500</b>	<b>759,027</b>	<b>6,370</b>

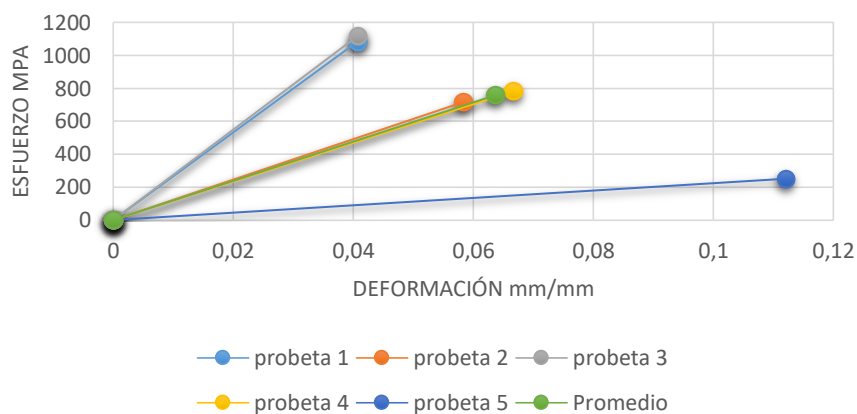
**GRÁFICAS DE RESULTADOS**



## PORCENTAJE DE ELONGACIÓN (%)



## ESFUERZO VS DEFORMACIÓN



### Observación

- Todas las probetas cumplen con los criterios dimensionales.
- El grupo de seis probetas, las probetas 1, 2, 5 presenta ruptura en la zona calibrada, 3, 4, 6 presentan ruptura después del agarre
- Se realizó el ensayo a seis probetas, de las cuales se reporta cinco.



### Evaluación

- El grupo ensayado presenta el siguiente comportamiento:  
Resistencia de Rotura 48.35 MPa,  
Límite de Fluencia 5.5 MPa,  
Modulo de Young 759.027 MPa.

(Fuente: Autor)-

<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

*Ficha de Datos 8 Presentación de recolección de información del ensayo de Tracción TXB del material obtenido por P/M 20% Babbit ASTM b 23 alloy 2 con 80% Al 1060.*

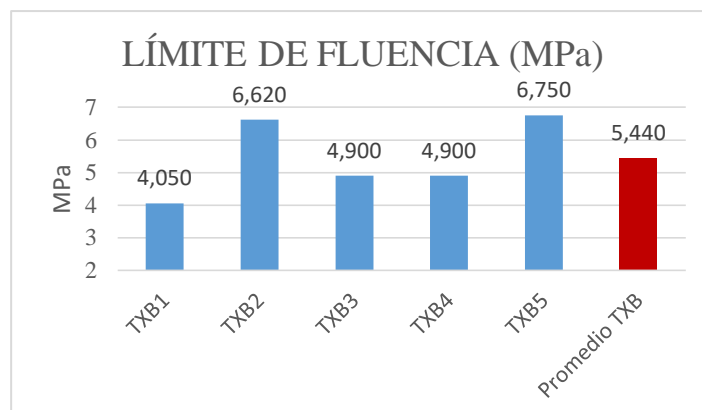
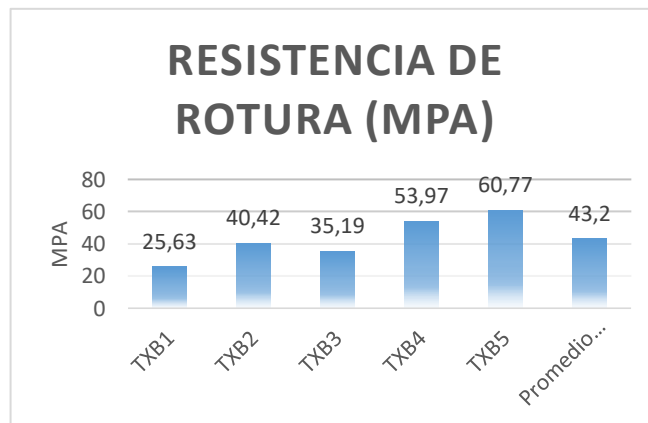
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		 <b>Reg:</b> TXB,#(1-15)
	<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>		
<b>REGISTRO DE EXAMEN DE TRACCIÓN PARA MATERIAL OBTENIDO          POR EL MÉTODO DE P/M; con Fracción Volumétrica (80% Al 1060          combinado con 20% Babbit ASTM b 23 alloy 2).</b>			
<b>Laboratorio</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
<b>Equipo</b>	Máquina Universal de Ensayos Metro test 50 kN		
<b>Ensayo</b>	Tracción	<b>Ciudad</b>	Ambato
<b>Norma</b>	ASTM E8	<b>Fecha</b>	15/11/2017
<b>TIPO DE MATERIAL</b>			
<b>Material #1</b>	Babbit ASTM b 23 alloy 2	<b>Material #2</b>	Al 1060
<b>% Material</b>	20%	<b>% Material</b>	80%
<b>CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL</b>			
<b>Granulometría</b>	Forma de granos Mixtos	<b>Tamaño Partículas</b>	45 um – 63 um
<b>P compactación</b>	270 Mpa	<b>T Sinterizado</b>	660°C
<b>CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO</b>			
<b>Tipo de ensayo</b>	Cuantitativo	<b>Tipo de probetas</b>	Plana
<b>Velocidad ensayo</b>	10 mm/min	<b>Precarga</b>	100 N
<b>Dimensiones</b>	Cumple criterios dimensionales	<b>Longitud calibrada</b>	25,4 mm
<b>Temperatura ensayo</b>	19°C	<b>Humedad Relativa</b>	70%
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

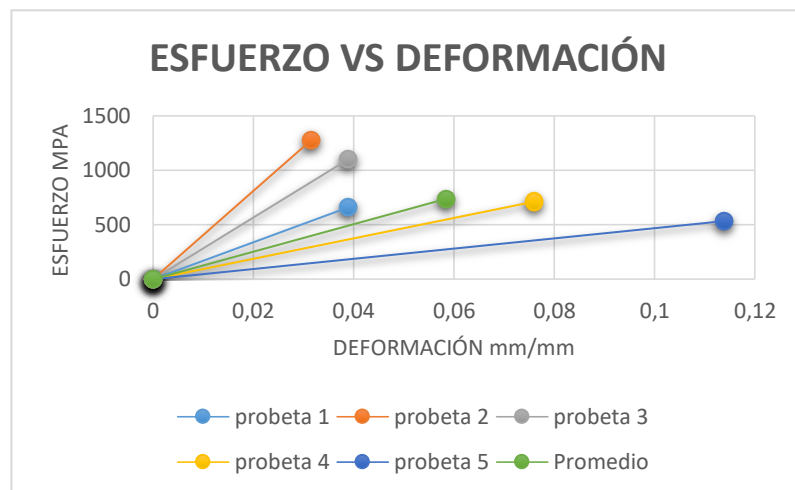
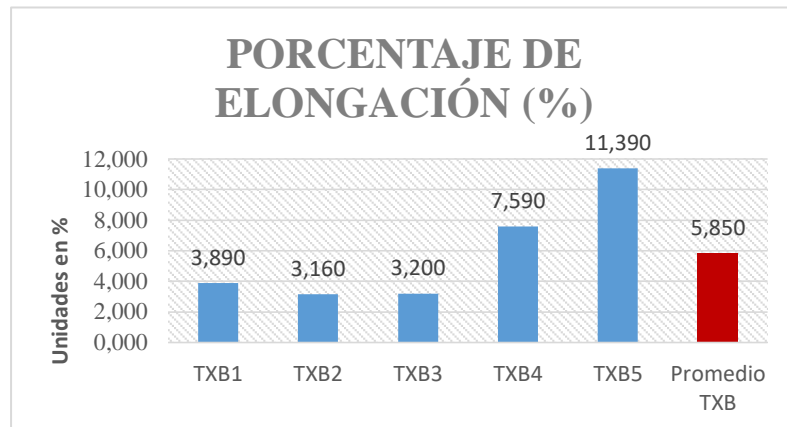


**DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN  
UTILIZANDO LA NORMA E8**

<b>Nombre Probeta.</b>	<b>Fuerza de Rotura (N)</b>	<b>Fuerza de Fluencia (N)</b>	<b>Resistencia de Rotura (MPa)</b>	<b>Límite de Fluencia (MPa)</b>	<b>Módulo de Young (MPa)</b>	<b>% Elongación</b>
TXB1	798,37	126,22	25,63	4,050	658,869	3,890
TXB2	1166	190,91	40,42	6,620	1279,114	3,160
TXB3	894,62	124,65	35,19	4,900	1099,688	3,200
TXB4	1564,18	142	53,97	4,900	711,067	7,590
TXB5	1634,61	181,45	60,77	6,750	533,538	11,390
<b>Promedio TXB</b>	<b>1211,76</b>	<b>153,05</b>	<b>43,2</b>	<b>5,440</b>	<b>738,462</b>	<b>5,850</b>

**GRÁFICAS DE RESULTADOS**







Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>Todas las probetas cumplen con los criterios dimensionales.</li> <li>El grupo de seis probetas, las probetas 1, 4, 5 presenta ruptura en la zona calibrada, 2, 3, 6 presentan ruptura después del agarre.</li> <li>Se realizó el ensayo a seis probetas, de las cuales se reporta cinco.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El grupo ensayado presenta el siguiente comportamiento: Resistencia de Ruptura 43.2 MPa, Límite de Fluencia 5.44 MPa, Modulo de Young 738.462 MPa.</li> </ul>

(Fuente: Autor)-

<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

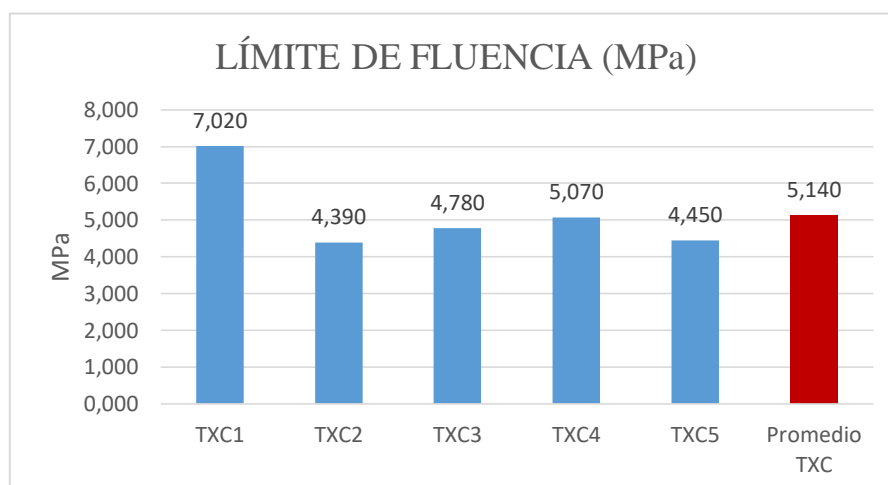
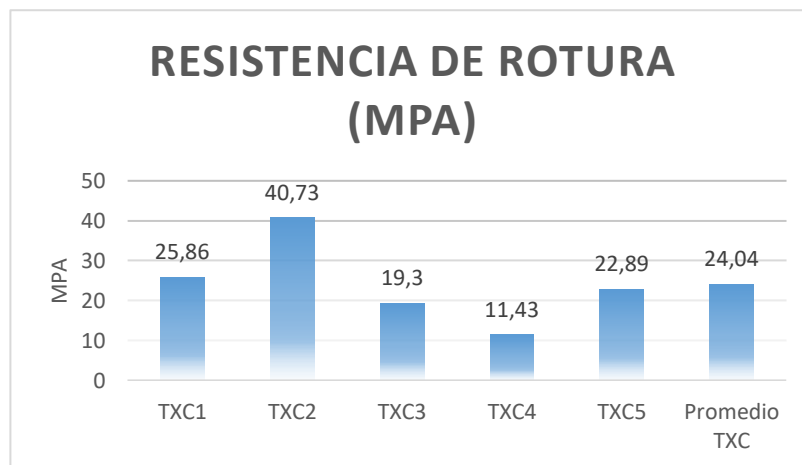
*Ficha de Datos 9 Presentación de recolección de información del ensayo de Tracción TXA del material obtenido por P/M 30% Babbit ASTM b 23 alloy 2 con 70% Al 1060.*

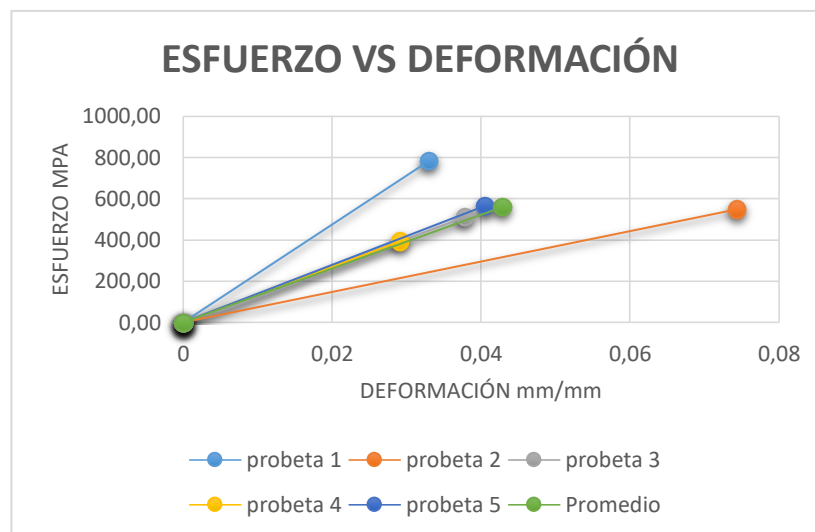
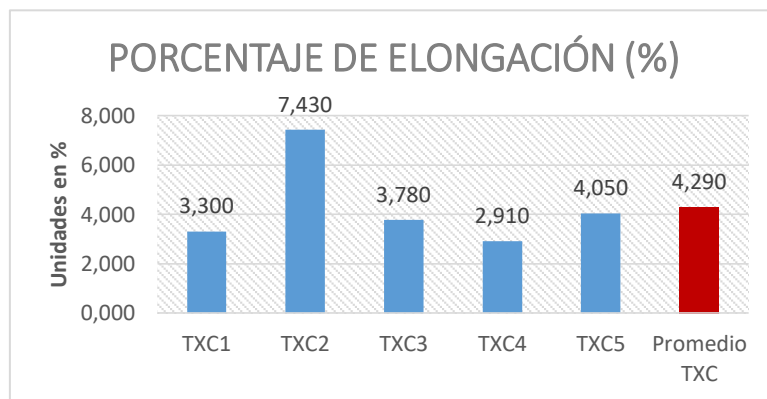
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>			
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
				<b>Reg:</b> TXC,#(1-15)
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>				
<b>REGISTRO DE EXAMEN DE TRACCIÓN PARA MATERIAL OBTENIDO POR EL MÉTODO DE P/M; con Fracción Volumétrica (70% Al 1060 combinado con 30% Babbit ASTM b 23 alloy 2).</b>				
<b>Laboratorio</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero			
<b>Equipo</b>	Máquina Universal de Ensayos Metro test 50 kN			
<b>Ensayo</b>	Tracción	<b>Ciudad</b>	Ambato	
<b>Norma</b>	ASTM E8	<b>Fecha</b>	15/11/17	
<b>TIPO DE MATERIAL</b>				
<b>Material #1</b>	Babbit ASTM b 23 alloy 2	<b>Material #2</b>	Al 1060	
<b>% Material</b>	30%	<b>% Material</b>	70%	
<b>CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL</b>				
<b>Granulometría</b>	Forma de granos Mixtos	<b>Tamaño Partículas</b>	45 um – 63 um	
<b>P compactación</b>	270 Mpa	<b>T Sinterizado</b>	660°C	
<b>CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO</b>				
<b>Tipo de ensayo</b>	Cuantitativo	<b>Tipo de probetas</b>	Plana	
<b>Velocidad ensayo</b>	10 mm/min	<b>Precarga</b>	100 N	
<b>Dimensiones</b>	Cumple criterios dimensionales	<b>Longitud calibrada</b>	25,4 mm	
<b>Temperatura ensayo</b>	19°C	<b>Humedad Relativa</b>	73%	
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	
<b>Revisado por:</b>	Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	

**DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN  
UTILIZANDO LA NORMA E8**

Nombre Probeta	Fuerza de Rotura (N)	Fuerza de Fluencia (N)	Resistencia de Rotura (MPa)	Límite de Fluencia (MPa)	Módulo de Young (MPa)	% Elongación
TXC1	621,65	168,82	25,86	7,020	783,636	3,300
TXC2	1259,09	135,69	40,73	4,390	548,183	7,430
TXC3	534,88	132,53	19,3	4,780	510,582	3,780
TXC4	309,25	137,27	11,43	5,070	392,784	2,910
TXC5	130,52	142	22,89	4,450	565,185	4,050
Promedio TXC	<b>691,08</b>	<b>143,26</b>	<b>24,04</b>	<b>5,140</b>	<b>560,373</b>	<b>4,290</b>

**GRÁFICAS DE RESULTADOS**





#### Observación

- Todas las probetas cumplen con los criterios dimensionales.
- El grupo de seis probetas, las probetas 3, 4, 5 presenta ruptura en la zona calibrada, 1, 2, 6 presentan ruptura después del agarre
- Se realizó el ensayo a seis probetas, de las cuales se reporta cinco.

#### Evaluación

- El grupo ensayado presenta el siguiente comportamiento:  
Resistencia de Ruptura 24.04 MPa;  
Límite de Fluencia 5.14 MPa;  
Modulo de Young 560.373 MPa.

(Fuente: Autor)-


<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Esteban López	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

## 4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las propiedades mecánicas obtenidas después de haber realizado los ensayos de: Dureza, Desgaste y Tracción se presentan en la *Ficha de datos 10*; en la cual se analizan todos los grupos de muestras, dichos grupos se dividen por las diferentes fracciones volumétricas de aporte de cada material (Aluminio 1060 y Babbit ASTM B 23 alloy 2), teniendo en cuenta que los parámetros tanto de construcción como de aceptación para aplicación de la norma fueron homologados para cada grupo de muestras.

### 4.5.1 Evaluación de las propiedades mecánicas obtenidas en la aplicación de ensayos aplicados a los distintos grupos de muestras.

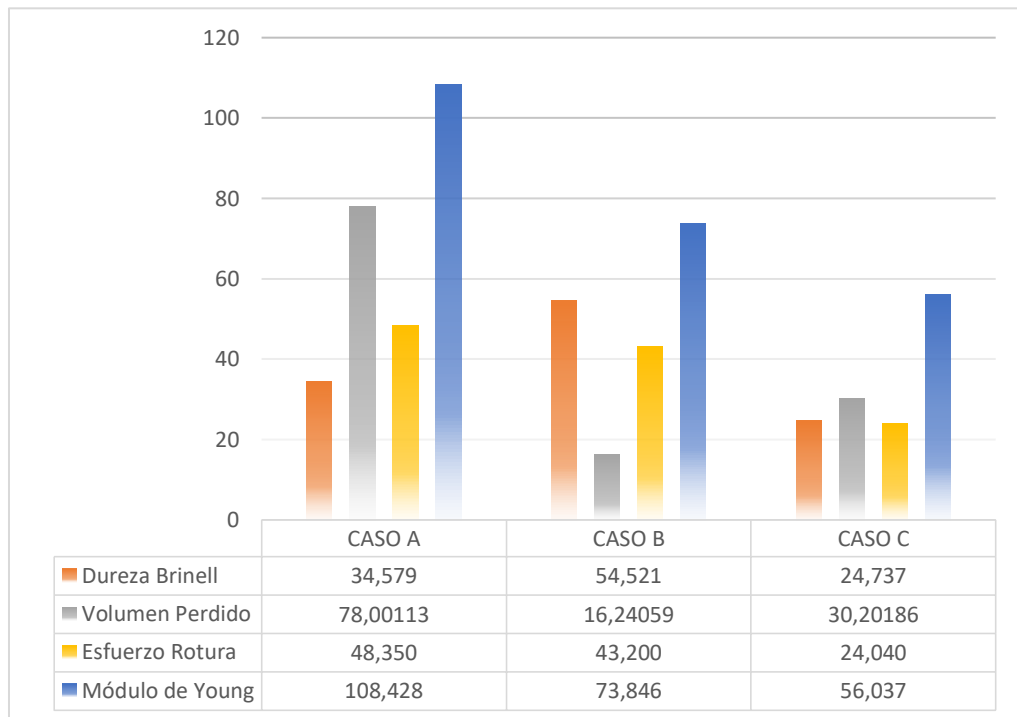
*Ficha de Datos 10* Presentación y Análisis de resultados de los ensayos realizados a los distintos grupos de muestras.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>										
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECANICA			<b>Resultados # 1</b>							
<b>EVALUACIÓN DE RESULTADOS</b>											
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL MATERIAL OBTENIDO POR EL MÉTODO DE P/M; con distintas Fracciones Volumétricas (Al 1060 combinado con Babbit ASTM b 23 alloy 2).</b>											
<b>Tipo de ensayo</b>	Dureza Brinell (HB)	<b>Tipo de ensayo</b>	Tracción								
<b>Norma</b>	ASTM E 10	<b>Norma</b>	ASTM E 8								
<b>Tipo de ensayo</b>	Desgaste Húmedo	<b>Ciudad</b>	Ambato								
<b>Norma</b>	ASTM G 105	<b>Fecha</b>	30/11/2017								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"><b>Elaborado por:</b></td> <td style="width: 25%;">Sr. Andrés Beltrán</td> <td style="width: 25%;"><b>Aprobado por:</b></td> <td style="width: 25%;">Ing. Mg. Gonzalo López</td> </tr> <tr> <td><b>Revisado por:</b></td> <td>Ing. Mg. Gonzalo López</td> <td><b>Validado por:</b></td> <td>Ing. Mg. Gonzalo López</td> </tr> </table>				<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López								
<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López								

