UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo Estructurado de Manera Independiente Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico

TEMA

"ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE DESGASTE ABRASIVO DEL BRONCE SAE 40 Y SAE 64 BAJO LA NORMA ASTM G-65 Y SU INFLUENCIA EN LA PÉRDIDA DE VOLUMEN."

AUTOR: Jacob Diego Pérez Quiroga

TUTOR: Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

AMBATO – ECUADOR

2014

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del presente Trabajo Estructurado de Manera Independiente previo a la obtención del Título de Ingeniería Mecánica, bajo el tema **"ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE DESGASTE ABRASIVO DEL BRONCE SAE 40 Y SAE 64 BAJO LA NORMA ASTM G-65 Y SU INFLUENCIA EN LA PÉRDIDA DE VOLUMEN"** ejecutado por el Sr. Jacob Diego Pérez Quiroga estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato, CERTIFICO que el presente trabajo de investigación fue elaborado en su totalidad por el autor y ha sido concluida bajo el plan de tesis aprobado.

Ambato, Marzo del 2014

.....

Ing. Mg. Juan Paredes

Tutor

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación con el tema **"ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE DESGASTE ABRASIVO DEL BRONCE SAE 40 Y SAE 64 BAJO LA NORMA ASTM G-65 Y SU INFLUENCIA EN LA PÉRDIDA DE VOLUMEN"**, nos corresponde exclusivamente al Sr. Jacob Diego Pérez Quiroga e Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual del mismo a la Universidad Técnica de Ambato.

.....	.....
Egdo. Jacob Diego Pérez Quiroga	Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas
Autor	Director

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo de investigación o parte él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

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

..... .

Egdo. Jacob Diego Pérez Quiroga

DEDICATORIA

A mis padres Fausto Pérez y Silvia Quiroga por ser el pilar fundamental en todo lo que soy. Por su incondicional apoyo agradezco de todo corazón a mis queridos suegros por abrirme las puertas de su casa y haberme ayudado con la crianza de mi hijo, gracias a ellos pude mantenerme y culminar mis estudios.

Con el más puro y sincero amor dedico este proyecto a quienes son mi razón de vivir y luchar cada día por superarme, Mary mi esposa quien siempre ha estado a mi lado brindándome su amor, paciencia y apoyo, a mi amado hijo Alexander por ser mi luz y mi fortaleza, el más grande regalo que Dios me ha dado.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

.

Jacob Pérez

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo siempre en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido soporte y compañía durante todo mi período de estudio.

Me complace de sobre manera a través de este trabajo exteriorizar mi sincero agradecimiento y respeto a mi tutor Ing. Mg. Juan Paredes quién con sus conocimientos, su experiencia, paciencia y motivación ha logrado que culmine mi carrera con éxitos.

Al Ing. Fernando Galarza e Ing. Ximena Criollo por su valiosa ayuda en el desarrollo de mi proyecto. A la Universidad Técnica de Ambato y todos los docentes de mi carrera durante los años de estudio cursados, ellos fueron los responsables de mi formación profesional, gracias por haberme abierto las puertas para superarme.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles por su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida.

Para ellos: Muchas Gracias y que Dios los bendiga.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

Portada……...…….. I

Certificación…….…… II

Autoría de la investigación……..……...……. III

Derechos del autor…….……. IV

Dedicatoria…….……. V

Agradecimiento……... VI

Índice de Contenidos……. VII

Índice de figuras y tablas……. XII

Resumen Ejecutivo…… XVI

Summary…… XVII

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN……. 1

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA…….. 1

1.2.1 Contextualización del problema……. 1

1.2.2 Análisis Crítico……... 2

1.2.3 Prognosis…… 3

1.2.4 Formulación del problema……. 3

1.2.5 Preguntas Directrices…….. 4

1.2.6 Delimitación……... 4

1.3 JUSTIFICACIÓN…….. 5

1.4 OBJETIVOS…….. 6

1.4.1 Objetivo General……. 6

1.4.2 Objetivos Específicos…… 6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS……. 7

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA……..…… 12

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL…….…….. 13

2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES……. 14

2.4.1 Ingeniería de Materiales…….…….**.....** 14

2.4.2 Tribología…….……. 19

2.4.3 Parámetros de desgaste abrasivo…… 23

2.4.4 Ensayo de Materiales……...…….……. 30

2.4.5 Desgaste…….……...…….. 32

2.4.6 Pérdida de volumen…….……..…… 59

2.5 HIPÓTESIS…….. 60

2.5.1 Señalamiento de variables……..… 60

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE…… 61

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN……. 61

3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN…….. 62

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA…… 63

3.4.1 Población o universo…….. 63

3.4.2 Muestra…….. 64

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES…… 65

3.6 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN……... 67

3.7 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN…….…….. 67

3.6.1 Procesamiento de la información recogida……..... 67

3.6.2 Análisis e interpretación de resultados……..... 68

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS……. 69

4.1.1 Revisión de la Norma y sus Parámetros.…… 71

4.1.2 Evaluación del Bronce SAE 40 como viene de fábrica…….…..... 72

4.1.3 Preparación de Probetas…….…..…. 74

4.1.4 Pesaje de Probetas…….…. 75

4.1.5 Calibración de las variables…....…….…. 76

4.1.6 Tamaño del abrasivo……...…….. 77

4.1.7 Dureza y diámetro del Caucho…….. 78

4.1.8 Flujo de Arena…….……. 80

4.1.9 Velocidad del Motor…….…… 81

4.1.10 Calibración de la Máquina…… 82

4.1.11 Cálculos de calibración……..…… 83

4.1.12 Análisis de los parámetros tribológicos……. 90

4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS…….. 114

4.2.1 Resumen de valores de pérdida de volumen…… 119

4.2.2 Resumen de valores de pérdida de Masa…… 121

4.2.3 Resumen de valores de Tasa de Desgaste…… 122

4.2.4 Resumen de valores del Coeficiente de desgaste …….. 123

4.2.5 Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 64 (Procedimiento B)…….. 124