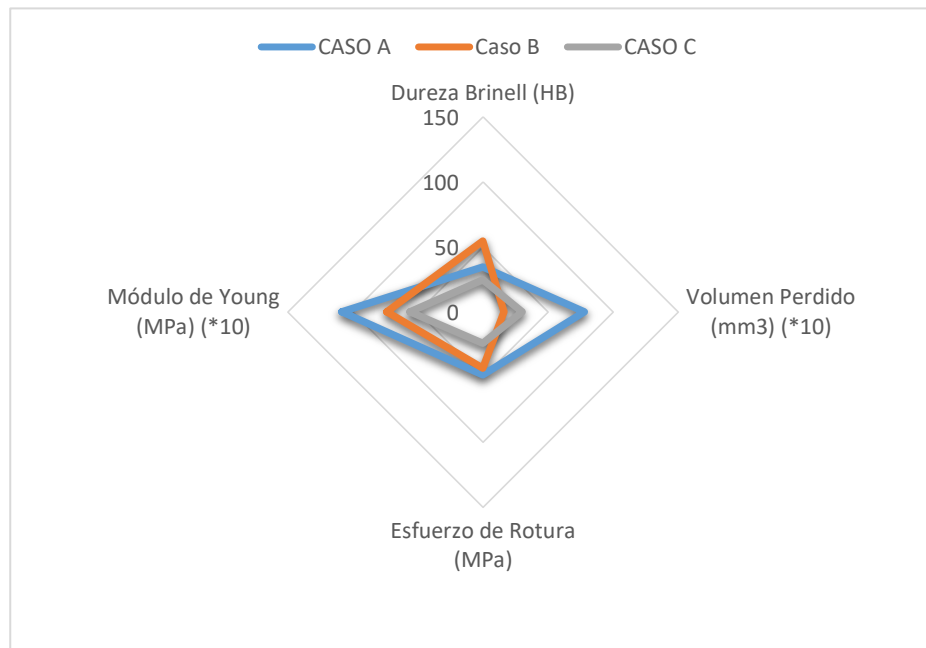
### DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS

ENSAYO	DUREZA	DESGASTE	TRACCIÓN	
			Esfuerzo de Rotura (MPa)	Módulo de Young (MPa) (*10)
<b>Tipo de muestra</b>	Dureza Brinell (HB)	Volumen Perdido (mm <sup>3</sup> ) (*10)		
<b>CASO A</b>	34,579	78,00113	48,350	108,428
<b>CASO B</b>	54,521	16,24059	43,200	73,846
<b>CASO C</b>	24,737	30,20186	24,040	56,037

### GRÁFICAS DE RESULTADOS



<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López



**Nota:** Cada caso presentado representa la siguientes fracciones volumétricas:

**Caso A:** (90% Al 1060 combinado con 10% Babbit ASTM b 23 alloy 2).

**Caso B:** (80% Al 1060 combinado con 20% Babbit ASTM b 23 alloy 2).

**Caso C:** (70% Al 1060 combinado con 30% Babbit ASTM b 23 alloy 2).

### Evaluación

De los ensayos de Dureza realizados bajo la norma ASTM E 10, se obtiene que el grupo de muestras que presenta una mejor Dureza Brinell (HB) fue el Caso B, que representa a una fracción volumétrica de 80% Al 1060 combinado con 20% Babbit ASTM b 23 alloy 2, en los gráficos se puede observar que este grupo tiene una dureza correspondiente a 54,521 HB.

De los ensayos de Desgaste con arena húmeda, realizados bajo la norma ASTM G 105, se obtiene que el grupo de muestras que presenta mejor resistencia al desgaste perdiendo la menor cantidad de volumen (mm3) fue el Caso B, que representa a una fracción volumétrica de 80% Al 1060 combinado con 20% Babbit ASTM b 23 alloy 2, en los gráficos se puede observar que este grupo tiene la menor pérdida de material correspondiente a 162,4059 mm3.



De los ensayos de Tracción realizados bajo la norma ASTM E 8 se obtiene que el grupo de muestras que presenta una mejor resistencia a la Rotura y un mejor módulo de elasticidad (Young) fue el Caso A que representa a una fracción volumétrica de 90% Al 1060 combinado con 10% Babbit ASTM b 23 alloy 2, en los gráficos se puede observar que este grupo soporta un Esfuerzo de Rotura = 48,350 MPa y un Módulo de Young = 1084,28 MPa.

*(Fuente: Autor)*

<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

#### 4.5.2 Ponderación de las propiedades mecánicas obtenidas en cada ensayo.

Ficha de Datos 11 a) Criterio de ponderación y aceptación para Ensayo de dureza..

ENSAYO		DUREZA	
CASO	Dureza Brinell (HB)	S	Criterio aceptación
CASO A	34,579	-3,37	N
CASO B	54,521	16,58	A
CASO C	24,737	-3,21	N
<b>PROMEDIO</b>	<b>37,95</b>		
<b>Desviación Estándar</b>	<b>11,05</b>		
Ponderación Dureza			
<b>Aceptable</b>	Prom. + 11		A
<b>Moderado</b>	Prom. - 11		M
<b>No aceptable</b>	Fuera del rango		N

(Fuente: Autor)

b) Criterio de ponderación y aceptación para Ensayo de dureza

ENSAYO		DESGASTE	
CASO	Volumen Perdido (mm3) (*10)	S	Criterio aceptación
CASO A	78,00113	36,52	A
CASO B	16,24059	25,24	M
CASO C	30,20186	11,28	N
<b>PROMEDIO</b>	<b>41,48</b>		
<b>Desviación Estándar</b>	<b>24,35</b>		
Ponderación Desgaste			
<b>Aceptable</b>	Valor menor		A
<b>Moderado</b>	Intermedio		M
<b>No aceptable</b>	Mayor		N

(Fuente: Autor)

Ficha de Datos 12 Criterio de ponderación y aceptación para Ensayo de dureza

ENSAYO				TRACCIÓN			
CASO	Esfuerzo de Rotura (MPa)	S	Calif.	Módulo de Young (MPa) (*10)	S	Calif.	Criterio aceptación
CASO A	48,35	9,82	M	108,43	28,99	M	M
CASO B	43,20	4,67	A	73,85	-5,59	M	A
CASO C	24,04	-14,49	N	56,04	-23,40	M	N
<b>PROMEDIO</b>	<b>38,53</b>			<b>79,44</b>			
<b>Desviación Estándar</b>	<b>6,83</b>			<b>13,67</b>			



(Fuente: Autor)

Ponderación Tracción		
<b>Aceptable</b>	Prom. + 7	A
<b>Moderado</b>	Prom. - 7	M
<b>No aceptable</b>	Fuera del rango	N

**Nota:** Las ponderaciones de cada propiedad mecánica ensayada, se realizó utilizando los valores promedio y la desviación estándar de cada grupo de material obtenido por el método de P/M; el criterio de aceptación se realiza para cada grupo de muestras debido a que se aplica distintos juicios para aprobar cada propiedad obtenida.

### 4.5.3 Resumen de evaluación y determinación del grupo de muestras que presenten las mejores propiedades mecánicas.



Ficha de Datos 13 Resultados de la Ponderación de cada ensayo realizado al material obtenido por el método de P/M.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
<b>RESULTADOS 2</b>					
EVALUACIÓN DE RESULTADOS					
RESULTADOS DE LA PONDERACIÓN OBTENIDA					
ENSAYO		DUREZA	DESGASTE	TRACCIÓN	ACEPTACIÓN
Tipo de muestra	Fracción Volumétrica	Resultado Dureza Brinell	Resultado Volumen Perdido	Resultado Esfuerzo de Rotura y Módulo de Young	Resultado de Ponderaciones
CASO A	90 % Al 1060 combinado con 10 % Babbit ASTM b 23 alloy 2	N	A	M	M
CASO B	80 % Al 1060 combinado con 20 % Babbit ASTM b 23 alloy 2	A	M	A	A
CASO C	70 % Al 1060 combinado con 30 % Babbit ASTM b 23 alloy 2	N	N	N	N
<b>Acceptable = A</b>		<b>Moderadamente aceptable = M</b>		<b>No se acepta = N</b>	

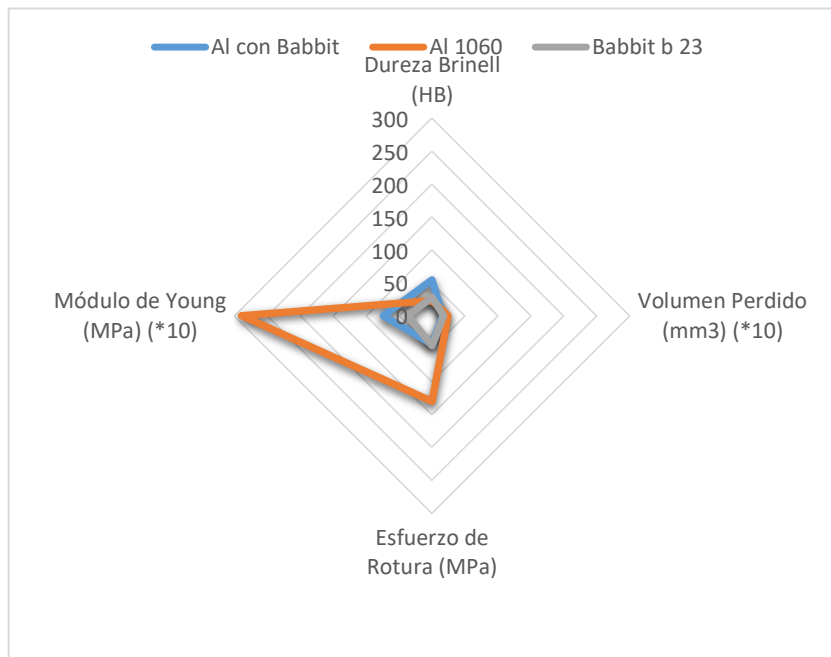
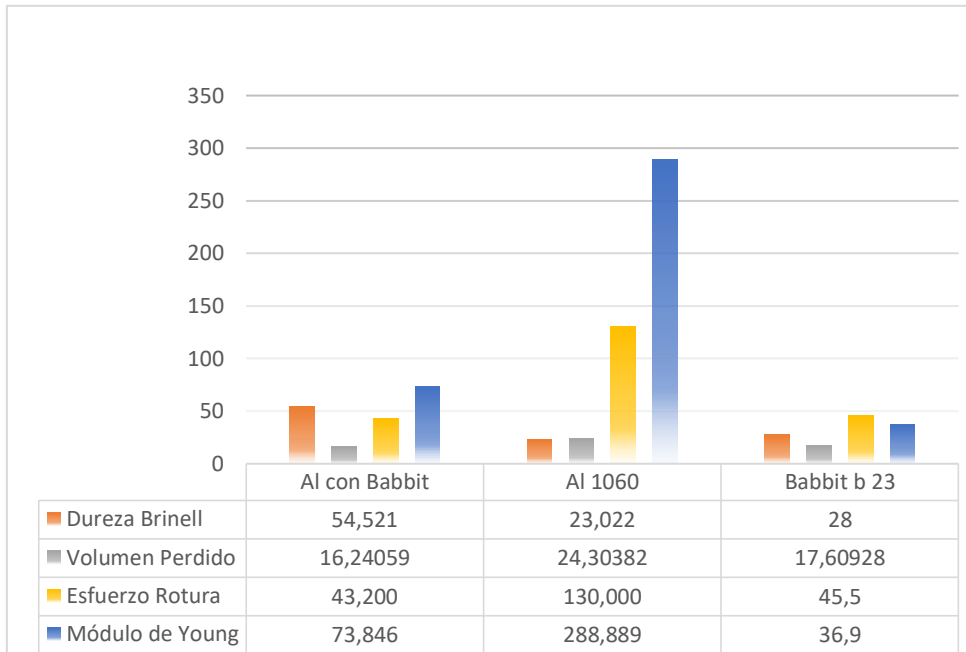
(Fuente: Autor)

#### 4.5.4 EVALUACIÓN, COMPARACIÓN Y PRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MEJOR MATERIAL RESULTANTE VS ALUMINIO VS BABBIT.

*Ficha de Datos 14* Tabla de presentación y comparación de resultados de propiedades mecánicas obtenidas vs propiedades mecánicas de materiales base proporcionadas en fichas técnicas e investigaciones previas.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECANICA		  <b>RESULTADOS</b>	
	<b>COMPARACIÓN DE RESULTADOS</b>			
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL MATERIAL OBTENIDO POR EL MÉTODO DE P/M (80% Al 1060 combinado con 20% Babbitt ASTM b 23 alloy 2; comparado con investigaciones previas y datos de fichas técnicas.).</b>				
<b>Tipo de ensayo</b>	Dureza Brinell (HB)	<b>Tipo de ensayo</b>	Tracción	
<b>Norma</b>	ASTM E 10	<b>Norma</b>	ASTM E 8 M	
<b>Tipo de ensayo</b>	Desgaste Húmedo	<b>Ciudad</b>	Ambato	
<b>Norma</b>	ASTM G 105	<b>Fecha</b>	04/12/2017	
<b>DATOS, RESULTADOS OBTENIDOS VS DATOS DE INVESTIGACIONES PREVIAS</b>				
<b>ENSAYO</b>	<b>DUREZA</b>	<b>DESGASTE</b>	<b>TRACCIÓN</b>	
<b>Material</b>	<b>Dureza Brinell (HB)</b>	<b>Volumen Perdido (mm<sup>3</sup>) (*10)</b>	<b>Esfuerzo de Rotura (MPa)</b>	<b>Módulo de Young (MPa) (*10)</b>
Al con Babbitt	54,521	16,24059	43,200	73,846
Al 1060	23,022	24,30382	130,000	288,889
Babbitt b 23	28	17,60928	45,5	36,9
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	
<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	

## GRÁFICAS DE RESULTADOS



<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

**Nota:** Los datos presentados en esta tabla son obtenidos de ensayos previos utilizados para realizar la comparación de los materiales.

**Al con Babbit:** 80 % AL 1060 con Babbit b 23 Alloy 2; Resultados Obtenidos por el autor.

**Al** Datos obtenidos en fichas técnicas e investigaciones previas de otros autores.

**Babbit:** Datos obtenidos en fichas técnicas e investigaciones previas de otros autores.

### **Evaluación**

De los ensayos de Dureza realizados bajo la norma ASTM E 10, se obtiene que el grupo de muestras que presenta una mejor Dureza Brinell (HB) fue la mezcla de Aluminio con babbit, la misma que representa a una fracción volumétrica de 80% Al 1060 combinado con 20% Babbit ASTM b 23 alloy 2, en los gráficos se puede observar que este grupo tiene una dureza correspondiente a 54,521 HB.

De los ensayos de Desgaste con arena húmeda, realizados bajo la norma ASTM G 105, se obtiene que el grupo de muestras que presenta mejor resistencia al desgaste perdiendo la menor cantidad de volumen (mm<sup>3</sup>) fue el material de Aluminio con Babbit, que representa a una fracción volumétrica de 80% Al 1060 combinado con 20% Babbit ASTM b 23 alloy 2, en los gráficos se puede observar que este grupo tiene la menor pérdida de material correspondiente a 162,4059 mm<sup>3</sup>.

De los ensayos de Tracción realizados bajo la norma ASTM E 8 se obtiene que el grupo de muestras que presenta una mejor resistencia a la Rotura y un mejor módulo de elasticidad (Young) fue el material Aluminio 1060, en los gráficos se puede observar que este material soporta un Esfuerzo de Rotura= 130 MPa y un Módulo de Young= 2888,89 MPa.

(Fuente: Autor)

<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

#### 4.5.5 Evaluación y ponderación de las propiedades mecánicas obtenidas del mejor material estudiado vs aluminio vs babbitt.

Ficha de Datos 15 a) Criterios de Ponderación Para comparar los resultados de dureza.

ENSAYO		DUREZA	
CASO	Dureza Brinell (HB)	S	Criterio aceptación
Al con babbitt	54,521	19,34	A
Al	23,022	-12,16	N
Babbitt	28	-7,18	N
<b>PROMEDIO</b>	<b>35,18</b>		
Desviación Estándar	24,87672367		
Ponderación Dureza			
Acceptable	Prom+25	A	
Moderado	Prom-25	M	
No aceptable	Fuera de rango	N	

(Fuente: Autor)

b) Criterios de Ponderación Para comparar los resultados de desgaste..

ENSAYO		DESGASTE	
CASO	Volumen Perdido (mm3)	S	Criterio aceptación
Al con babbitt	162,4059	-31,44	A
Al	243,0382	49,19	N
Babbitt	176,6131	-17,75	A
<b>PROMEDIO</b>	<b>193,85</b>		
Desviación Estándar	137,07		
Ponderación Dureza			
Acceptable	Valor menor	A	
Moderado	Intermedio	M	
No aceptable	Mayor	N	

(Fuente: Autor)



Ficha de Datos 16 Criterios de Ponderación Para comparar los resultados de tracción

ENSAYO		TRACCIÓN					
CASO	Esfuerzo de Rotura (MPa)	S	Calif.	Módulo de Young (MPa) (*10)	S	Calif.	Criterio aceptación
Al con babbitt	43,200	43,20	M	73,846	73,85	M	M
Al	130,000	130,00	A	288,889	288,89	M	M
Babbitt	45,5	45,50	M	36,9	36,90	N	N
<b>PROMEDIO</b>	<b>72,90</b>			<b>133,21</b>			
<b>Desviación Estándar</b>	<b>51,54808435</b>			<b>94,19491997</b>			

Ponderación		
Aceptable	Prom+52	A
Moderado	Prom-52	M
No aceptable	Fuera de rango	N

(Fuente: Autor)

Ponderación		
Aceptable	Prom+94	A
Moderado	Prom-94	M
No aceptable	Fuera de rango	N

(Fuente: Autor)

**4.5.6 Resumen de evaluación y ponderación de las propiedades mecánicas obtenidas del mejor material estudiado vs aluminio vs babbitt.**

*Ficha de Datos 17 Resultados de la evaluación, ponderación de cada ensayo realizado al material obtenido por el método de P/M.*

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
					<b>RESULTADO #2</b>
<b>EVALUACIÓN DE RESULTADOS</b>					
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL MATERIAL OBTENIDO POR EL MÉTODO DE P/M; 80 % AL 1060 CON BABBIT B 23 ALLOY 2 VS ALUMINIO VS BABBIT</b>					
<b>Tipo de ensayo</b>	Dureza Brinell (HB)		<b>Tipo de ensayo</b>	Tracción	
<b>Norma</b>	ASTM E 10		<b>Norma</b>	ASTM E 8 M	
<b>Tipo de ensayo</b>	Desgaste Húmedo		<b>Ciudad</b>	Ambato	
<b>Norma</b>	ASTM G 105		<b>Fecha</b>	30/11/2017	
<b>RESULTADOS DE LA COPARACIÓN REALIZADA POR PONDERACIÓN</b>					
<b>ENSAYO</b>	<b>DUREZA</b>	<b>DESGASTE</b>	<b>TRACCIÓN</b>	<b>ACEPTACIÓN</b>	
<b>Tipo de muestra</b>	<b>Resultado ponderación Dureza Brinell</b>	<b>Resultado ponderación Volumen Perdido</b>	<b>Resultado ponderación Esfuerzo de Rotura y Módulo de Young</b>	<b>Resultado de Ponderaciones</b>	
<b>80 % Al 1060 combinado con 20 % Babbitt ASTM b 23 alloy 2</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	
<b>Aluminio</b>	<b>N</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	
<b>Babbitt</b>	<b>N</b>	<b>A</b>	<b>N</b>	<b>N</b>	
<b>Aceptable</b>	<b>Moderadamente Aceptable</b>		<b>No se acepta</b>		

(Fuente: Autor)

---

**NOTA:** Para realizar la comparación del material 80% Al 1060 con Babbit b 23 alloy 2 combinado por mezcla de polvos, se utilizó valores, datos y tablas presentados en investigaciones realizadas por otros autores, como también se utilizó las fichas técnicas obtenidas al momento de adquirir el material antes de realizar en trabajo de investigación, como se muestra en la siguiente lista:

**ANEXO 7:** Ficha de datos y resultados Ensayo de dureza y desgaste Aluminio 1060. *(Fuente: Autor).*

**ANEXO 8:** Ficha de datos y resultados Ensayo de desgaste Babbit. *(Fuente: Autor).*

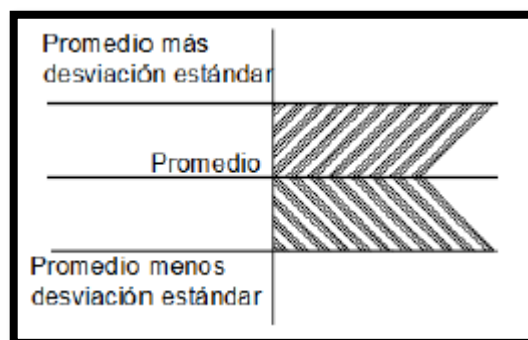
**ANEXO 9:** Resultados ensayos de Tracción Babbit obtenido en “Investigaciones Previas”. [19]

**ANEXO 10:** Resultados ensayos de Tracción Aluminio obtenido en “Investigaciones Previas”. [20]

**ANEXO 1:** Ficha Técnica Babbit (Magnolia) ASTM B 23 alloy 2. [21]

---

La evaluación, ponderaciones e interpretación de resultados se realizaron aplicando los criterios de Valor promedio y Desviación Estándar, como se muestra en la Figura 39.



**Figura 39** Teoría base utilizada para la ponderación de resultados. [22]

En la figura anterior se representa gráficamente las cuantificaciones utilizadas para calificar los resultados, en la cual si los resultados se encuentran dentro del área del promedio, y el promedio más la desviación estándar los resultados son aceptables, mientras que si los resultados se encuentran en el área del promedio y el promedio menos la desviación estándar se consideran como resultados moderadamente

aceptables; y si los resultados se encuentra fuera de estos límites los resultados se califican como no aceptables. [22]

En la ficha de datos 14 se muestra los resultados de las ponderaciones obtenidas en el estudio de los ensayos de dureza, desgaste y tracción, de este estudio se determinó que el material obtenido por el método de P/M con una fracción volumétrica correspondiente al 80 % Al 1060 con 20 % Babbit ASTM b 23 alloy 2 combinado por mezcla de polvos presentó las mejores propiedades mecánicas resultantes después de ser expuestos y sometidos a los tres ensayos.

#### **4.6 VERIFICACIÓN DE HIPOTESIS.**

Después de haber consumado los ensayos de dureza, desgaste y tracción, como también de cumplir con la tabulación de datos, la evaluación y la interpretación de los resultados de estos; se procede a realizar la demostración de la hipótesis que fue programada al inicio de la investigación desarrollada, para lo cual se utiliza herramientas estadísticas y comparativas de uso universal. La parte estadística de la demostración de la hipótesis se la realizó utilizando las teorías de la media y la desviación estándar, las mismas que fueron aplicadas para presentar gráficamente los resultados de las propiedades mecánicas obtenidas a partir de los ensayos de dureza, desgaste y tracción que se aplicó a cada grupo de muestras con diferentes fracciones volumétricas en porcentajes de materiales de aporte de aluminio y de babbit.

Para determinar el grupo de muestras que presentan las mejores propiedades mecánicas se realizó la tabulación y ponderación adecuada para analizar el resultado de cada ensayo, dureza, desgaste y tracción; dicha ponderación y resultados se muestra en las Fichas técnicas 11, 12, 13; y el resultado global de las propiedades mecánicas obtenidas se presenta en la ficha técnica 14, en la cual se demuestra que el material obtenido por el método de pulvimetalurgia con una fracción volumétrica del 80 % Aluminio 1060 con 20 % Babbit b 23 alloy 2 combinado por mezcla de polvos, fue el caso que brindo las mejores propiedades mecánicas.

Con el proceso realizado y con los ensayos aplicados se comprobó que el porcentaje de los material de aporte que comprenden la combinación de polvos metálicos aluminio 1060 con babbit b 23 alloy 2 permiten mejorar las propiedades mecánicas, es decir que si se cambian las fracciones volumétricas de los materiales de aporte de la mezcla, los resultados de las propiedades mecánicas van a cambiar como fue el caso de las fracciones volumétricas ensayadas.

## CAPITULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

La tabulación y análisis de resultados del estudio presentado en el estudio de los ensayos de dureza, desgaste y tracción al que fueron sometidas las muestras del material obtenido por el método de P/M con diferentes fracciones volumétricas de aluminio 1060 con babbitt b 23 alloy 2, (**Caso 1**= 90 % aluminio 1060 con 10 % babbitt b 23 alloy 2; **Caso 2**= 80 % aluminio 1060 con 20 % babbitt b 23 alloy 2; **Caso 3**= 70 % aluminio 1060 con 30 % babbitt b 23 alloy 2) combinados por mezcla de polvos se obtuvo las siguientes conclusiones:

- Los parámetros que se utilizaron para la obtención de los polvos metálicos como también de las probetas del material sinterizado Aluminio 1060 con Babbitt b 23 alloy 2 fueron, las fracción volumétricas, tamaño de partícula, presión de compactación, temperatura de sinterizado; para la obtención de las probetas el parámetro principal fue los criterios dimensionales de cada norma a aplicar para cada muestra.
- El material que presentó las mejores propiedades fue en Caso 2, para el cual las propiedades mecánicas se obtuvieron mediante la aplicación de los ensayos de dureza, desgaste y tracción bajo las normas ASTM E 10, ASTM G 105 y ASTM E 8 respectivamente.
- El material sinterizado Aluminio 1060 con Babbitt b 23 alloy 2, después de haber cumplido con las características de compresión, sinterizado y con los criterios dimensionales de la norma de tracción ASTM E 8, con las fracciones volumétricas presentaron los siguientes resultados correspondientes a resistencia a la tracción:
  - **Caso 1:** Resistencia de Rotura = 48.35 MPa;  
Módulo de Young = 759.027 MPa
  - **Caso 2:** Resistencia de Rotura = 43.20 MPa

Módulo de Young = 738.462 MPa

➤ **Caso 3:** Resistencia de Rotura = 24.04 MPa

Módulo de Young = 560.373 MPa

- Los ensayos de dureza fueron realizados bajo la norma ASTM E 10, en la cual como criterios de aceptación del ensayo se toma, que para la dureza Brinell de un material, las huellas que deja la bola en el material debe estar alejada por mínimo 2 mm de distancia una huella de otra y también que la muestra que se está ensayando debe tener un espesor mínimo de 1.6 mm, estas entre unas de todas las restricciones que presenta la norma, y con las cuales se consiguieron los siguientes valor:
  - **Caso 1:** Dureza Brinell = 34.579 HB
  - **Caso 2:** Dureza Brinell = 54.521 HB
  - **Caso 3:** Dureza Brinell = 24.737 HB
- Para realizar el ensayo de desgaste en arena húmeda se utilizó la norma ASTM G 105, en la cual entre los parámetros más importantes se consideró el tamaño y espesor mínimo de la muestra, como también el número de revoluciones y la cantidad de arena y agua desmineralizada, con estas consideraciones y más restricciones enunciadas en la norma se obtuvo los siguientes resultados:
  - **Caso 1:** Volumen Perdido: 780.0113 mm<sup>3</sup>  
Masa Perdida: 2.1772 g
  - **Caso 2:** Volumen Perdido: 162.4059 mm<sup>3</sup>  
Masa Perdida: 0.4107 g
  - **Caso 3:** Volumen Perdido: 302.0186 mm<sup>3</sup>  
Masa Perdida: 0.7241 g
- Obtenido el resultado de dureza Brinell correspondiente al valor de 54.2 HB para el material sinterizado 80% Al 1060 con Babbit b 23 alloy 2, comparado con la ficha técnica del metal anti fricción Magnolia (Babbit b 23 alloy 2) de 28HB, se determina que la combinación de aluminio con babbit mejora las propiedades en cuanto a dureza.
- Realizado los ensayo de desgaste se obtiene que el material obtenido por el método de pulvimetalurgia 80% Al 1060 con Babbit b 23 alloy 2 presenta una mejor resistencia al desgaste con un valor de 162.4059 mm<sup>3</sup>, comparado con el

resultado obtenido de material sinterizado del metal anti fricción Magnolia (Babbit b 23 alloy 2) que fue de  $176.6131\text{mm}^3$ , el cual determina que la combinación de los polvos de aluminio con babbit mejora las propiedades de desgaste.

- Los resultados obtenidos y con el análisis se resultados se determinó que el material con la fracción volumétrica de 80 % Aluminio 1060 con Babbit b 23 alloy 2 combinado por mezcla de polvos presentó el mejor conjunto de propiedades mecánicas las cuales fueron:

- **Caso 2:**
  - Dureza Brinell :** 54.521 HB
  - Volumen Perdido:**  $162.4059\text{ mm}^3$
  - Masa Perdida:** 0.7241 g
  - Resistencia de Rotura =** 43.20 MPa
  - Módulo de Young =** 738.462 MPa

## 5.2 RECOMENDACIONES

Después de realizado el estudio pormenorizado del material sinterizado obtenido por el método de P/M y analizando los resultados proporcionados por el mismo, se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones.

- Fortalecer el laboratorio de pulvimetalurgia de la carrera de Ingeniería Mecánica de la F.I.C.M de la U.T.A, repotenciando la maquinaria existente e implementado herramientas y máquinas que faciliten y agilicen el proceso de obtención de polvos metálicos, lo cual además de optimizar los tiempos también estimulará la realización de este tipo de investigaciones.
- Trabajar en una zona libre de impurezas y en espacios libres de viento que brinde la facilidad de manipulación y transporte de polvos.
- Trabajar con un porcentaje extra de material de polvos, por las características del material este tiende a perder pequeñas cantidades en cada manipulación.
- Verificar la disponibilidad y dimensiones de los moldes que se deseen usar para obtener la forma deseada y realizar un análisis dimensional del mismo.



- Emplear obligatoriamente, criterios de protección personal al momento de montar los moldes en la prensa y en el horno antes del proceso de compactación y sinterización respectivamente.
- Realizar control de calidad de cada probeta obtenida, en forma permanente; para evitar tener rechupes o fallas superficiales en las probetas obtenidas por el método de P/M.
- Estudiar las fracciones volumétricas concentrando un rango de entre 18% a 22% de babbitt, para determinar de qué manera influye la concentración de este material en la combinación de polvos.
- Emplear la combinación de 80% Al 1060 con 20% Babbitt b 23 alloy 2, para emplear en la construcción de metales antifricción.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Z. C. H. FROILÁN, «Reposito ESPOCH,» ESPOCH, 01 07 2014. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3680/1/85T00320.pdf>. [Último acceso: 21 05 2017].
- [2] O. V. LEONARDO, «Biblioteca Digital UNIVALLE,» UNIVALLE Colombia, 02 2011. [En línea]. Available: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/4129/4/CB-0436047.pdf>. [Último acceso: 24 05 2017].
- [3] W. Callister, «Aplicaciones y procesamiento de aleaciones metálicas,» de *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Séptima ed., Utha, John Wiley & Sons, Inc., 2007, p. 386.
- [4] S. Kalpakjian y S. Schmid, «Procesamiento de los polvos metálicos,» de *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*, Quinta ed., México, Pearson, 2008, pp. 483-504.
- [5] B. Schulz, «Pulvimetalurgia,» de *Introducción a la Metalurgia*, Primera ed., Santiafo de Chile, Segic Tecnologia, 2003, p. 285.
- [6] W. Callister, «Aplicaciones y conformado de cerámicas,» de *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Quinta ed., Utha, Revere, pp. 444-447.
- [7] Arqhys., «Revista Arqhys.com,» 12 2012. [En línea]. Available: <http://www.arqhys.com/construccion/materiales-resistencia.html>. [Último acceso: 31 05 2017].
- [8] H. Asm, *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, USA: ASM International.
- [9] D. Guerrero, *Nuevos Materiales Aplicaciones Estructurales e Industriales*, Primera ed., Quito-Ecuador: Imprefepp, 2011.
- [10] W. Callister, «Propiedades Mecánicas de los Materiales,» de *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Quinta ed., Utha, Revere, pp. 114-146.
- [11] ASTM, E 8M, ASTM.
- [12] D. Giancoli, *Física principio con aplicaciones*, Sexta ed., México: Pearson, 2006, p. 237.

- [13] S. Kalpakjian y S. Schmid, «Comportamiento mecánico, ensayos y propiedades de manufactura de los materiales,» de *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*, Quinta ed., México, Pearson, 2008, pp. 64-98.
- [14] I. Direct, «Durómetro Rocwell de mesa,» *El Salon de la Industria*, Vols. %1 de %2Disponible on-line en: [http://www.directindustry.es/prod/echolab/product-160910-1635593.html?utm\\_source=ProductDetail&utm\\_medium=Web&utm\\_content=SimilarProduct&utm\\_campaign=CA](http://www.directindustry.es/prod/echolab/product-160910-1635593.html?utm_source=ProductDetail&utm_medium=Web&utm_content=SimilarProduct&utm_campaign=CA), p. 1, 2017. , p. 1, 2007.
- [15] F. Díaz del Castillo Rodríguez, *Tribología: Fricción, Desgaste y lubricación*, Primera ed., México: Unam Cuautitlán, 2007.
- [16] P. Cazau, *Introducción a la investigación en ciencias sociales*, Tercera ed., Buenos Aires-Argentina: El Csicoasesor, 2003.
- [17] J. Fuentes, J. Rodríguez y E. Herrera, «Sinterización del Aluminio aleado Mecánicamente asistida por adición del 1% Cu,» 2002. [En línea]. Available: [http://www.upv.es/pms2002/Comunicaciones/041\\_RODRIGUEZ.PDF](http://www.upv.es/pms2002/Comunicaciones/041_RODRIGUEZ.PDF). [Último acceso: 27 06 2017].
- [18] ASTM, ASTM G 105, ASTM.
- [19] S. Toapanta, *Rehabilitación de cojinetes de Turbinas Pelton por medio de la Elaboración de Aleaciones Antifricción*, Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2008, pp. 74-76.
- [20] L. Osorio, *Obtención y caracterización por vía pulvimetalúrgica de la matriz de aluminio reforzada con partículas intermetálicas de CuAl y Cu*, Santiago de Cali: Universidad del Valle, 2011, p. 42.
- [21] I. S.A., «Metal Antifricción (Magnolia, Aleación tipo Tandem USA),» *Catálogo Metales Antifricción*, p. 1, 2017.
- [22] S. Pacha, *Caracterización mecánica y numérica del material híbrido de matriz epoxi reforzada con tejido plano de fibra vegetal (algodón) y Fibra natural (Cabuya)*, Ambato: UTA, 2016, pp. 136-137.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1:** Ficha Técnica Babbit (Magnolia) ASTM B 23 alloy 2.

**ANEXO 2:** Informe de ensayo de Espectrometría Aluminio y Babbit realizado en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.

**ANEXO 3:** Norma para ensayo de Dureza ASTM E 10

**ANEXO 4:** Norma para ensayo de Desgaste ASTM G 105

**ANEXO 5:** Norma para ensayo de Tracción ASTM E 8

**ANEXO 6:** Informe de ensayo de Tracción realizado en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero

**ANEXO 7:** Ficha de datos y resultados Ensayo de dureza y desgaste Aluminio 1060.

**ANEXO 8:** Ficha de datos y resultados Ensayo de desgaste Babbit.


**ANEXO 9:** Resultados ensayos de Tracción Babbit obtenido en “Investigaciones Previas”

**ANEXO 10:** Resultados ensayos de Tracción Aluminio obtenido en “Investigaciones Previas”.

## ANEXO 1:

### Ficha Técnica Babbit (Magnolia) ASTM B 23 alloy 2.

## METAL ANTIFRICCION (MAGNOLIA)



Viene en dos tipos:

### INFRANGA

Aleación resistente a la fatiga. Resiste bien la tensión a temperaturas elevadas.

COMPOSICION QUIMICA:	CARACTERISTICAS TECNICAS:
Estaño: 84.49 % Cobre: 2.4 % Plomo: 0.24 % Zinc: 0.0035 % Antimonio: 6.43 %	Densidad: 7.35 gr/cm <sup>3</sup> Resistencia a la tracción: 5.53 T/pul <sup>2</sup> Elongación (% en 2"): 10.3 % Reducción de área (%): 17.8 % Dureza Brinell (a 20°C): # 32 Temperatura: Inicio derretimiento: 237°C Culminación derretimiento: 380°C Rango recomendado de colado: 400 - 430°C

**USOS:**

Usada frecuentemente en cojines (chapas) de motores diesel marinos y motores de combustión interna.  
Particularmente apropiado para cojinetes en los que el espesor del revestimiento es menor que 3/32" (aprox. 2.5 mm).

**PRESENTACION:**

Viene en lingotes de 2.6 kg. de peso.

### TANDEM

Es una aleación más fuerte y de mucha más resistencia.  
Su característica más importante es el punto en que el compuesto estaño-cobre ha sido desarrollado en conjunto con una distribución efectiva de pequeños cristales de plomo-antimonio.

CARACTERISTICAS TECNICAS:	COMPOSICION QUIMICA:
Densidad: 7.36 gr/cm <sup>3</sup> Resist. tracción: 6 T/pul <sup>2</sup> Elongación porcentual en 2": 6.8 % Dureza Brinell: # 28	Estaño: 87.04 % Cobre: 3.02 % Plomo: 0.29 % Zinc: 0.0020 % Antimonio: 9.64 %

**PRESENTACION:**

Viene en lingotes de 6.2 kg. de peso.

## ANEXO 2:

Informe de ensayo de Espectrometría Aluminio y Babbit realizado en el Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero.



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

### RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS

<b>Informe N°:</b> 050301174420170607-ERX	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
<b>Empresa / Cliente:</b> Jaime Andrés Beltrán Acurio.	
<b>DIRECCIÓN:</b> Juan León Mera y Alberto Barea, Cdma. Rumipamba.	
<b>NÚM. DE CEDULA / RUC:</b> 0503011744	<b>TELÉFONO:</b> 0997538607
<b>E-MAIL:</b> andresbeltran9209@gmail.com	

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>
<b>Laboratorio:</b> Ensayos no destructivos.
<b>Designación del material:</b> Material metálico.
<b>Método de ensayo:</b> ASTM E1085 2016: Método de prueba estándar para el análisis de los aceros de baja aleación por longitud de onda dispersiva de rayos X espectrometría de fluorescencia.

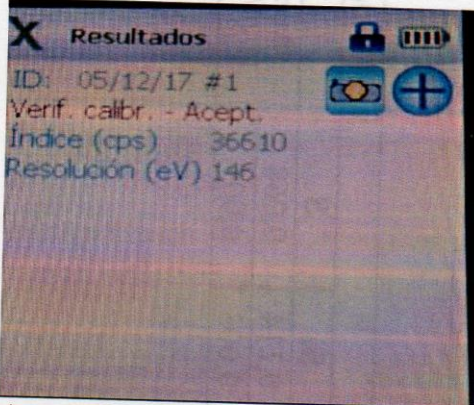
#### Número de Probetas cuantificadas.

N°	Identificación de probetas	Descripción	Cantidad
1	050301174420170607-ERX 01	Probeta	1
2	050301174420170607-ERX 02	Probeta	1
3	050301174420170607-ERX 03	Probeta	1

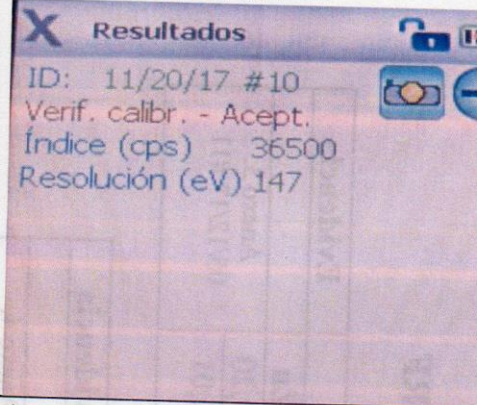
**Nota:** Las probetas fueron fabricadas según norma mencionada, de acuerdo a la especificación y declaración del cliente.

Anexos.

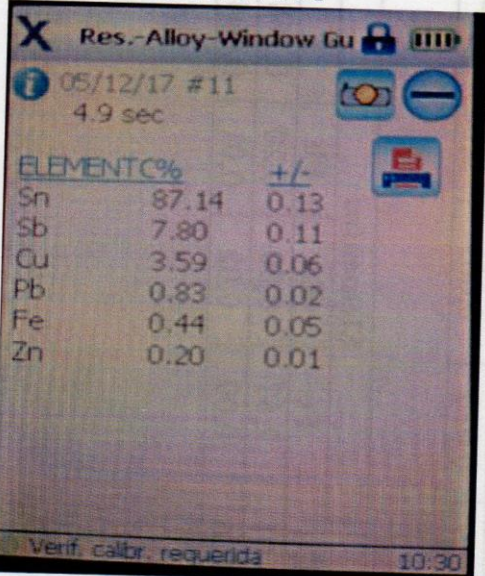
Anexo 1. 05/12/17 #1



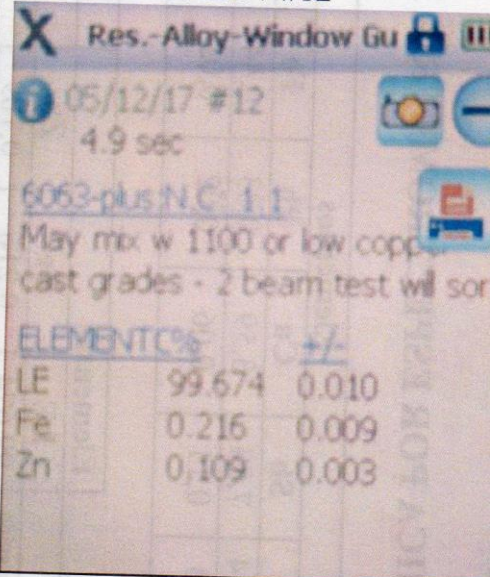
Anexo 2. 11/20/17 #10



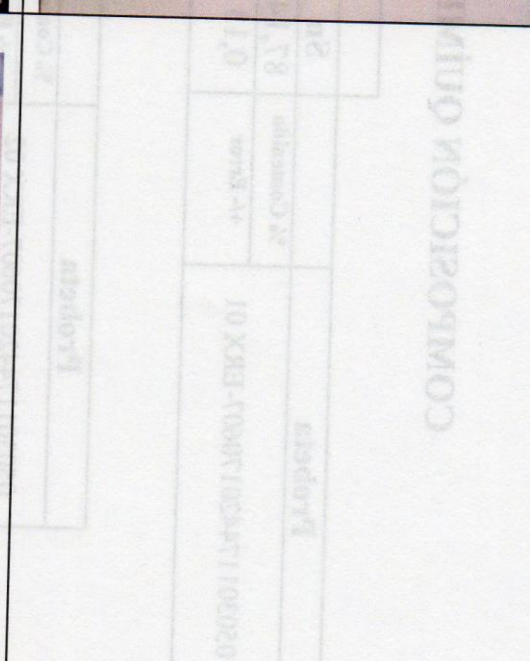
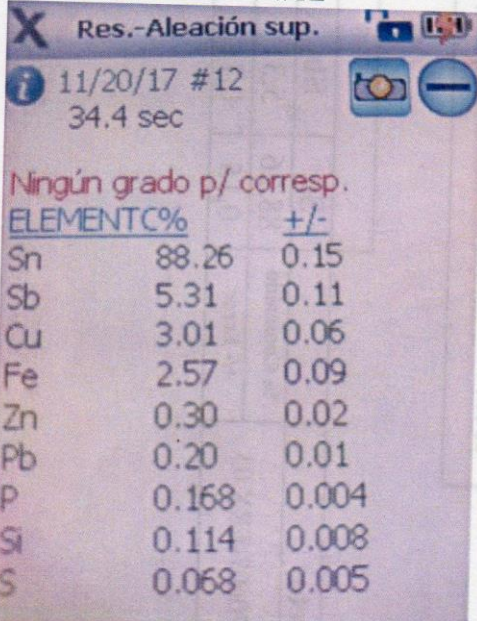
Anexo 3. 05/12/17 #11

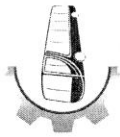


Anexo 4. 05/12/17 #12



Anexo 5. 11/20/17 #12





**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS**

**COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA XRF**

Probeta	% Contenido +/- Error	Elementos						Evidencia
		Sn	Sb	Cu	Pb	Fe	Zn	
050301174420170607-ERX 01	87,14	7,80	3,59	0,83	0,44	0,20	Anexo 3. 05/12/17 #11	
	0,13	0,11	0,06	0,02	0,05	0,01		

Probeta	Elementos			Evidencia
	LE	Fe	Zn	
050301174420170607-ERX 02	% Contenido	0,216	0,109	Anexo 4. 05/12/17 #12
	+/- Error	0,009	0,003	

Probeta	Elementos						Evidencia
	LE(Al)	Sn	Cu	Fe	Zn	Pb	
050301174420170607-ERX 03	88,26	14,05	0,83	0,79	0,081	1,23	Anexo 5. 11/20/17 #12
	0,38	0,32	0,02	0,03	0,005	0,03	

**Nota:** Las siglas ND significan que el elemento descrito (No se determinó). LE: Elementos ligeros medidos.





### VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

**Lugar de Ejecución del Ensayo:** Laboratorio de Ensayos No Destructivos (END)  
**Dirección:** Ambato/Catiglatá. Río de Janeiro y Toronto.  
**Fecha de verificación:** 20 de noviembre de 2017.  
**Tipo de ensayo:** Cuantitativo  
**Realizado por:** Ing. Fernando Galarza

**ID: 05/12/17 #1** Evidencia. Anexo 1. 05/12/17 #1  
**ID: 11/20/17 #10** Evidencia. Anexo 2. 11/20/17 #10  
**Equipo utilizado:** Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C # Serie: 541828  
**Patrón de calibración:** Acero inoxidable 316. OLYMPUS  
**Serie:** 781-419-3900 Analytical Instruments  
**Código de identificación del patrón de verificación:** Waltham, MA 02453  
**Método de utilizado:** Comparación por Fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía dispersiva (ED) de Materiales

**Resultado de la Verificación:** Aceptada  
**Hora:** 12 horas 50 minutos  
**Temperatura del ensayo:** 17 °C  
**Conteos por segundo:** 33610  
**Resolución (EV):** 146

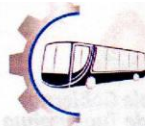
### MÉTODO DE ENSAYO

**Lugar de Ejecución del Ensayo:** Laboratorio de Ensayos No Destructivos (END).  
**Dirección:** Ambato/Catiglatá. Río de Janeiro y Toronto.  
**Código del Informe:** 050301174420170607-ERX  
**Fecha de Finalización de Ensayo:** 20 de noviembre de 2017.  
**Tipo de ensayo:** Cuantitativo, cualitativo.  
**Método de ensayo:** ASTM E1085 2016: Método de prueba estándar para el análisis de los aceros de baja aleación por longitud de onda dispersiva de rayos X espectrometría de fluorescencia.

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

**Temperatura del ensayo:** 17° C **Energía:** 40 keV

**Precisión:** 0,01 **Corriente de funcionamiento:** 0.2 mA



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

**INFORME DE RESULTADOS N°: 050301174420170607-ERX**

**DATOS GENERALES**

**N° de proforma:** EN\_005  
**Designación del material:** Aleación aluminio- babbitt.  
**Empresa / Cliente:** Jaime Andrés Beltrán Acurio.  
**RUC/C.I.:** 0503011744  
**Dirección:** Juan León Mera y Alberto Barea, Cdla. Rumipamba. **Ciudad:** Ambato.  
**Teléfono:** 0997538607.  
**Correo:** andresbeltran9209@gmail.com  
**Fecha de Inicio de Ensayo:** 20 de noviembre de 2017.  
Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en las probetas de: Material metálico. El material fue recibido en el Laboratorio de Ensayos No destructivos (END) del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

**OBJETOS DE ENSAYO**

**Número de Probetas cuantificadas.**

N°	Identificación de probetas	Descripción	Cantidad
1	050301174420170607-ERX 01	Probeta	1
2	050301174420170607-ERX 02	Probeta	1
3	050301174420170607-ERX 03	Probeta	1

**Observaciones:** Los resultados de composición química 050301174420170607-ERX 03 corresponden a la probeta 050301174420171114-ETM 02-1 del ensayo de tracción.

<b>Elaborado por:</b>		<b>Aprobado por:</b>
Ing. Fernando Galarza	Ing. Angel Balseca	Ing. Esteban López E. MEng.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

**Fecha de entrega de Informe:** Ambato, 21 de noviembre de 2017.

**N°. Factura:** 001-002-000002818



ENSAYO SOLICITADO				
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS	
			RECEPCIÓN	ENSAYO
1	050301174420170607-ERX 01	Cumple criterios dimensionales.	05/10/17	05/12/17
2	050301174420170607-ERX 02	Cumple criterios dimensionales.	05/10/17	05/12/17
3	050301174420170607-ERX 03	Cumple criterios dimensionales.	17/11/2017	20/11/2017

**DATOS INFORMATIVOS:** De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con las dimensiones determinadas por el método desarrollado por el laboratorio.

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

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

## ANEXO 3:

### Norma para ensayo de Dureza ASTM E 10

#### 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 (Part A) covers the determination of the Brinell hardness of metallic materials, including methods for the verification of Brinell hardness testing machines (Part B) and the calibration of standardized hardness test blocks (Part 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 Newtons.

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 Practice 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 for Calibration of Force Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines<sup>2</sup>  
 E 140 Hardness Conversion Tables for Metals<sup>2</sup>

#### 3. Terminology

3.1 *Brinell hardness test*—An indenter (hardened steel ball or 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 Fig. 1 and Fig. 2.)

DISCUSSION 1—The steel or tungsten carbide ball may be used for materials with a Brinell hardness not exceeding 450.

DISCUSSION 2—The tungsten carbide ball shall be used for materials with a Brinell hardness greater than 450 and less than or equal to 650.

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

Current edition approved May 10, 2000. Published August 2000. Originally published as E 10 – 24 T. Last previous edition E 10 – 00.

<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

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
HBS or HBW	Brinell hardness
	$= \text{Constant} \left[ \frac{\text{Test force}}{\text{Surface Area of Indentation}} \right]$
	$= 0.102 \left[ \frac{\text{Test force}}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \right]$

DISCUSSION 3—For Brinell hardnesses above 450, a significant difference is observed between results obtained using steel balls and those obtained using tungsten carbide balls.

3.2 *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.

$$\text{HBS or HBW} = 0.102 \left[ \frac{\text{Test force}}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \right] \quad (\text{See Table 1}) \quad (1)$$

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 following symbols:

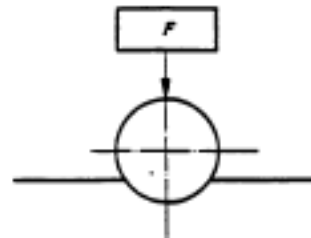


FIG. 1 Principle of Test

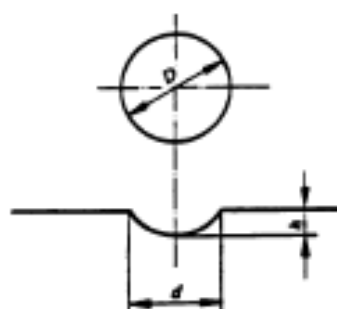


FIG. 2 Principle of Test

HBS in cases where a steel ball is used.  
 HBW in cases where a tungsten carbide ball is used.

Note 2—In former standards, in cases when a steel ball was used, the Brinell hardness was denoted by HB.

Note 3—The symbol HBS or 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 millimetres,
- (2) A value representing the test force in kilogram-force (see Table 3), and
- (3) Duration of loading, in seconds.

Example:

350 HB0 5/750 = Brinell hardness of 350 determined with a steel ball of 5-mm diameter and with a test force of 7.355 kN (750 kgf) applied for 10 to 15 s.

600 HBW 1/50/20 = Brinell hardness of 600 determined with a tungsten carbide ball of 1-mm diameter and with a test force of 294.2 N (30 kgf) applied for 20 s.

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).

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.

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

3.4 calibration—adjustment of the significant parameters by comparison with values indicated by a reference instrument or by a set of reference standards.

#### 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.

## 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 Ball*:

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 also used provided the precautions set forth in 8.1 are observed.

5.2.2 A hardened steel ball having a hardness of at least 746 HV10 using a 98.07-N (10-kgf) test force (see Table 8) may be used on material having a Brinell hardness value not over 450, or a tungsten carbide ball having a hardness of 1500 HV10 on material over 450.

Note 4—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

Note 5—In order to conform with future ISO standards there will be a proposal to eliminate the use of steel balls and only use tungsten carbide balls for this test method.

5.2.3 If a ball is used in a test of a specimen which shows a Brinell hardness number greater than the limit for the ball as detailed in 5.2.2, the results of the test shall be considered invalid and the ball shall be discarded.

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 6—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

TABLE 3 Test Conditions

Hardness Symbol	Ball Diameter D, mm	0.102 F <sub>DP</sub>	Test Force F Nominal Value	
HBS (HBW) 10/000	10	30	29.42	kN - (3000 kgf)
HBS (HBW) 10/1500	10	15	14.71	kN - (1500 kgf)
HBS (HBW) 10/1000	10	10	9.807	kN - (1000 kgf)
HBS (HBW) 10/500	10	5	4.903	kN - (500 kgf)
HBS (HBW) 10/250	10	2.5	2.452	kN - (250 kgf)
HBS (HBW) 10/125	10	1.25	1.226	kN - (125 kgf)
HBS (HBW) 10/100	10	1	980.7	N - (100 kgf)
HBS (HBW) 5/750	5	30	7.355	kN - (750 kgf)
HBS (HBW) 5/250	5	10	2.452	kN - (250 kgf)
HBS (HBW) 5/125	5	5	1.226	kN - (125 kgf)
HBS (HBW) 5/62.5	5	2.5	612.9	N - (62.5 kgf)
HBS (HBW) 5/31.25	5	1.25	306.5	N - (31.25 kgf)
HBS (HBW) 5/25	5	1	245.2	N - (25 kgf)
HBS (HBW) 2.5/187.5	2.5	30	1.839	kN - (187.5 kgf)
HBS (HBW) 2.5/62.5	2.5	10	612.9	N - (62.5 kgf)
HBS (HBW) 2.5/31.25	2.5	5	306.5	N - (31.25 kgf)
HBS (HBW) 2.5/15.625	2.5	2.5	153.2	N - (15.625 kgf)
HBS (HBW) 2.5/7.812.5	2.5	1.25	76.61	N - (7.8125 kgf)
HBS (HBW) 2.5/3.906.25	2.5	1	61.29	N - (6.25 kgf)
HBS (HBW) 2/120	2	30	1.177	kN - (120 kgf)
HBS (HBW) 2/40	2	10	392.3	N - (40 kgf)
HBS (HBW) 2/20	2	5	196.1	N - (20 kgf)
HBS (HBW) 2/10	2	2.5	98.07	N - (10 kgf)
HBS (HBW) 2/5	2	1.25	49.03	N - (5 kgf)
HBS (HBW) 2/4	2	1	39.23	N - (4 kgf)
HBS (HBW) 1/30	1	30	294.2	N - (30 kgf)
HBS (HBW) 1/10	1	10	98.07	N - (10 kgf)
HBS (HBW) 1/5	1	5	49.03	N - (5 kgf)
HBS (HBW) 1/2.5	1	2.5	24.52	N - (2.5 kgf)
HBS (HBW) 1/1.25	1	1.25	12.26	N - (1.25 kgf)
HBS (HBW) 1/1	1	1	9.807	N - (1 kgf)

TABLE 4 Tolerances for Brinell Hardness Balls

Ball Diameter, mm	Tolerance, mm
10	±0.005
5	±0.004
2.5	±0.003
2	±0.003
1	±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 Load	1500-kgf Load	500-kgf Load
1/4	1.6	602	301	100
1/4	3.2	301	150	50
1/4	4.8	201	100	33
1/4	6.4	150	75	25
1/4	8.0	120	60	20
1/4	9.6	100	50	17

## 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 Part B.

7.2 *Test Force Range*—When direct verification is used, the

TABLE 6 Hardness Ranges Used By Standard Test Block Method

Steel Ball	Hardmetal Ball
100 to 200 HBW	100 to 200 HBW
250 to 350 HBW	300 to 400 HBW
	500 to 600 HBW

TABLE 7 Standard Test Forces

Ball Diameter, mm	Force	Recommended Range, HB
10	29.42 kN (3000 kgf)	98 to 600
10	14.7 kN (1500 kgf)	48 to 300
10	4.90 kN (500 kgf)	18 to 100

TABLE 8 Mean Diagonal with Vickers Indenter

Ball Diameter, mm	Maximum Value of Mean Diagonal Made on the Steel Ball with a Vickers Indenter at 98.07 N (10 kgf)
10	0.148
5	0.145
2.5	0.143
2	0.142
1	0.139

Brinell hardness testing machine is acceptable for use over a test force range within which the error in test force does not exceed ±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 ±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 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 7 gives standard test forces and approximate Brinell hardness numbers for the above range of indentation diameters. 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 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 be specifically stated in the test report (see 11.1.2).

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 Newtons, and the diameter of the ball,  $D$ , measured in millimetres is the same as in the standard tests,

where:

$$0.102F/D^2 = 30 \text{ for } 29.42 \text{ kN (3000 kgf) force and 10-mm ball}$$

$$0.102F/D^2 = 15 \text{ for } 14.72 \text{ kN (1500 kgf) force and 10-mm ball}$$

$$0.102F/D^2 = 5 \text{ for } 4.90 \text{ kN (500 kgf) force and 10-mm ball}$$

*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 are often made with the following force-diameter ratios:

$$0.102FD^2 = 2.5 \quad (2)$$

$$0.102FD^2 = 1.25$$

$$0.102FD^2 = 1.0$$

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 3.2, Note 3, 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 2½ 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  $90 \pm 2^\circ$ .

## 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 specifications 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 7*—These measurements are usually made with a low-magnification portable measuring device (approximately 20×) having a fixed scale in the eyepiece. If a more accurate determination is needed, as in reference 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 8*—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 (example, 125 HBS, 99.2 HBS).

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 3.2 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.

## B. VERIFICATION OF BRINELL HARDNESS TESTING MACHINES

### 13. Scope

13.1 Part B covers two procedures for the verification of Brinell hardness testing machines. These are:

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 properly set up.

14.1.2 The ball holder, with a new ball whose nominal diameter has been checked (see 15.1.2), is firmly mounted 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 that:

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 may also be checked by making a series of at least five indentations on standardized hardness test blocks (Part C).

15.2.2 If the machine is to be used at conditions other than 10/29.42 kN (3000 kgf)/15, the machine shall also 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 6, depending on the type of ball, shall be used.

*Note 9*—When the hardness test in question makes it impossible to reach the higher hardness range defined in Table 6 (for  $0.102/F_0D^2 = 5$  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 the same type of ball (steel or carbide) as will be used for testing and this verification will be valid:

(1) For hardnesses  $\leq 450$  HBS when steel balls are used, and

(2) For hardnesses  $\leq 650$  HBW when tungsten carbide balls are used.

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 9.

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 Type of indenter 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:

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 which

TABLE 9 Repeatability of Testing Machine

Hardness of Standardized Block HBS (HBW)	Repeatability of the Testing Machine, max	Examples of Equivalent Hardnesses			
		HBS		HBW	
		H	$H_1 - H_2$ max	H	$H_1 - H_2$ max
<225	0.04 $\bar{d}$	100	9	100	9
		200	17	200	17
		350	10	300	12
>225	0.02 $\bar{d}$	350	14	400	17
				500	20
				600	24



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.

### C. CALIBRATION OF STANDARDIZED HARDNESS TEST BLOCKS FOR BRINELL HARDNESS TESTING MACHINES

#### 17. Scope

17.1 Part C covers the calibration of standardized hardness test blocks for the verification of Brinell hardness testing machines as described in Part B.

#### 18. Manufacture

18.1 Each metal block to be calibrated shall be not less than 16 mm (5/8 in.) in thickness for 10-mm balls, 12 mm (1/2 in.) thick for 5-mm balls, and 6 mm (3/16 in.) thick for smaller balls.

18.1.1 The maximum surface area of the test block shall be 40 cm<sup>2</sup> (6 in.<sup>2</sup>) for balls less than 5 mm in diameter, and 150 cm<sup>2</sup> (24 in.<sup>2</sup>) 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- $\mu$ 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 shall not exceed 0.0003-mm (12- $\mu$ 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  $\mu$ 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°C, using the general procedure described in Part 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 Diameters 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 5 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).

## ANEXO 4: Norma para ensayo de Desgaste ASTM G 105

### Standard Test Method for Conducting Wet Sand/Rubber Wheel Abrasion Tests<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation G 105; 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 superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

#### 1. Scope

1.1 This test method covers laboratory procedures for determining the resistance of metallic materials to scratching abrasion by means of the wet sand/rubber wheel test. It is the intent of this procedure to provide data that will reproducibly rank materials in their resistance to scratching abrasion under a specified set of conditions.

1.2 Abrasion test results are reported as volume loss in cubic millimeters. Materials of higher abrasion resistance will have a lower volume loss.

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

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

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 ASTM Standards:

D 2000 Classification System for Rubber Products in Automotive Applications<sup>2</sup>

D 2240 Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness<sup>3</sup>

E 11 Specification for Wire-Cloth and Sieves for Testing Purposes<sup>4</sup>

E 122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average for a Characteristic of a Lot or Process<sup>4</sup>

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods<sup>4</sup>

G 40 Terminology Relating to Wear and Erosion<sup>5</sup>

##### 2.2 Other Standard:

SAE J200<sup>6</sup>

#### 3. Terminology

3.1 **abrasive wear**—wear due to hard particles or hard protuberances forced against and moving along a solid surface (Terminology G 40).

3.1.1 *Discussion*—This definition covers several different wear modes or mechanisms that fall under the abrasive wear category. These modes may degrade a surface by scratching, cutting, deformation, or gouging (1 and 2).<sup>7,8</sup>

#### 4. Summary of Test Method

4.1 The wet sand/rubber wheel abrasion test (Fig. 1) involves the abrading of a standard test specimen with a slurry containing grit of controlled size and composition. The abrasive is introduced between the test specimen and a rotating wheel with a neoprene rubber tire or rim of a specified hardness. The test specimen is pressed against the rotating wheel at a specified force by means of a lever arm while the grit abrades the test surface. The rotation of the wheel is such that stirring paddles on both sides agitate the abrasive slurry through which it passes to provide grit particles to be carried across the contact face in the direction of wheel rotation.

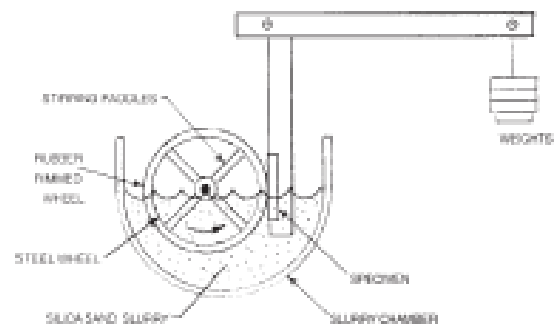


FIG. 1 Schematic Diagram of the Wear Test Apparatus

4.2 Three wheels are required with nominal Shore A Durometer hardnesses of 50, 60, and 70, with a hardness

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee G02 on Wear and Erosion and is the direct responsibility of Subcommittee G02.30 on Abrasive Wear.

Current edition approved Nov. 10, 2002. Published January 2003. Originally approved in 1989. Last previous edition approved in 1997 as G 105-89 (1997)<sup>1</sup>.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol. 09.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol. 09.01.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol. 14.02.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.02.

<sup>6</sup> Available from Society of Automotive Engineers (SAE), 400 Commonwealth Dr., Warrendale, PA 15096-0001.

<sup>7</sup> Available from Society of Automotive Engineers, 400 Commonwealth Dr., Warrendale, PA 15096.

<sup>8</sup> The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this standard.

tolerance of  $\pm 2.0$ . A run-in is conducted with the 50 Durometer wheel, followed by the test with 50, 60, and 70 Durometer wheels in order of increasing hardness. Specimens are weighed before and after each run and the loss in mass recorded. The logarithms of mass loss are plotted as a function of measured rubber wheel hardness and a test value is determined from a least square line as the mass loss at 60.0 Durometer. It is necessary to convert the mass loss to volume loss, due to wide differences in density of materials, in order to obtain a ranking of materials. Abrasion is then reported as volume loss in cubic millimetres.

## 5. Significance and Use (1-7)

5.1 The severity of abrasive wear in any system will depend upon the abrasive particle size, shape and hardness, the magnitude of the stress imposed by the particle, and the frequency of contact of the abrasive particle. In this test method these conditions are standardized to develop a uniform condition of wear which has been referred to as scratching abrasion (1 and 2). Since the test method does not attempt to duplicate all of the process conditions (abrasive size, shape, pressure, impact or corrosive elements), it should not be used to predict the exact resistance of a given material in a specific environment. The value of the test method lies in predicting the ranking of materials in a similar relative order of merit as would occur in an abrasive environment. Volume loss data obtained from test materials whose lives are unknown in a specific abrasive environment may, however, be compared with test data obtained from a material whose life is known in the same environment. The comparison will provide a general indication of the worth of the unknown materials if abrasion is the predominant factor causing deterioration of the materials.

## 6. Apparatus\*

6.1 Fig. 2 shows a typical design and Figs. 3 and 4 are photographs of a test apparatus. (See Ref (4).) Several elements are of critical importance to ensure uniformity in test results among laboratories. These are the type of rubber used on the wheel, the type of abrasive and its shape, uniformity of the test apparatus, a suitable lever arm system to apply the required force,<sup>10</sup> and test material uniformity.

6.1.1 Discussion—The location of the pivot point between the lever arm and the specimen holder must be directly in line with the test specimen surface. Unless the tangent to the wheel at the center point of the area or line of contact between the wheel and specimen also passes through the pivot axis of the

\* Present users of this practice may have constructed their own equipment. Rubber wheel abrasion testing equipment is commercially available. Rubber wheels or remolded rims on wheel hubs can be obtained through the manufacturer(s).

<sup>10</sup> An apparatus design that is commercially available is depicted both schematically and in photographs in Figs. 1-4. Although it has been used by several laboratories (including those running interlaboratory tests) to obtain wear data, it incorporates what may be considered a design flaw. The location of the pivot point between the lever arm and the specimen holder is not directly in line with the test specimen surface. Unless the tangent to the wheel at the center point of the area or line of contact between the wheel and specimen also passes through the pivot axis of the loading arm, a variable, undefined, and uncompensated torque about the pivot will be caused by the frictional drag of the wheel against the specimen. Therefore, the true loading of specimen against the wheel cannot be known.

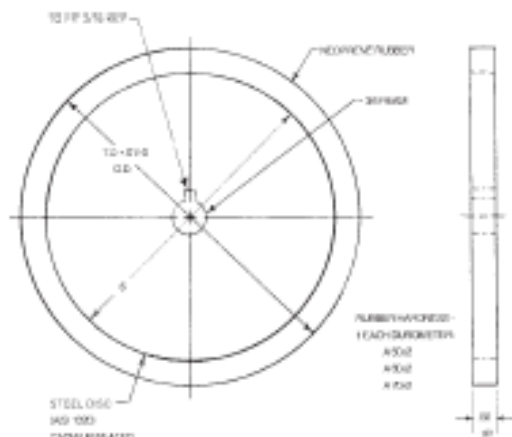


FIG. 2 Rubber Wheel

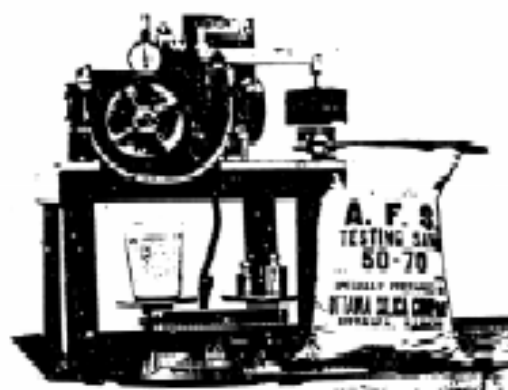


FIG. 3 Test Apparatus with Slurry Chamber Cover Removed

loading arm, a variable, undefined, and uncompensated torque about the pivot will be caused by the frictional drag of the wheel against the specimen. Therefore, the true loading of specimen against the wheel cannot be known.

6.2 Rubber Wheel—Each wheel shall consist of a steel disk with an outer layer of neoprene rubber molded to its periphery. The rubber is bonded to the rim and cured in a suitable steel mold. Wheels are nominally 178 mm (7 in.) diameter by 13 mm ( $\frac{1}{2}$  in.) wide (see Fig. 2). The rubber will conform to Classification D 2000 (SAE J200).

6.2.1 The 50 Durometer wheel will be in accordance with 2BC515K11Z1Z2Z3Z4

where:

- Z1—Elastomer—Neoprene GW,
- Z2—Type A Durometer hardness  $50 \pm 2$ ,
- Z3—Not less than 50% rubber hydrocarbon content, and
- Z4—Medium thermal black reinforcement.

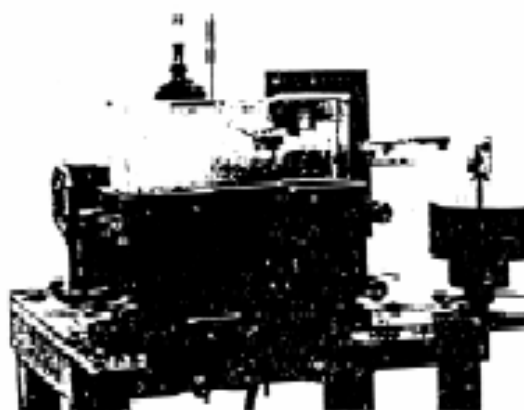


FIG. 4 Test Apparatus in Operation

6.2.2 The 60 Durometer wheel will be in accordance with 2BC615K11Z1Z2Z3Z4

where:

Z1, Z3, and Z4 are the same as for 6.2.1, and

Z2—Type A Durometer hardness  $60 \pm 2$ .

6.2.3 The 70 Durometer wheel will be in accordance with 2BC715K11Z1Z2Z3Z4

where:

Z1, Z3, and Z4 are the same as for 6.2.1, and

Z2—Type A Durometer hardness  $70 \pm 2$ .

6.2.4 The compounds suggested for the 50, 60, and 70 Durometer rubber wheels are as follows:

Ingredient	Content (pph)		
	50	60	70
Neoprene GW	100	100	100
Magnolia <sup>a</sup>	2	2	2
Zinc Oxide <sup>b</sup>	10	10	10
Ocumarine	2	2	2
Stearic Acid	0.5	0.5	0.5
SR7 Carbon Black <sup>c</sup>	30	37	63
AOTM #3 Oil	14	10	10

<sup>a</sup> Maglite D (Merck)

<sup>b</sup> Kadon 15 (New Jersey Zinc)

<sup>c</sup> AOTM Grade N782

6.2.5 Wheels are molded under pressure. Cure times of 40 to 60 min at 153°C (307°F) are used to minimize "heat-to-heat" variations.

6.3 *Motor Drive*—The wheel is driven by a 0.75-kw (1-hp) electric motor and suitable gear box to ensure that full torque is delivered during the test. The rate of revolution ( $245 \pm 5$  rpm) must remain constant under load. Other drives producing 245 rpm under load are suitable.

6.4 *Wheel Revolution Counter*—The machine shall be equipped with a revolution counter that will monitor the number of wheel revolutions as specified in the procedure. It is recommended that the incremental counter have the ability to shut off the machine after a preselected number of wheel revolutions or increments up to 5000 revolutions is attained.

6.5 *Specimen Holder and Lever Arm*—The specimen holder is attached to the lever arm to which weights are added so that

a force is applied along the horizontal diametral line of the wheel. An appropriate weight must be used to apply a force of 222 N (50 lbf) between the test specimen positioned in the specimen holder and the wheel. The weight has a mass of approximately 9.5 kg (21 lb) and must be adjusted so that the force exerted by the rubber wheel on the specimen with the rubber wheel at rest has a value of  $222.4 \pm 3.6$  N ( $50.0 \pm 0.8$  lbf). This force may be determined by calculation of the moments acting around the pivot point for the lever arm or by direct measurement, for example, by noting the load required to pull the specimen holder away from the wheel, or with a proving ring.

6.6 *Analytical Balance*—The balance used to measure the loss in mass of the test specimen shall have a sensitivity of 0.0001 g. A 150 g capacity balance is recommended to accommodate thicker or high density specimens.

## 7. Reagents and Materials

7.1 *Abrasive Slurry*—The abrasive slurry used in the test shall consist of a mixture of 0.940 kg of deionized water and 1.500 kg of a rounded grain quartz sand as typified by AFS 50/70 Test Sand ( $-50/+70$  mesh, or  $-230/+270$   $\mu$ m) furnished by the qualified source.<sup>11</sup>

7.2 AFS 50/70 test sand is controlled by the qualified source to the following size range using U.S. Sieves (Specification E 11).

U.S. Sieve Size	Sieve Opening	% Retained on Sieve
40	425 $\mu$ m (0.0165 in.)	None
50	300 $\mu$ m (0.0117 in.)	5 max
70	212 $\mu$ m (0.0083 in.)	95 min
100	150 $\mu$ m (0.0059 in.)	None Passing

7.2.1 Multiple use of the sand may affect the test comparisons.

## 8. Sampling, Test Specimen, and Test Units

8.1 *Test Unit*—Use any metallic material form for abrasion testing by this method. This includes wrought metals, castings,

<sup>11</sup> Available from Ottawa Silica Co., P.O. Box 577, Ottawa, IL 61350.

forgings, weld overlays, thermal spray deposits, powder metals, electroplated, cements, etc.

**8.2 Test Specimen**—The test specimens are rectangular in shape,  $25.4 \pm 0.8$  mm ( $1.00 \pm 0.03$  in.) wide by  $57.2 \pm 0.8$  mm ( $2.25 \pm 0.03$  in.) long by 6.4 to 15.9 mm (0.25 to 0.625 in.) thick. The test surface should be flat within 0.125 mm (0.005 in.) maximum.

**8.2.1** For specimens less than 9.5 mm thick (0.375 in.), use a shim in the specimen holder to bring the specimen to a height of 9.5 mm.

**8.3 Wrought and Cast Metal**—Specimens may be machined to size directly from raw material.

**8.4 Weld deposits** are applied to one flat surface of the test piece. Double-weld passes are recommended to prevent weld dilution by the base metal. Note that welder technique, heat input of welds, and the flame adjustment of gas welds will have an effect on the abrasion resistance of the weld deposit. Weld deposits should be made on a thick enough substrate, 12.7 mm (0.5 in.) minimum suggested, to prevent distortion. If distortion occurs, the specimen may be mechanically straightened or ground or both.

**8.4.1** In order to develop a suitable wear scar, the surface to be abraded must be ground flat to produce a smooth, level surface. A test surface without square ( $90^\circ$ ) edges, having a level surface at least 50.8 mm (2.00 in.) long and 19.1 mm (0.75 in.) wide, is acceptable if it can be positioned to show the full length and width of the wear scar developed by the test.

**8.5 Coatings**—This test may be unsuitable for some coatings, depending on their thickness, wear resistance, bond to the substrate, and other factors. The criterion for acceptability is the ability of the coating to resist penetration to its substrate during conduct of the test. Modified procedures for coatings may be developed based on this procedure.

**8.6 Finish**—Test specimens should be smooth, flat and free of scale. Surface defects such as porosity and roughness may bias the test results, and such specimens should be avoided unless the surface itself is under investigation. Excepting coatings, the last 0.3 mm (0.01 in.) of stock on the test surface (or surfaces in cases where both major surfaces are to be tested) should be carefully wet ground to a surface finish of about 0.5 to 0.75  $\mu\text{m}$  (20 to 30  $\mu\text{in.}$ ) arithmetic average as measured across the direction of grinding. The direction of the grinding should be parallel to the longest axis of the specimen. The finished surface should be free of artifacts of specimen heat treatment or preparation such as unintentional carburization or decarburization, heat checks, porosity, slag inclusions, gas voids, etc.

**8.6.1** Thin coatings may be tested in the as-coated condition since surface grinding, especially of those less than about 0.3 mm (0.01 in.) thick, can penetrate the coating or cause it to be so thin that it will not survive that test without penetration. The finish of the substrate test surface prior to coating should be such to minimize irregularities in the coated surface. Grinding of this surface as directed in 8.6 is suggested for coatings less than 0.15 mm (0.005 in.) thick.

**8.6.2** The type of surface or surface preparation shall be stated in the data sheet.

## 9. Procedure

**9.1** Thoroughly rinse the slurry chamber before the test to eliminate any remnants of slurry from a previous test.

**9.2** Install the rubber wheel of nominal 50 Durometer and measure and record its hardness.

**9.2.1** Take at least four (preferably eight) hardness readings at equally spaced locations around the periphery of the rubber wheel using a Shore A Durometer tester in accordance with Test Method D 2240. Take gage readings after a dwell time of 5 s. Report average hardness in the form: A/48.6/5, where A is the type of Durometer, 48.6 the average of the readings, and 5 the time in seconds that the pressure foot of the tester is in firm contact with the rubber rim surface. The 5-s dwell time for the pressure foot in contact with the rubber rim should be rigorously adhered to.

**9.3** Prior to testing, demagnetize each steel specimen. Then clean each specimen of all dirt and foreign matter, and degrease in acetone immediately prior to weighing. Materials with surface porosity (some powder metals or ceramics) must be dried to remove all traces of the cleaning agents that may have been entrapped in the material.

**9.4** Weigh the specimen to the nearest 0.0001 g.

**9.5** Set the revolution counter to shut off automatically after 1000 wheel revolutions.

**9.6** Install the specimen in the specimen holder, using an appropriate shim if the specimen surface is less than 9.5 mm above the holder seat surface; then install the holder in position for testing. Fill the slurry chamber with 1.500 kg of the quartz sand and 0.940 kg of deionized water at room temperature, and place a cover over the top of the slurry chamber to prevent the slurry from splashing out.

**9.7** Start wheel rotation. The rubber wheels are rotated at 245 rpm, or 2.28 m/s (449 ft/min) peripheral surface speed.

**9.8** Lower the specimen holder carefully against the wheel to prevent bouncing and to apply a force of 222 N (50 lb) against the test specimen. A wear scar is run-in for 1000 wheel revolutions. Each 1000 revolutions produces 558.6 m (1832.6 ft) of lineal abrasion assuming a 177.8 m diameter wheel. The run-in removes the surface layer and exposes fresh material that is not affected by the surface preparation.

**9.9** Following the run-in, remove the specimen from the slurry chamber. Clean, dry, and reweigh the specimen to the nearest 0.0001 g. Drain the slurry from the chamber and discard it.

**9.10** The actual abrasion test is conducted on the same wear scar starting with either the same 50 Durometer rubber wheel used for the run-in, or with another 50 Durometer rubber wheel. It is essential to install the specimen in the specimen holder with the same orientation and position each time.

**9.11** Follow the same procedure as used for the run-in, repeating steps 9.1-9.9 with the normally 50, 60, and 70 Durometer rubber wheels, in order of increasing hardness.

**9.12 Preparation and Care of Rubber Wheels**—Dress the periphery of all new rubber wheels and make concentric to the bore of the steel disk upon which the rubber is mounted. The concentricity of the rim shall be within 0.05 mm (0.002 in.) total indicator reading on the diameter. The intent is to produce a uniform surface that will run tangent to the test specimen

without causing vibration or hopping of the lever arm. The wear scars shall be rectangular in shape and of uniform depth at any section across the width (Fig. 5).

9.12.1 It is recommended that rubber wheels be dressed again after accumulating approximately 6000 revolutions during testing. Experience has shown that more than 6000 revolutions may have an adverse effect on the reproducibility of results.

9.12.2 Dress rubber wheels whenever they develop grooves or striations, or when they wear unevenly so as to develop trapezoidal or uneven wear scars on the test specimen.

9.12.3 The rubber wheel may be used until the diameter is reduced to 165 mm (6.50 in.). The shelf life of the rubber rim may not exceed two years. Store wheels so that there is no force on the rubber surface. New rubber rims may be mounted on steel disks by the qualified source.<sup>11</sup>

9.13 *Wheel Dressing Procedure*—A recommended dressing procedure for the periphery of the rubber rim is to mount the wheel on an expandable arbor in a lathe and grind it square with a freshly dressed grinding wheel such as a Norton 38A60J5VBE, having dimensions of approximately 130 × 13 × 13 mm (5 × ½ × ½ in.), rotating at a speed of 3500 rpm, while the rubber wheel rotates at 86 rpm. The rubber wheel should be cross-fed at 0.43 mm (0.017 in.) per revolution. After dressing, measure each rubber wheel carefully to determine the diameter and width of the rubber rim.

## 10. Calculation of Results

10.1 Test results obtained are three mass loss values in grams corresponding to the three average Durometer hardness values obtained for the nominally 50, 60, and 70 Durometer rubber wheels. Normalize mass loss values to correspond to the travel of a wheel having a diameter of 177.8 mm (7.000 in.) and a width of 12.7 mm (0.500 in.) using the following formula:

Normalized Mass Loss in Grams

$$= \frac{177.8 \times 12.7 \times \text{Actual Mass Loss (g)}}{\text{Actual Diameter (mm)} \times \text{Actual Width (mm)}}$$

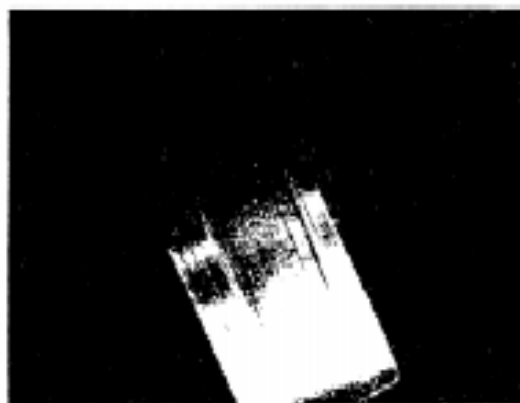


FIG. 5 Typical Uniform Wear Scar

or

$$= \frac{7.000 \times 0.500 \times \text{Actual Mass Loss (g)}}{\text{Actual Diameter (in.)} \times \text{Actual Width (in.)}}$$

10.2 Plot normalized mass loss values (that is, three values for each sample material) on a logarithmic scale against the corresponding rubber wheel hardness plotted on a linear scale. The final test result is obtained by fitting a least square line to the three data points and solving the equation of the line for the mass loss corresponding to a rubber hardness of exactly 60 Durometer. An example of the procedure is presented in Appendix X1.

10.3 *Volume Loss*—While 60 Durometer normalized mass loss results should be reported and may be used internally in test laboratories to compare materials of equivalent or near equivalent densities, it is essential that all users of the test procedure report their results uniformly as volume loss in reports or publications so that there is no confusion caused by variations in density. Convert mass loss to volume loss as follows:

$$\text{Volume Loss, mm}^3 = \frac{\text{Mass Loss (g)} \times 1000}{\text{Density (g/cm}^3\text{)}}$$

## 11. Precision and Bias

11.1 The precision and bias of the measurements obtained with this test procedure will depend upon strict adherence to the stated test parameters.

11.1.1 The coefficient of correlation ( $r$ ) for the three mass loss values determined in a test shall be calculated in accordance with Annex A1. The quantity  $r$  varies between  $-1$  and  $+1$ . Either value means that the correlation is perfect;  $r = 0$  means that there is no correlation. Data giving  $r$  values between  $0.95$  and  $-0.95$  should be scrutinized for causes of scatter.

11.2 The degree of agreement in repeated tests on the same material will depend upon material homogeneity, machine and material interaction, and close observation of the test by a competent machine operator.

11.3 Normal variations in the abrasive material, rubber wheel characteristics, and procedure will tend to reduce the accuracy of the practice as compared to the accuracy of such material property tests as hardness or density. Properly conducted tests will, however, maintain a 7% or less coefficient of variation of volume loss values that will characterize the abrasion resistance of materials (see Annex A1).

11.4 *Initial Machine Operation and Qualification*—The number of tests required to establish the precision of the machine for initial machine operation shall be at least five. The test samples shall be taken from the same homogeneous material.

11.4.1 The standard deviation from the mean average shall be calculated from the accumulated test results and reduced to the coefficient of variation in accordance with Annex A1. The coefficient of variation shall not exceed 7% in materials of the 2 to 60 mm<sup>3</sup> volume loss range. If this value is exceeded, the machine operation shall be considered out of control and steps taken to eliminate erratic results.

11.4.2 In any test series all data must be considered in the calculation, including outliers (data exceeding the obvious

range). For example, an exceedingly high or low volume loss must not be disregarded except in the case of observed faulty machine operation, or obvious test specimen anomaly.

11.5 While two or more laboratories may develop test data that is within the acceptable coefficient of variation for their own individual test apparatus, their actual averages may be relatively far apart. The selection of sample size and the method for establishing the significance of the difference in averages shall be agreed upon between laboratories and shall

be based on established statistical methods Practice E 122, Practice E 177, and *ASTM STP 150*.<sup>12</sup>

11.6 Reference materials should be used for periodic monitoring of the test apparatus and procedures in individual laboratories. (A satisfactory reference material for this test has not yet been established through laboratory testing.)

## 12. Keywords

12.1 abrasive wear test; metallic materials; rubber wheel; scratching abrasion; wet sand

<sup>12</sup> *Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis, ASTM STP 150, ASTM, 1976.*

## ANNEX

### (Mandatory Information)

#### A1. SOME STATISTICAL CONSIDERATIONS IN ABRASION TESTING

A1.1 *Background*—The wet sand/rubber wheel abrasion test as developed and described by Haworth, Borik, and others (see Refs (1-4), p. 18) has been in various stages of evolution and use over the last two or more decades. A number of variations of this test procedure have been used by several research and industrial laboratories in the United States who were faced with the problem of evaluating hardfacing alloys, castings, and wrought products for their resistance to abrasive wear. Individual laboratories set their own test parameters with the goal being the generation of reproducible test data within the laboratory. As the need for standardization became apparent, in 1962 The Society of Automotive Engineers established a division (No. 18) of the Iron and Steel Technical Committee (ISTC) to achieve this end. This was not accomplished and in 1983, subcommittee G02.30 formed a task group with the objective of producing an ASTM Standard Practice. In previous round-robins conducted by the SAE group, it has been evident that the variability of experimental error inherent in each laboratory is a factor that must be considered. Not only must the test method, apparatus, and individual operator generate correct results (bias) but the test results must be consistently reproducible (precision) within an acceptable narrow range. Another important consideration in developing accurate and precise test results is the selection of adequate sample size. More specifically this was the need for laboratories to agree on the number of times a test should be repeated on a given homogeneous material in order to obtain a meaningful average result. While the single test results and simple arithmetic averaging may in some few cases be useful in individual laboratories, it is essential that statistical techniques and multiple testing of specimens be utilized for the qualification of each test apparatus, and for the comparison of materials. Further information on statistical methods may be found in Practice E 122, *STP 150*, and in the references.

A1.2 *Statistical Formulas*—Several formulas for the calculation of optimum sample size, standard deviation, and

coefficient of variation are used in the statistical analysis of data. To ensure uniformity among laboratories using the wet sand/rubber wheel test, the standard deviation and coefficient of variation of results produced from a series of tests shall be calculated by the following formulas:

$$s = \text{standard deviation (small sample size, 2 to 10)} = R/d_2 \quad (1)$$

$$s = \text{standard deviation (any sample size)} \quad (2)$$

$$= \sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 / (n - 1)} \quad (2)$$

$$V = \% \text{ coefficient of variation} = (s/\bar{x}) \times 100 \quad (3)$$

$$n = \text{sample size (95 \% confidence level)} \quad (4)$$

$$= (1.96 / V)^2$$

where:

- $s$  = standard deviation from the mean,
- $V$  = variability of the test procedure, %,
- $x$  = value of each test result (volume loss in  $\text{mm}^3$ ),
- $\bar{x}$  = mean of arithmetic average for  $n$  tests,
- $\sum x$  = sum total of all test values,
- $n$  = number of tests or observations,
- $e$  = allowable sampling error, %,
- $R$  = difference between the highest and lowest test value, and
- $d_2$  = deviation factor, which varies with sample size (Table A1.1)

A1.3 *Use of Statistical Methods*—In evaluating the precision and accuracy of any test procedure, new users must deal with the concepts of mean averages, standard deviation from the mean, variability of test results, range of results, allowable sampling error, and particularly the effect of sample size. While it is obvious that a large number of tests on the same material is desirable and will yield a high confidence level in evaluating test results, many abrasion test evaluations are made on a small number of samples. This is due to the fact that in much abrasion work, large numbers of test specimens are just not available. In addition to this a new user is concerned with evaluating the accuracy of his first few (2 or 3) test results during the initial test campaign which certainly should not

## ANEXO 5:

### Norma para ensayo de Tracción ASTM E 8

#### Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]<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 superscript 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—These test methods are the metric companion of Test Methods E 8. Committee E-28 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—These metric test methods are essentially the same as those in Test Methods E 8, and are compatible in technical content except that gage lengths are required to be 5D for most round specimens rather than 4D as specified in Test Methods E 8. Test specimens made from powder metallurgy (PM) 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 557M.

Note 4—Room temperature shall be considered to be 10 to 38°C 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/A356M 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 557M Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast

Aluminum- and Magnesium-Alloy Products [Metric]<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 8 Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials<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 there is no point at or near the onset of yielding at which the

<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.

Current edition approved Dec. 10, 2000. Published February 2001. Originally published as E 8M - 84. Last previous edition E 8M - 00a.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.02.

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

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 02.02.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

<sup>6</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.



slope reaches zero, the material has 0 % YPE.

#### 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 12.5-mm diameter specimen, the stress increase is 1.5 % for each 0.025 mm of eccentricity. This error increases to about 2.5 %/0.025 mm for a 9-mm diameter specimen and to about 3.2 %/0.025 mm for a 6-mm 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 proved 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 stubbing 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 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 (dimensions 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.

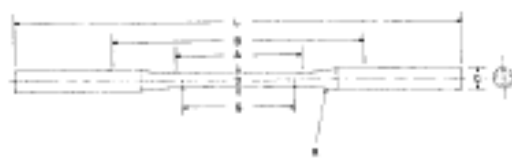
6.1.2 *Location*—Unless otherwise specified, the axis of the test specimen shall be located within the parent material as follows:

6.1.2.1 At the center for products 40 mm or less in thickness, diameter, or distance between flats.

6.1.2.2 Midway from the center to the surface for products over 40 mm 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 maximize precision and minimize bias in test results.

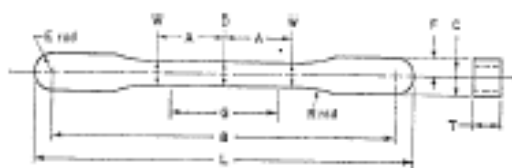
6.1.3.1 The reduced sections of prepared specimens should be free of cold work, notches, chatter marks, grooves, gouges, burrs, rough surfaces or edges, overheating, or any other condition which may deleteriously affect the properties to be measured.



Dimensions, mm	
G—Gage length	50.0 ± 0.1
D—Diameter (see Note)	6.4 ± 0.1
B—Radius of fillet, min	75
A—Length of reduced section, min	60
L—Overall length, min	230
B—Distance between grips, min	115
C—Diameter of end section, approximate	10

Note 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center, with the ends not more than 0.1 mm larger in diameter than the center.

FIG. 18 Standard Tension Test Specimen for Die Castings



Pressing Area = 645 mm<sup>2</sup>

Note 1—Dimensions specified, except G and F, are those of the die.

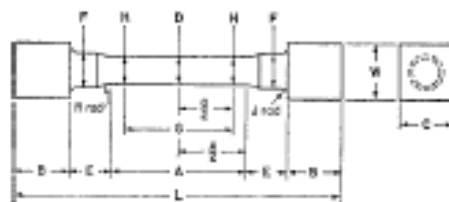
Dimensions, mm	
G—Gage length	25.40 ± 0.8
D—Width at center	5.72 ± 0.03
W—Width at end of reduced section	5.97 ± 0.03
T—Compact to this thickness	3.56 to 6.35
R—Radius of fillet	25.4
A—Half-length of reduced section	15.88
B—Grip length	30.95 ± 0.03
L—Overall length	39.64 ± 0.03
C—Width of grip section	6.71 ± 0.03
F—Half-width of grip section	4.34 ± 0.03
E—End radius	4.34 ± 0.03

FIG. 19 Standard Flat Unmachined Tension Test Specimen for Powder Metallurgy (PIM) Products

devices for the measurement and control of rate of straining, but in the absence of such a device the average rate of straining can be determined with a timing device by observing the time required to effect a known increment of strain.

7.6.2.2 *Rate of Stressing*—The allowable limits for rate of stressing shall be specified in megapascals per second. Many testing machines are equipped with pacing or indicating devices for the measurement and control of the rate of stressing, but in the absence of such a device the average rate of stressing can be determined with a timing device by observing the time required to apply a known increment of stress.

7.6.2.3 *Rate of Separation of Heads During Tests*—The allowable limits for rate of separation of the heads of the testing machine, during a test, shall be specified in metres per metre of length of reduced section (or distance between grips for specimens not having reduced sections) per second. The



Approximate Pressing Area of Unmachined Compact = 782 mm<sup>2</sup>

**Machining Recommendations**

1. Rough machine reduced section to 6.35 mm diameter
2. Finish turn 4.75/4.85 mm diameter with radii and taper
3. Polish with 00 emery cloth
4. Lap with crocus cloth

Dimensions, mm	
G—Gage length	25.40 ± 0.8
D—Diameter at center of reduced section	4.75 ± 0.03
H—Diameter at ends of gage length	4.85 ± 0.03
R—Radius of fillet	6.35 ± 0.13
A—Length of reduced section	47.63 ± 0.13
L—Overall length (die cavity length)	75, nominal
B—Length of end section	7.88 ± 0.13
C—Compact to this end thickness	10.03 ± 0.13
W—Die cavity width	10.03 ± 0.08
E—Length of shoulder	6.35 ± 0.13
F—Diameter of shoulder	7.88 ± 0.03
J—End fillet radius	1.27 ± 0.13

Note 1—The gage length and fillets of the specimen shall be as shown. The ends as shown are designed to provide a practical minimum pressing area. Other end designs are acceptable, and in some cases are required for high-strength sintered materials.

Note 2—It is recommended that the test specimen be gripped with a split collet and supported under the shoulders. The radius of the collet support circular edge is to be not less than the end fillet radius of the test specimen.

Note 3—Diameters D and H are to be concentric within 0.03 mm total indicator runout (T.I.R.), and free of scratches and tool marks.

FIG. 20 Standard Round Machined Tension Test Specimen for Powder Metallurgy (PIM) Products

limits for the rate of separation may be further qualified by specifying different limits for various types and sizes of specimens. Many testing machines are equipped with pacing or indicating devices for the measurement and control of the rate of separation of the heads of the machine during a test, but in the absence of such a device the average rate of separation of the heads can be experimentally determined by using suitable length-measuring and timing devices.

7.6.2.4 *Elapsed Time*—The allowable limits for the elapsed time from the beginning of force application (or from some specified stress) to the instant of fracture, to the maximum force, or to some other stated stress, shall be specified in minutes or seconds. The elapsed time can be determined with a timing device.

7.6.2.5 *Free-Running Crosshead Speed*—The allowable limits for the rate of movement of the crosshead of the testing machine, with no force applied by the testing machine, shall be specified in metres per metre of length of reduced section (or distance between grips for specimens not having reduced sections) per second. The limits for the crosshead speed may be further qualified by specifying different limits for various types and sizes of specimens. The average crosshead speed can be

experimentally determined by using suitable length-measuring and timing devices.

Note 21—For machines not having crossheads or having stationary crossheads, the phrase “free-running crosshead speed” may be interpreted to mean the free-running rate of grip separation.

**7.6.3 Speed of Testing When Determining Yield Properties**—Unless otherwise specified, any convenient speed of testing may be used up to one half the specified yield strength or up to one quarter the specified tensile strength, whichever is smaller. The speed above this point shall be within the limits specified. If different speed limitations are required for use in determining yield strength, yield point elongation, tensile strength, elongation, and reduction of area, they should be stated in the product specifications. In the absence of any specified limitations on speed of testing, the following general rules shall apply:

Note 22—In the previous and following paragraphs, the yield properties referred to include yield strength and yield point elongation.

7.6.3.1 The speed of testing shall be such that the forces and strains used in obtaining the test results are accurately indicated.

7.6.3.2 When performing a test to determine yield properties, the rate of stress application shall be between 1.15 and 11.5 MPa/s.

Note 23—When a specimen being tested begins to yield, the stressing rate decreases and may even become negative in the case of a specimen with discontinuous yielding. To maintain a constant stressing rate in this case would require the testing machine to operate at extremely high speeds and, in many cases, this is not practical. The speed of the testing machine shall not be increased in order to maintain a stressing rate when the specimen begins to yield. In practice, it is simpler to use either a strain rate, a rate of separation of the heads, or a free-running crosshead speed which approximates the desired stressing rate. As an example, use a strain rate that is less than 11.5 MPa/s divided by the nominal Young's Modulus of the material being tested. As another example, find a rate of separation of the heads through experimentation which would approximate the desired stressing rate prior to the onset of yielding, and maintain that rate of separation of the heads through the region that yield properties are determined. While both of these methods will provide similar rates of stressing and straining prior to the onset of yielding, the rates of stressing and straining may be different in the region where yield properties are determined. This difference is due to the change in the rate of elastic deformation of the testing machine, before and after the onset of yielding. In addition, the use of any of the methods other than rate of straining may result in different stressing and straining rates when using different testing machines, due to differences in the stiffness of the testing machines used.

**7.6.4 Speed of Testing When Determining Tensile Strength**—In the absence of any specified limitations on speed of testing, the following general rules shall apply for materials with expected elongations greater than 5%. When determining only the tensile strength, or after the yield behavior has been recorded, the speed of the testing machine shall be set between 0.05 and 0.5 m/m of the length of the reduced section (or distance between the grips for specimens not having reduced sections) per minute. Alternatively, an extensometer and strain rate indicator may be used to set the strain between 0.05 and 0.5 m/m/min.

Note 24—For materials with expected elongations less than or equal to 5%, the speed of the testing machine may be maintained throughout the test at the speed used to determine yield properties.

Note 25—Tensile strength and elongation are sensitive to test speed for many materials (see Appendix XI) to the extent that variations within the range of test speeds given above can significantly affect results.

**7.7 Determination of Yield Strength**—Determine yield strength by any of the methods described in 7.7.1 to 7.7.4. Where extensometers are employed, use only those which are verified over a strain range in which the yield strength will be determined (see 5.4).

Note 26—For example, a verified strain range of 0.2 to 2.0% is appropriate for use in determining the yield strengths of many metals.

Note 27—Determination of yield behavior on materials which cannot support an appropriate extensometer (thin wire, for example) is problematic and outside the scope of this standard.

**7.7.1 Offset Method**—To determine the yield strength by the offset method, it is necessary to secure data (autographic or numerical) from which a stress-strain diagram may be drawn. Then on the stress-strain diagram (Fig. 21) lay off  $Om$  equal to the specified value of the offset, draw  $mn$  parallel to  $OA$ , and thus locate  $r$ , the intersection of  $mn$  with the stress-strain diagram (Note 33). In reporting values of yield strength obtained by this method, the specified value of offset used should be stated in parentheses after the term yield strength, as follows:

$$\text{yield strength (offset = 0.2\%)} = 360 \text{ MPa} \quad (3)$$

In using this method, a Class B2 or better extensometer (see Practice E 83) shall be used.

Note 28—There are two general types of extensometers, averaging and non-averaging, the use of which is dependent on the product tested. For most machined specimens, there are minimal differences. However, for some forgings and tube sections, significant differences in measured yield strength can occur. For these cases, it is recommended that the averaging type be used.

Note 29—When there is a disagreement over yield properties, the

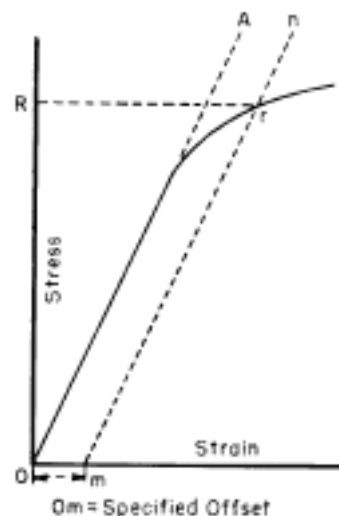


FIG. 21 Stress-Strain Diagram for Determination of Yield Strength by the Offset Method

## ANEXO 6:

Informe de ensayo de Tracción realizado en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

### RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

<b>Informe N°:</b> 050301174420171114-ETM	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
<b>Empresa / Cliente:</b> Sr. Jaime Andrés Beltrán Acurio	
<b>DIRECCIÓN:</b> Alberto Varea Quevedo, Rumipamba, Latacunga.	
<b>NÚM. DE CEDULA / RUC:</b> 0503011744	<b>TELÉFONO:</b> 0999944390
<b>E-MAIL:</b> andresbeltran9209@gmail.com	

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>
<b>Laboratorio:</b> Resistencia de Materiales.
<b>Designación del material:</b> Materiales Metálicos: aluminio, babbitt y magnesio.
<b>Método de ensayo:</b> ASTM E8

#### Número de Probetas cuantificadas.

N°	Identificación de probetas	Proceso de fabricación	Cantidad
1	050301174420171114-ETM 01	TXA: 90Al y 10 de Babbitt.	5
2	050301174420171114-ETM 02	TXB: 80Al y 20 de Babbitt.	5
3	050301174420171114-ETM 03	TXC: 70Al y 30 de Babbitt.	5
4	050301174420171114-ETM 04	TY1: 2,5 Mg, 97,5 Al.	5
5	050301174420171114-ETM 05	TY2: 5 Mg, 95 Al.	5
6	050301174420171114-ETM 06	TY3: 7,5 Mg, 92,5 Al.	5
7	050301174420171114-ETM 07	TD: 90Al y 10 Babbitt	5
8	050301174420171114-ETM 08	TD: 80Al y 20 Babbitt	5
9	050301174420171114-ETM 09	TD: 70Al y 30 Babbitt	5
<b>Total</b>			45

**Nota:** La fabricación de las probetas para la ejecución del ensayo de Resistencia a la tracción es responsabilidad del cliente.

ENSAYO SOLICITADO				
No.	No. DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN	FECHAS	
			RECEPCIÓN	ENSAYO
1	050301174420171114-ETM 01-1	Cumple criterios dimensionales.	14/11/2017	15/11/2017
2	050301174420171114-ETM 01-2	Cumple criterios dimensionales.	14/11/2017	15/11/2017
3	050301174420171114-ETM 01-3	Cumple criterios dimensionales.	14/11/2017	15/11/2017



4	050301174420171114-ETM 01-4	Cumple criterios dimensionales.	14/11/2017	15/11/2017
5	050301174420171114-ETM 01-5	Cumple criterios dimensionales.	14/11/2017	15/11/2017
6	050301174420171114-ETM 02-1	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
7	050301174420171114-ETM 02-2	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
8	050301174420171114-ETM 02-3	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
9	050301174420171114-ETM 02-4	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
10	050301174420171114-ETM 02-5	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
11	050301174420171114-ETM 03-1	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
12	050301174420171114-ETM 03-2	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
13	050301174420171114-ETM 03-3	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
14	050301174420171114-ETM 03-4	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
15	050301174420171114-ETM 03-5	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
16	050301174420171114-ETM 04-1	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
17	050301174420171114-ETM 04-2	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
18	050301174420171114-ETM 04-3	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
19	050301174420171114-ETM 04-4	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
20	050301174420171114-ETM 04-5	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
21	050301174420171114-ETM 05-1	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
22	050301174420171114-ETM 05-2	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
23	050301174420171114-ETM 05-3	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
24	050301174420171114-ETM 05-4	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
25	050301174420171114-ETM 05-5	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
26	050301174420171114-ETM 06-1	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
27	050301174420171114-ETM 06-2	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
28	050301174420171114-ETM 06-3	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017



29	050301174420171114-ETM 06-4	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
30	050301174420171114-ETM 06-5	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
31	050301174420171114-ETM 07-1	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
32	050301174420171114-ETM 07-2	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
33	050301174420171114-ETM 07-3	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
34	050301174420171114-ETM 07-4	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
35	050301174420171114-ETM 07-5	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
36	050301174420171114-ETM 08-1	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
37	050301174420171114-ETM 08-2	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
38	050301174420171114-ETM 08-3	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
39	050301174420171114-ETM 08-4	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
40	050301174420171114-ETM 08-5	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
41	050301174420171114-ETM 09-1	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
42	050301174420171114-ETM 09-2	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
43	050301174420171114-ETM 09-3	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
44	050301174420171114-ETM 09-4	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017
45	050301174420171114-ETM 09-5	Cumple criterios dimensionales	14/11/2017	15/11/2017

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



<b>Elaborado por:</b> Ing. Angel Balseca P. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López E. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
<b>Cliente</b>	

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


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



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

**INFORME DE RESULTADOS N°: 050301174420171114-ETM**

**DATOS GENERALES**

**N° de proforma:** RM\_2017\_061  
**Designación del material:** Materiales Metálicos: aluminio, babbitt y magnesio.  
**Empresa / Clientes.** Jaime Andrés Beltrán Acurio  
**RUC/C.I.:** 0503011744  
**Dirección:** Alberto Varea Quevedo, Rumipamba.      **Ciudad:** Latacunga  
**Teléfono:** 0999944390  
**Correo:** andresbeltran9209@gmail.com  
**Fecha de Inicio de Ensayo:** 15 de noviembre del 2017.

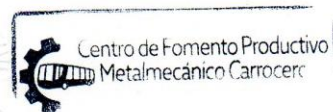
Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de materiales metálicos. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

**OBJETOS DE ENSAYO**

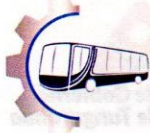
**Número de Probetas cuantificadas.**

N°	Identificación de probetas	Proceso de fabricación	Cantidad
1	050301174420171114-ETM 01	TXA: 90Al y 10 de Babbitt.	5
2	050301174420171114-ETM 02	TXB: 80Al y 20 de Babbitt.	5
3	050301174420171114-ETM 03	TXC: 70Al y 30 de Babbitt.	5
4	050301174420171114-ETM 04	TY1: 2,5 Mg, 97,5 Al.	5
5	050301174420171114-ETM 05	TY2: 5 Mg, 95 Al.	5
6	050301174420171114-ETM 06	TY3: 7,5 Mg, 92,5 Al.	5
7	050301174420171114-ETM 07	TD: 90Al y 10 Babbitt	5
8	050301174420171114-ETM 08	TD: 80Al y 20 Babbitt	5
9	050301174420171114-ETM 09	TD: 70Al y 30 Babbitt	5
<b>Total</b>			45

**Observaciones:** La fabricación de las probetas para la ejecución del ensayo de Resistencia a la tracción es responsabilidad del cliente.







<b>Elaborado por:</b>		<b>Aprobado por:</b>
Ing. Fernando Galarza	Ing. Angel Balseca	Ing. Esteban López E. MEng.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

**Fecha de entrega de Informe:** Ambato, 15 de noviembre del 2017.

**Nº. Factura:** 001-002-000003732.

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS**

**Lugar de Ejecución del Ensayo:** Laboratorio de Resistencia de Materiales.

**Dirección:** Ambato/Catigлата. Toronto y Rio de Janeiro.

**Fecha de Finalización de Ensayo:** 15 de noviembre del 2017

**Tipo de ensayo:** Cuantitativo.

**Método de ensayo:** ASTM E8. Materiales metálicos. Ensayo de tracción.

**Tipo de probeta:** plana **Longitud calibrada:** 25,4 mm

**Equipo utilizado:** Maquina de ensayos universal. Metro test 50 kN

**Velocidad de ensayo:** 10 mm/min **Precarga:** 100 N

**Observaciones del ensayo:** Ninguna.

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



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

## Resultados

Prueba	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia de rotura (MPa)	Limite de fluencia (MPa)	Desplazamiento (mm)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor						
1	05030117442017114-ETM 01-1	19	73	6,75	4,28	1274,87	127,80	44,13	4,42	1,03	4,07
2	05030117442017114-ETM 01-2	19	73	6,44	4,37	1175,47	167,25	41,77	5,94	1,48	5,83
3	05030117442017114-ETM 01-3	19	73	6,33	4,26	1227,53	145,16	45,52	5,38	1,03	4,07
4	05030117442017114-ETM 01-4	19	73	6,66	4,25	1478,40	167,26	52,23	5,91	1,69	6,67
5	05030117442017114-ETM 01-5	19	73	6,67	4,68	1644,07	166,67	58,08	5,85	2,84	11,20
				Promedio $\bar{x}$		1360,07	154,83	48,35	5,50	1,62	6,37
				Desviación estándar $S_{n-1}$		195,93	17,84	6,69	0,65	0,74	2,93
				Coeficiente de variación CV		14,41	11,52	13,83	11,73	45,97	45,97
				Dimensiones mm							
				Ancho	Espesor						
6	05030117442017114-ETM 02-1	19	70	6,83	4,56	798,37	126,22	25,63	4,05	0,99	3,89
7	05030117442017114-ETM 02-2	19	70	6,74	4,28	1166,00	190,91	40,42	6,62	0,80	3,16
8	05030117442017114-ETM 02-3	19	70	6,42	3,36	894,62	124,65	35,19	4,90	0,81	3,20
9	05030117442017114-ETM 02-4	19	70	6,36	4,56	1565,18	142,00	53,97	4,90	1,93	7,59
10	05030117442017114-ETM 02-5	19	70	6,45	4,17	1634,61	181,45	60,77	6,75	2,89	11,39
				Promedio $\bar{x}$		1211,76	153,05	43,20	5,44	1,49	5,85
				Desviación estándar $S_{n-1}$		379,89	31,18	14,19	1,19	0,91	3,60
				Coeficiente de variación CV		31,35	20,37	32,85	21,78	61,60	61,60



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carroceros

INFORME DE TRACCIÓN METALICOS



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia de rotura (MPa)	Limite de fluencia (MPa)	Desplazamiento (mm)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor						
11	050301174420171114-ETM-03-1	20	69	6,48	3,71	621,65	168,82	25,86	7,02	0,84	3,30
12	050301174420171114-ETM-03-2	20	69	6,62	4,67	1259,09	135,69	40,73	4,39	1,89	7,43
13	050301174420171114-ETM-03-3	20	69	6,76	4,10	534,88	132,53	19,30	4,78	0,96	3,78
14	050301174420171114-ETM-03-4	20	69	6,75	4,01	309,25	137,27	11,43	5,07	0,74	2,91
15	050301174420171114-ETM-03-5	20	69	8,04	3,97	730,52	142,00	22,89	4,45	1,03	4,05
				Promedio $\bar{x}$		691,08	143,26	24,04	5,14	1,09	4,29
				Desviación estándar $S_{n-1}$		353,27	14,69	10,78	1,08	0,46	1,81
				Coeficiente de variación CV		51,12	10,25	44,83	21,10	42,05	42,05
				Dimensiones mm							
				Ancho	Espesor						
16	050301174420171114-ETM-04-1	21	68	6,6	4,3	1606,21	135,69	56,60	4,78	1,30	5,10
17	050301174420171114-ETM-04-2	21	68	6,84	4,37	1543,09	211,43	51,62	7,07	1,17	4,59
18	050301174420171114-ETM-04-3	21	68	6,37	3,95	1852,34	230,36	73,62	9,16	1,12	4,42
19	050301174420171114-ETM-04-4	21	68	6,43	4,1	1276,44	257,18	48,42	9,76	0,70	2,76
20	050301174420171114-ETM-04-5	21	68	6,35	4,49	1017,68	160,94	35,69	5,64	0,86	3,39
				Promedio $\bar{x}$		1459,15	199,12	53,19	7,28	1,03	4,05
				Desviación estándar $S_{n-1}$		320,76	49,95	13,79	2,16	0,24	0,95
				Coeficiente de variación CV		21,98	25,08	25,92	29,67	23,51	23,51

Código: RG-RM-008  
Fecha de Elaboración: 08-03-2017  
Fecha de última aprobación: 16-05-2017  
Revision: 1

INFORME DE ENSAYO DE  
TRACCIÓN MATERIALES  
METALICOS

Página 4 de 7



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

Prueba	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia de rotura (MPa)	Limite de fluencia (MPa)	Desplazamiento (mm)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor						
21	05030117442017114-ETM 05-1	21	68	6,37	4,12	751,04	149,89	28,62	5,71	0,62	2,43
22	05030117442017114-ETM 05-2	21	68	6,32	4,56	1958,06	148,31	67,94	5,15	1,52	5,96
23	05030117442017114-ETM 05-3	21	68	6,38	4,2	1355,34	178,29	50,58	6,65	1,08	4,25
24	05030117442017114-ETM 05-4	21	68	6,21	4,34	1841,30	124,65	68,32	4,62	1,48	5,82
25	05030117442017114-ETM 05-5	21	68	6,4	4,76	910,39	156,20	29,88	5,13	1,27	5,00
				Promedio $\bar{x}$		1363,23	151,47	49,07	5,45	1,19	4,69
				Desviación estándar $S_{n-1}$		539,04	19,19	19,46	0,77	0,37	1,44
				Coeficiente de variación CV		39,54	12,67	39,67	14,17	30,74	30,74
				Dimensiones mm							
				Ancho							
				Espesor							
26	05030117442017114-ETM 06-1	22	65	6,56	4,40	774,7	130,96	26,84	4,54	1,15	4,51
27	05030117442017114-ETM 06-2	22	65	6,38	4,64	1708,76	142,00	57,72	4,80	1,51	5,93
28	05030117442017114-ETM 06-3	22	65	6,58	4,28	1044,51	145,16	37,09	5,15	1,24	4,90
29	05030117442017114-ETM 06-4	22	65	6,47	4,21	621,65	165,67	22,82	6,08	0,64	2,50
30	05030117442017114-ETM 06-5	22	65	6,47	4,38	1166,00	160,94	41,15	5,68	1,16	4,56
				Promedio $\bar{x}$		1063,12	148,95	37,12	5,25	1,14	4,48
				Desviación estándar $S_{n-1}$		420,08	14,23	13,70	0,63	0,32	1,24
				Coeficiente de variación CV		39,51	9,55	36,90	12,01	27,78	27,78

Código: RG-RM-008  
Fecha de Elaboración: 08-03-2017  
Fecha de última aprobación: 16-05-2017

INFORME DE ENSAYO DE  
TRACCIÓN MATERIALES  
METÁLICOS

Página 5 de 7



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocerio



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

Prueba	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia de rotura (MPa)	Limite de fluencia (MPa)	Desplazamiento (mm)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor						
31	05030117442017114-ETM 07-1	22	64	6,41	4,08	968,77	145,16	37,04	5,55	0,86	3,40
32	05030117442017114-ETM 07-2	22	64	6,33	4,15	934,06	151,47	35,47	5,75	1,52	5,98
33	05030117442017114-ETM 07-3	22	64	6,28	4,16	945,11	142,00	36,18	5,44	1,00	3,95
34	05030117442017114-ETM 07-4	22	64	6,52	3,97	482,81	157,78	21,97	7,18	0,78	3,06
35	05030117442017114-ETM 07-5	22	64	6,25	4,29	1188,09	132,53	44,31	4,94	1,45	5,71
				Promedio $\bar{x}$		903,77	145,79	34,99	5,77	1,12	4,42
				Desviación estándar $S_{n-1}$		257,34	9,57	8,10	0,84	0,34	1,34
				Coeficiente de variación CV		28,47	6,57	23,14	14,58	30,40	30,40
				Dimensiones mm							
				Ancho	Espesor						
36	05030117442017114-ETM 08-1	22	63	6,42	4,13	339,23	126,22	12,79	4,76	1,12	4,43
37	05030117442017114-ETM 08-2	22	63	6,24	3,97	244,56	108,87	9,87	4,39	0,68	2,69
38	05030117442017114-ETM 08-3	22	63	6,25	4,20	356,58	127,80	13,58	4,87	1,04	4,08
39	05030117442017114-ETM 08-4	22	63	6,53	4,24	334,49	146,74	12,08	5,30	0,70	2,77
40	05030117442017114-ETM 08-5	22	63	6,26	4,16	455,99	138,85	17,51	5,33	0,80	3,13
				Promedio $\bar{x}$		346,17	129,70	13,17	4,93	0,87	3,42
				Desviación estándar $S_{n-1}$		75,30	14,35	2,79	0,39	0,20	0,79
				Coeficiente de variación CV		21,75	11,06	21,22	7,99	23,11	23,11

Código: RG-RM-008  
Fecha de Elaboración: 08-03-2017  
Fecha de última aprobación: 16-05-2017

**INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES METÁLICOS**



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

Prueba	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia de rotura (MPa)	Limite de fluencia (MPa)	Desplazamiento (mm)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor						
41	05030117442017114-ETM 09-1	22	63	6,60	4,28	227,20	134,11	8,04	4,75	0,23	0,89
42	05030117442017114-ETM 09-2	22	63	6,15	4,06	438,63	118,33	17,57	4,74	0,46	1,80
43	05030117442017114-ETM 09-3	22	63	6,20	4,08	446,52	145,16	17,65	5,74	0,75	2,95
44	05030117442017114-ETM 09-4	22	63	6,65	4,05	448,10	153,05	18,29	6,25	0,70	2,74
45	05030117442017114-ETM 09-5	22	63	6,20	3,97	566,43	140,42	23,01	5,70	0,84	3,29
				Promedio $\bar{x}$		425,38	138,21	16,91	5,44	0,59	2,33
				Desviación estándar $S_{n-1}$		122,79	13,09	5,45	0,67	0,25	0,98
				Coeficiente de variación CV		28,87	9,47	32,22	12,27	41,90	41,90

ALTA  
HORA

Código: RG-RM-008  
Fecha de Elaboración: 08-03-2017  
Fecha de última aprobación: 16-05-2017

INFORME DE ENSAYO DE  
TRACCIÓN MATERIALES  
METÁLICOS

Página 7 de 7



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocerio



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS**

Informe N°: 05030117442017114-ETM

**DATOS DEL CLIENTE**

Empresa / Cliente: Sr. Jaime Andrés Beltrán Acurio

DIRECCIÓN: Alberto Vareca Quevedo, Rumipamba, Latacunga.

NÚM. DE CEDULA / RUC: 0503011744

TELÉFONO: 0999944390

E-MAIL: andresbeltran9209@gmail.com

**DATOS INFORMATIVOS**

Laboratorio: Resistencia de Materiales.

Designación del material: Materiales Metálicos: aluminio, babbit y magnesio.

Método de ensayo: ASTM E8

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
1	05030117442017114-ETM-01-1	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balsaca	Se almacena	
2	05030117442017114-ETM-01-2	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balsaca	Se almacena	
3	05030117442017114-ETM-01-3	14/11/2017	17/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
4	05030117442017114-ETM-01-4	14/11/2017	17/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
5	05030117442017114-ETM-01-5	14/11/2017	17/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	

**HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS**



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carroero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

6	050301174420171114-ETM-02-1	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balseca	Se almacena	
7	050301174420171114-ETM-02-2	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balseca	Se almacena	
8	050301174420171114-ETM-02-3	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	
9	050301174420171114-ETM-02-4	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	
10	050301174420171114-ETM-02-5	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	
11	050301174420171114-ETM-03-1	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balseca	Se almacena	
12	050301174420171114-ETM-03-2	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balseca	Se almacena	
13	050301174420171114-ETM-03-3	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	
14	050301174420171114-ETM-03-4	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	
15	050301174420171114-ETM-03-5	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	

**HOJA DE ALMACENAMIENTO  
DE MUESTRAS**

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















Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carroero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

16	050301174420171114-ETM 04-1	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balsaca	Se almacena	
17	050301174420171114-ETM 04-2	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balsaca	Se almacena	
18	050301174420171114-ETM 04-3	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	
19	050301174420171114-ETM 04-4	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	
20	050301174420171114-ETM 04-5	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	
21	050301174420171114-ETM 05-1	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balsaca	Se almacena	
22	050301174420171114-ETM 05-2	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balsaca	Se almacena	
23	050301174420171114-ETM 05-3	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	
24	050301174420171114-ETM 05-4	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	
25	050301174420171114-ETM 05-5	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	

HOJA DE ALMACENAMIENTO  
DE MUESTRAS

26	050301174420171114-ETM 06-1	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balseca	Se almacena	
27	050301174420171114-ETM 06-2	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balseca	Se almacena	
28	050301174420171114-ETM 06-3	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	
29	050301174420171114-ETM 06-4	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	
30	050301174420171114-ETM 06-5	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	
31	050301174420171114-ETM 07-1	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balseca	Se almacena	
32	050301174420171114-ETM 07-2	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balseca	Se almacena	
33	050301174420171114-ETM 07-3	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	
34	050301174420171114-ETM 07-4	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	
35	050301174420171114-ETM 07-5	14/11/2017	17/11/2017	Ciente	Se entrega al cliente	

Código: RG-RM-003  
Fecha de Elaboración: 06-07-2016

**HOJA DE ALMACENAMIENTO  
DE MUESTRAS**



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Caracero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

36	050301174420171114-ETM 08-1	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balseca	Se almacena	
37	050301174420171114-ETM 08-2	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balseca	Se almacena	
38	050301174420171114-ETM 08-3	14/11/2017	17/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
39	050301174420171114-ETM 08-4	14/11/2017	17/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
40	050301174420171114-ETM 08-5	14/11/2017	17/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
41	050301174420171114-ETM 09-1	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balseca	Se almacena	
42	050301174420171114-ETM 09-2	14/11/2017	17/11/2017	Ing. A. Balseca	Se almacena	
43	050301174420171114-ETM 09-3	14/11/2017	17/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
44	050301174420171114-ETM 09-4	14/11/2017	17/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
45	050301174420171114-ETM 09-5	14/11/2017	17/11/2017	Cliente	Se entrega al cliente	

Las probetas número uno y dos por acuerdo con el cliente se almacenan en el CFPMC. El centro no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las otras, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

Código: RC-RM-003  
Fecha de Elaboración: 06-07-2016  
Fecha de última aprobación: 17-01-2017  
Página: 2

HOJA DE ALMACENAMIENTO  
DE MUESTRAS





Página 5 de 6



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carroceros





Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

 <b>Elaborado por:</b> Ing. Angel Balseca P. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	 <b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López E. M.Eng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
 Cliente	

Código: RG-RM-003  
Fecha de Elaboración: 06-07-2016  
Fecha de última aprobación: 17-01-2017  
Revisión: 2

**HOJA DE ALMACENAMIENTO  
DE MUESTRAS**

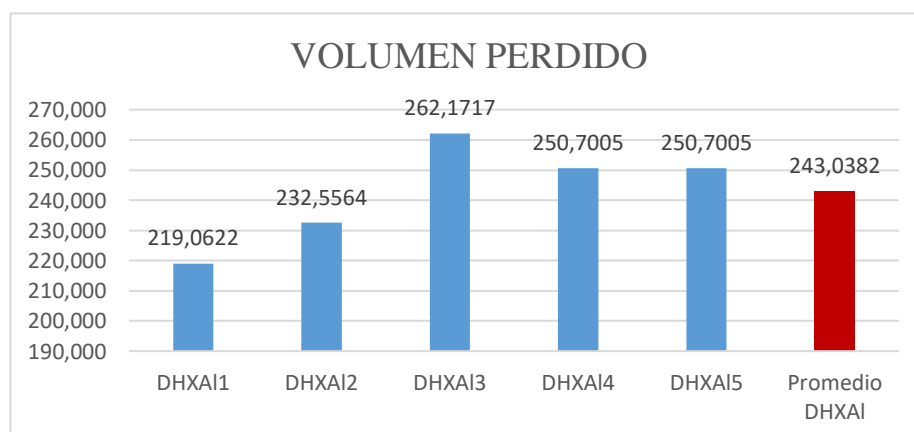
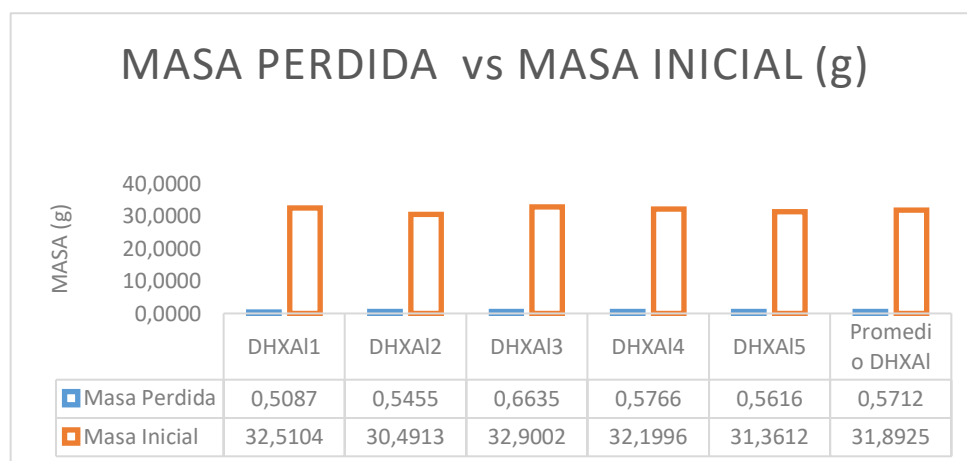
ANEXO 7: Ficha de datos y resultados Ensayo de dureza y desgaste Aluminio 1060.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		  <b>Reg: DHXLA,#(1 -15)</b>								
	<b>ENSAYO DE DESGASTE</b>										
<b>REGISTRO DE EXAMEN DE DESGASTE PARA MATERIAL OBTENIDO POR EL MÉTODO DE P/M ALUMINIO 1060</b>											
<b>Laboratorio</b>	<b>Laboratorios de Carrera de Ingeniería Mecánica de la FICM - UTA</b>										
<b>Equipo</b>	Máquina de desgaste										
<b>Ensayo</b>	Desgaste	<b>Ciudad</b>	Ambato								
<b>Norma</b>	ASTM G 105	<b>Fecha</b>	21/11/2017								
<b>TIPO DE MATERIAL</b>											
<b>Material #1</b>	Aluminio 1060	<b>Material #2</b>	-								
<b>% Material</b>	100%	<b>% Material</b>	-								
<b>CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL</b>											
<b>Granulometría</b>	Forma de granos Mixtos	<b>Tamaño Partículas</b>	45 um - 63 um								
<b>P compactación</b>	270 Mpa	<b>T Sinterizado</b>	660°C								
<b>CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO</b>											
<b>Tipo de ensayo</b>	Cuantitativo	<b>Tipo de probetas</b>	Plana								
<b>Peso. (4 decimales)</b>	0,0001 g	<b>Precarga</b>	222 N								
<b>Dimensiones</b>	Cumple criterios dimensionales	<b>Revoluciones</b>	1000 rpm								
<b>Arena cuarzo redondeado</b>	1,5 kg	<b>Agua des ionizada</b>	0,940 kg								
<b>Tipo de ensayo</b>	Cuantitativo	<b>Tipo de probetas</b>	Plana								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"><b>Elaborado por:</b></td> <td style="width: 25%;">Sr. Andrés Beltrán</td> <td style="width: 25%;"><b>Aprobado por:</b></td> <td style="width: 25%;">Ing. Mg. Gonzalo López</td> </tr> <tr> <td><b>Revisado por:</b></td> <td>Ing. Jorge Mera.</td> <td><b>Validado por:</b></td> <td>Ing. Mg. Gonzalo López</td> </tr> </table>				<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López								
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López								

**DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE DESGASTE  
UTILIZANDO LA NORMA G 105**

Nombre Probeta.	Masa Inicial (g)	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Masa Perdida (g)	Volumen Perdido mm <sup>3</sup>	$\bar{X}-X^{\sim}$
DHXAI1	32,5104	2,3222	0,5087	219,0622	-0,0625
DHXAI2	30,4913	2,3455	0,5455	232,5564	-0,0257
DHXAI3	32,9002	2,5308	0,6635	262,1717	0,0923
DHXAI4	32,1996	2,3000	0,5766	250,7005	0,0054
DHXAI5	31,3612	2,2401	0,5616	250,7005	-0,0096
<b>Promedio DHXAI</b>	<b>31,8925</b>	<b>2,3477</b>	<b>0,5712</b>	<b>243,0382</b>	<b>0,0391</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>0,01955</b>		<b>Error (Coef. Varia.)</b>		<b>3,4233</b>

**GRÁFICAS DE RESULTADOS**





<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

<b>Observación</b>	<b>Evaluación</b>
<p>* Las probetas ensayadas presentaron un buen comportamiento al momento de realizar el ensayo, recalando que las muestras cumplen con criterios dimensionales, y los resultados del cada grupo de muestras exhibieron resultados coherentes dentro del mismo.</p>	<p>* Del ensayo realizado se obtiene que el material estudiado perdió 243.0382 mm<sup>3</sup>, y una masa perdida de 0.5712 g en promedio; con lo cual se obtiene un porcentaje de error correspondiente a 3.4233 %; que de acuerdo a la norma, el error máximo puede ser de 4.30 %; con estos resultados se presenta un error aceptable para el ensayo bajo norma ASTM G 105, debido a que el error calculado es menor al permitido.</p>

(Fuente: Autor)

<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

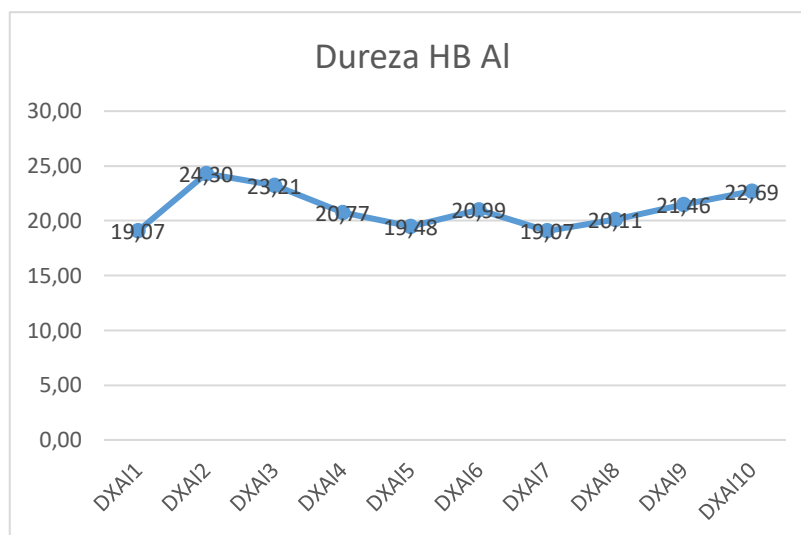
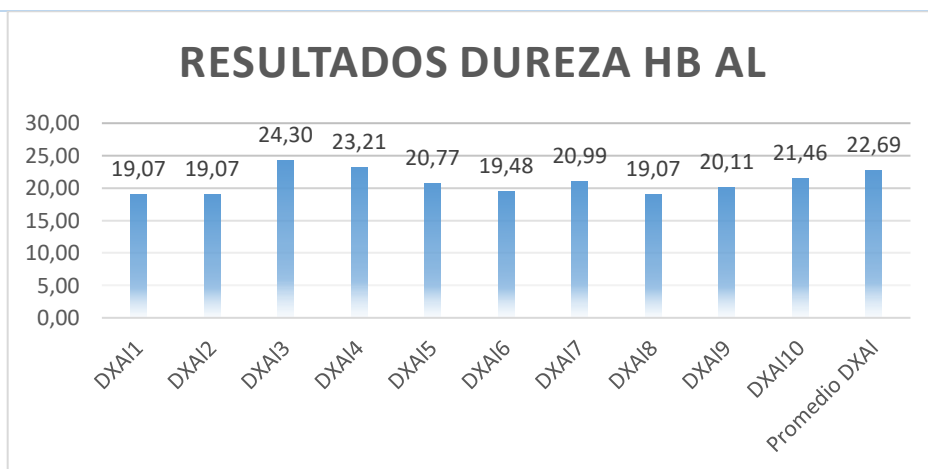
ANEXO 7: Ficha de datos y resultados Ensayo de dureza y desgaste Aluminio 1060.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>			
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECANICA			
<b>Reg:DX1,#(1-15)</b>				
<b>ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)</b>				
<b>REGISTRO DE EXAMEN DE DUREZA PARA MATERIAL OBTENIDO POR EL MÉTODO DE P/M ALUMINIO 1060.</b>				
<b>Laboratorio</b>	<b>Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica FICM-UTA</b>			
<b>Equipo</b>	Hardness Tester model HBRV-187,5			
<b>Tipo de ensayo</b>	Dureza Brinell (HB)	<b>Ciudad</b>	Ambato	
<b>Norma</b>	ASTM E 10	<b>Fecha</b>	07/11/2017	
<b>TIPO DE MATERIAL</b>				
<b>Material #1</b>	Aluminio 1060	<b>Material #2</b>	-	
<b>% Material</b>	100 %	<b>% Material</b>	-	
<b>CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL</b>				
<b>Granulometría</b>	Forma de granos Mixtos	<b>Tamaño Partículas</b>	45 um – 63 um	
<b>P compactación</b>	270 Mpa	<b>T Sinterizado</b>	660°C	
<b>CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO</b>				
<b>Espesor muestra</b>	5 mm	<b>Diámetro bola</b>	5 mm	
<b>Dist. Al Borde</b>	≥ 2 mm	<b>Dist. Entre penetraciones</b>	≥ 2 mm	
<b>Fórmula HB</b>	$0.102 * \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	<b>Fuerza aplicada</b>	612,9 N	
<b>DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)</b>				
<b>Nomb. Huella.</b>	<b>Fuerza aplicada (N)</b>	<b>Dureza Obtenida (HB)</b>	<b>Error (H-H)</b>	
<b>DXA11</b>	612,9	19,07	-2,043	
<b>DXA12</b>	612,9	24,30	3,188	
<b>DXA13</b>	612,9	23,21	2,094	
<b>DXA14</b>	612,9	20,77	-0,347	
<b>DXA15</b>	612,9	19,48	-1,639	
<b>DXA16</b>	612,9	20,99	-0,120	
<b>DXA17</b>	612,9	19,07	-2,043	
<b>DXA18</b>	612,9	20,11	-1,008	
<b>DXA19</b>	612,9	21,46	0,345	



<b>DXAI10</b>	612,9	22,69	1,574
<b>Promedio DXAI</b>	<b>612,9</b>	<b>21,12</b>	<b>1,440</b>

### GRÁFICAS DE RESULTADOS





<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

Observación	Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>La distribución de los datos muestran una separación marcada, la cual puede ser causada por la compactación del material.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Del promedio del total de las huellas de penetración se obtiene que el material analizado consta con una DUREZA BRINELL DE 21.12 HB.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Las huellas de penetración XA12 y XA16 muestran los valores inferiores del ensayo de dureza del material.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conforme a la norma ASTM E 10 para durezas Brinell de 30 HB, el porcentaje de <b>error</b> no debe superar el valor de 2,7; Por tal motivo el analisis realizado en este material cumple con esta limitación debido a que el error calculado es de <b>1,440</b> el cual se encuentra dentro del valor aceptable.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Las penetraciones de bola XA18 y XA15 son los picos más altos del ensayo de dureza.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>En total se tiene 10 penetraciones de bola correspondientes al material obtenido por P/M Aluminio 1060.</li> </ul>	

(Fuente: Autor)

<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

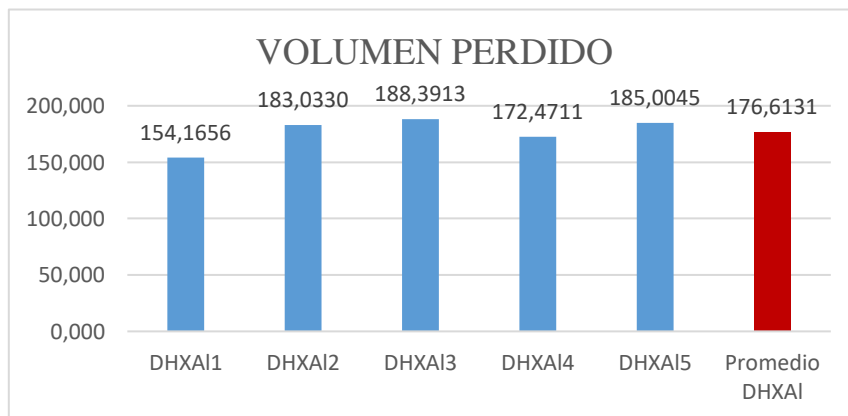
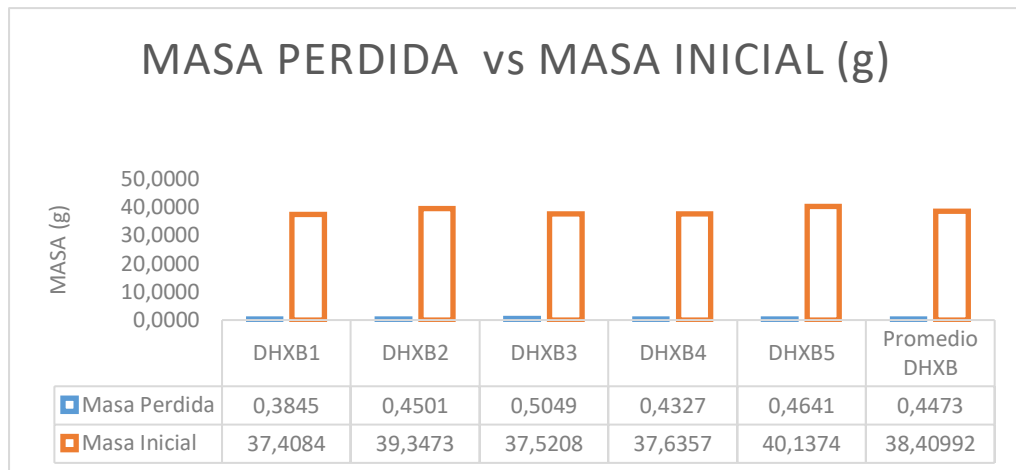
**ANEXO 8:** Ficha de datos y resultados Ensayo de desgaste Babbit.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA											
					<b>Reg:</b> DHXB,#(1-5)							
<b>ENSAYO DE DESGASTE</b>												
<b>REGISTRO DE EXAMEN DE DESGASTE PARA MATERIAL OBTENIDO POR EL MÉTODO DE P/M Babbit b 23 Alloy 2</b>												
<b>Laboratorio</b>	Laboratorios de Carrera de Ingeniería Mecánica de la FICM - UTA											
<b>Equipo</b>	Máquina de desgaste											
<b>Ensayo</b>	Desgaste	<b>Ciudad</b>	Ambato									
<b>Norma</b>	ASTM G 105	<b>Fecha</b>	21/11/2017									
<b>TIPO DE MATERIAL</b>												
<b>Material #1</b>	Babbit b 23 alloy 2	<b>Material #2</b>	-									
<b>% Material</b>	100%	<b>% Material</b>	-									
<b>CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL</b>												
<b>Granulometría</b>	Forma de granos Mixtos	<b>Tamaño Partículas</b>	45 um - 63 um									
<b>P compactación</b>	270 Mpa	<b>T Sinterizado</b>	660°C									
<b>CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO</b>												
<b>Tipo de ensayo</b>	Cuantitativo	<b>Tipo de probetas</b>	Plana									
		<b>Precarga</b>	222 N									
<b>Dimensiones</b>	Cumple criterios dimensionales	<b>Revoluciones</b>	1000 rpm									
<b>Arena cuarzo redondeado</b>	1,5 kg	<b>Agua des ionizada</b>	0,940 kg									
<b>Tamaño partículas arena</b>	450 um	<b>Peso con decimales aprox.</b>	0,0001 g									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"><b>Elaborado por:</b></td> <td style="width: 25%;">Sr. Andrés Beltrán</td> <td style="width: 25%;"><b>Aprobado por:</b></td> <td style="width: 25%;">Ing. Mg. Gonzalo López</td> </tr> <tr> <td><b>Revisado por:</b></td> <td>Ing. Jorge Mera.</td> <td><b>Validado por:</b></td> <td>Ing. Mg. Gonzalo López</td> </tr> </table>					<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López	<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López									
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López									

**DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE DESGASTE  
UTILIZANDO LA NORMA G 105**

Nombre Probeta.	Masa Inicial (g)	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Masa Perdida (g)	Volumen Perdido mm <sup>3</sup>	X-X <sup>↔</sup>
DHXB1	37,4084	2,4939	0,3845	154,1656	-0,0628
DHXB2	39,3473	2,4592	0,4501	183,0330	0,0029
DHXB3	37,5208	2,6801	0,5049	188,3913	0,0576
DHXB4	37,6357	2,5090	0,4327	172,4711	-0,0145
DHXB5	40,1374	2,5086	0,4641	185,0045	0,0168
<b>Promedio DHXB</b>	<b>38,4099</b>	<b>2,5302</b>	<b>0,4473</b>	<b>176,6131</b>	<b>0,0309</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>0,01546</b>		<b>Error (Coef. Varia.)</b>		<b>3,4574</b>

**GRÁFICAS DE RESULTADOS**



<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

**Observación**

**Evaluación**

<p>* Las probetas ensayadas presentaron un buen comportamiento al momento de realizar el ensayo, recalando que las muestras cumplen con criterios dimensionales, y los resultados de cada grupo de muestras exhibieron resultados coherentes dentro del mismo.</p>	<p>* Del ensayo realizado se obtiene que el material estudiado perdió 176.6131 mm<sup>3</sup>, y una masa perdida de 0.7443 g en promedio; con lo cual se obtiene un porcentaje de error correspondiente a 3.4574 %; que de acuerdo a la norma, el error máximo puede ser de 4.30 %; con estos resultados se presenta un error aceptable para el ensayo bajo norma ASTM G 105, debido a que el error calculado es menor al permitido.</p>
--	---

(Fuente: Autor)

<b>Elaborado por:</b>	Sr. Andrés Beltrán	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López
<b>Revisado por:</b>	Ing. Jorge Mera.	<b>Validado por:</b>	Ing. Mg. Gonzalo López

**ANEXO 9:** Resultados ensayos de Tracción Babbit obtenido en “Investigaciones Previas” [19]

**Paso 4** Presentación de Análisis Químicos de las probetas en forma de medallón.

**TABLA 24**  
**COMPARACIÓN DE PORCENTAJES DEL SEGUNDO ENSAYO**  
**BABBITT 3**

Encayo	Babbitts En base de estaño	Sn % (Estaño)	Sb % (Antimonio)	Cu % (Cobre)
00	Babbitt ASTM B 23 grado 3 (En cojinetes)	84,23	7,87	7,9
01	PK ESPECIAL (BASE Sn)	90,6	4,6	4,8
02	PK ESPECIAL (BASE Sn) + 40,19 gramos de Sb + 38,19 gramos de Cu.	84,13	7,96	7,91
03	PK ESPECIAL (BASE Sn) + 40,19 gramos de Sb + 38,19 gramos de Cu.	84,11	7,97	7,92
Norma	Babbitt ASTM B 23 grado 3 OBJETIVO	83.0 - 85.0	7.5 - 8.5	7.5 - 8.5

Se hace un tercer ensayo para verificaron y se comprueba que los porcentaje fueron correctos y de acuerdo norma, la cual representa un grado de confiabilidad elevado.

**ENSAYOS DE TRACCIÓN PARA BARRAS DE BABBITT 3**

Luego de utilizar los moldes para las probetas en forma de barra se dispone a utilizar estos materiales para mecanizar las barras con medidas normalizadas Como se muestra en la figura 2,8



**FIGURA 2.6 PROBETA DE Sn SOMETIDA AL ENSAYO DE TRACCIÓN**



**FIGURA 2.7 EQUIPO COMPLETO VERSATESTER 30M ADAPTADO A COMPUTADORA PARA ENSAYO DE PROBETAS EN BASE DE Sn**



**FIGURA 2.8 FRACTURA FRÁGIL DE PROBETA DE BABBITT  
EN BASE DE Sn**

Después se procede hacer los ensayos de tracción a tres probetas en la máquina que esta en los laboratorios de Intramet Versa Tester 30M, los cuales al promediar nos dan los siguientes resultados:

**TABLA 25**

**PROPIEDADES FISICAS DEL BABBITT EN BASE DE Sn**

DATOS	UNIDAD(Mpa)	UNIDAD(Mpa)
	ASTM (20 °C)	Intramet (25 °C)
Resistencia a la Ruptura	(45,5)	(44,1)
Límite de Elasticidad	(36,9)	(35,6)

Comparando estos resultados con los de la norma ASTM no presenta inconformidades, si notamos que los ensayos se hicieron en diferentes temperaturas.

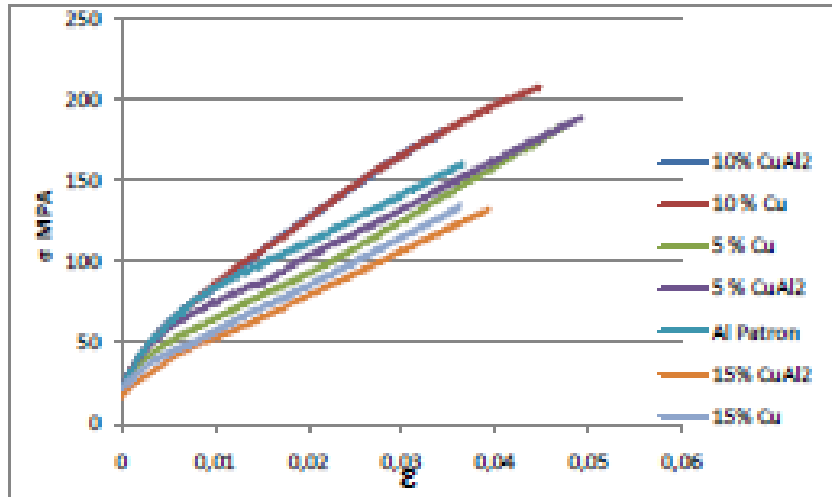


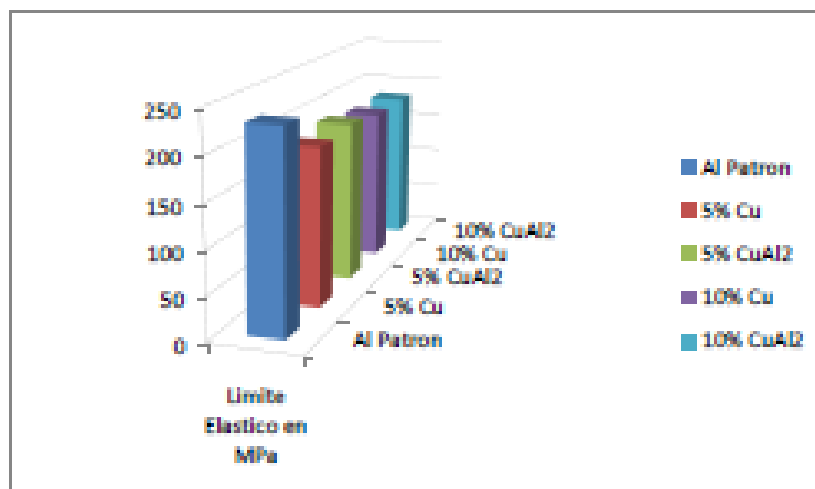
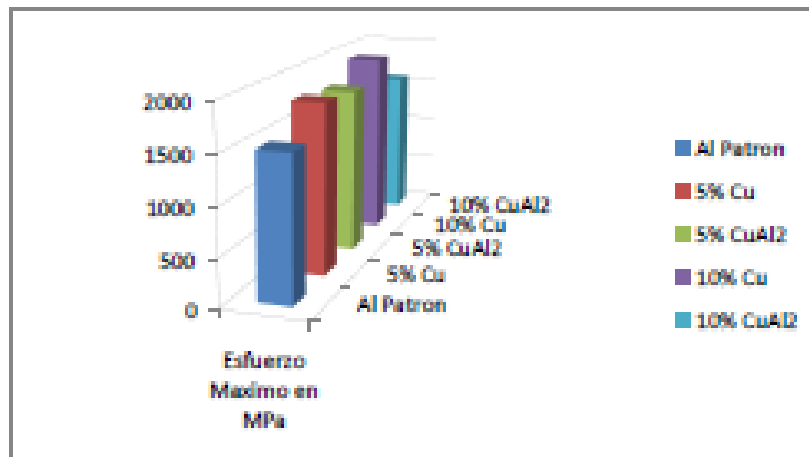
**ANEXO 10:** Resultados ensayos de Tracción Aluminio obtenido en “Investigaciones Previas”. [20]

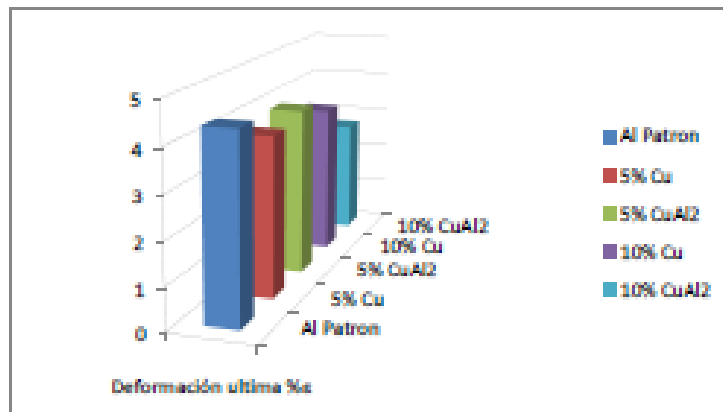
#### 5.4 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN.

Se observó un incremento en la resistencia a la tracción en las probetas, independientemente al ser aleada con polvos elementales o ser de polvos prealeados frente a la muestra patrón de polvos de aluminio puro. Por otro lado se obtuvieron los mejores registros para las probetas con un 5% de aleante y los menores para las de un 15% de aleante, independientemente del tipo de aleante (polvos elementales de cobre o polvos de aluminuros prealeados).

Finalmente los mejores resultados en los ensayos de tracción, se apreciaron en las probetas con un 10% de aleante, mientras que en las probetas con 15% o más porcentaje de aleante tendieron fallar durante el ensayo o reportaron valores bajos de resistencia a la tensión inferiores a 50 MPa., lo cual las descarta para cualquier aplicación práctica y/o proseguir algún estudio sobre ellas. Estos resultados son visibles en la grafica esfuerzo de formación de las probetas. Sin embargo es necesario decir que hubo un descenso en la ductilidad de los materiales en las probetas aleadas como una consecuencia esperada del incremento de la rigidez de un material mecánicamente aleado con una matriz metálica, la plasticidad en las probetas con un 15% y un 10% de aleante fueron las inferiores.







### 5.5 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE MICRODUREZA.

La variación esperada en la microdureza de una misma probeta en un corte transversal fue inferior a la esperada como efecto de un gradiente de densidades o la existencia de un perfil de densidades y varía en un rango de 10 puntos en la dureza Vickers. Aunque las durezas reportadas son bajas y no alcanzan la escala Rockwell H, podrían ser explicadas por las características mismas de la sinterización de polvos. No existe una diferencia significativa de los datos reportados por probetas con el 5% de aleante y el 10% de aleante y una ligera diferencia entre los prealeados y los elementales siendo superior el valor reportado por las probetas aleadas con polvos elementales.

DUREZA VIKER	64,35833333	74,69166667	77,4	77,225	82,05833333
ESPÉCIMEN	0% Al puro	5%prealeado	5%elemental	10%prealeado	10%elemental

Tabla 6 Dureza Viker vs Espéolmen