4.2.6 Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 64 (Procedimiento D)……... 125

4.2.7 Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 64 (Procedimiento E)…….. 126

4.2.8 Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 40 (Procedimiento B)…….. 127

4.2.9 Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 40 (Procedimiento D)……... 128

4.2.10 Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 40 (Procedimiento E)……. 129

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS……..,…….. 130

4.3.1 Efecto del tipo de Procedimiento sobre la pérdida de masa…… 130

4.3.2 Efecto del tiempo de abrasión sobre la pérdida de volumen……... 131

4.3.3 Efecto de la Dureza sobre la pérdida de volumen……...……... 132

4.3.4 Efecto de la Fuerza aplicada sobre la pérdida de volumen……. 133

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES…… 139

5.2 RECOMENDACIONES…….. 142

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS…….. 144

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA ……. 146

6.3 JUSTIFICACIÓN…… 148

6.4 OBJETIVOS……. 149

6.4.1 Objetivo General…… 149

6.4.2 Objetivos Específicos…… 150

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD……. 150

6.5.1 Análisis económico…… 151

6.5.2 Análisis tecnológico……... 151

6.6 FUNDAMENTACIÓN……. 152

6.7 METODOLOGÍA…… 153

6.8. ADMINISTRACIÓN…….. 167

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN……. 168

Bibliografía……. 170

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS

Figura 2.1: Categorías Fundamentales…….. 14

Figura. 2.2: Sentido de giro de la rueda vulcanizada…… 24

Figura. 2.3: Moto reductor de la máquina…….…… 24

Figura. 2.4: Arena sílice…… 25

Figura2.5 Esquema de medición de la dureza Rockwell……..…… 31

Figura. 2.6 Clasificación según tipo de movimientos……... 37

Figura. 2.7 Categorías de desgaste abrasivo…….……..... 38

Figura. 2.8 Ejemplo de desgaste abrasivo sobre una superficie…… 39

Figura. 2.9 Proceso de desgaste adhesivo…….…..…….. 40

Figura. 2.10 Desgaste abrasivo de dos cuerpos……. 44

Figura. 2.11 Desgaste abrasivo de dos cuerpos……..….... 45

Figura. 2.12 Mecanismo de desgaste abrasivo….…… 46

Figura. 2.13 Desgaste abrasivo de tres cuerpos……..……... 46

Figura. 2.14 Clases de desgaste abrasivo……..……..... 47

Figura. 2.15 Modelo para desgaste abrasivo…..……. 48

Figura. 2.16 Cambio de desgaste abrasivo……..…… 52

Figura. 2.17 Mecanismos de desgaste abrasivo……..……..… 53

Figura. 2.18 Dibujo esquematico de desgaste abrasivo….……..….. 55

Figura. 2.19 Superficie de desgaste por erosión ……..…….…… 56

Figura. 2.20 Gráfico de ángulo de ataque contra tasa de erosión…..……... 57

Figura. 2.21 Gráfico de ángulo de ataque contra tasa de erosión…….…..... 58

Figura 2.22 Desgaste por impacto…….. 58

Figura 4.1: Dimensionamiento de la probeta…… 74

Figura 4.2: Motor utilizado para el ensayo…..…….. 81

Figura 4.3: Procedimiento B SAE 40 Y SAE 64…..……. 114

Figura 4.4: Procedimiento D SAE 40 Y SAE 64…….**.....** 115

Figura 4.5: Procedimiento E SAE 40 Y SAE 64.……. 116

Figura 4.6: Procedimiento B SAE 40…….……...… 118

Figura 4.7: Procedimiento D……. 118

Figura 4.8: Procedimiento E……. 119

Figura 4.9: Pérdida de volumen…….…….. 120

Figura 4.10: Pérdida de masa…….……... 121

Figura 4.11: Tasa de desgaste…….…….. 122

Figura 4.12: Coeficiente de desgaste…… 123

Figura 4.13: Durezas obtenidas mediante diferentes procedimientos…….. 133

Figura 4.14: Fuerza aplicada para los diferentes procedimientos……. 134

Figura 6.1: Corte de probetas……**...** 156

Figura 6.2: Lijadora de desbaste…….…….. 156

Figura 6.3. Pulido metalográfico…….. 157

Figura 6.4. Ataque químico y secado de probetas…… 157

Figura 6.5: Evaluación de la microestructura…….. 158

Figura 6.6: Microestructura del Bronce SAE 40……..…… 158

Figura 6.7: Banco de lijas…….. 159

Figura. 6.8: Durómetro……..…… 160

Figura. 6.9: Probeta ensayada en el durómetro……. 160

Figura. 6.10: Probetas fresadas……..….. 161

Figura. 6.11: Probetas fresadas para dar dimensiones requeridas…..... 162

Figura. 6.12: Rectificadora vertical……..…..... 162

Figura. 6.13: Balanza analítica…….…..... 163

Figura. 6.14: Diagrama básico de la máquina……..…..... 164

Figura. 6.15: Flujo de arena por la tobera……..…..... 165

Figura. 6.16: Tablero de control de la máquina..……..…..... 165

Figura. 6.17: Balanza analítica de 0,1 mg……..... 166

TABLAS

Tabla 2.1 Ejemplos de aplicaciones y propiedades…… 18

Tabla 2.2 Carga aplicada……. 26

Tabla 2.3 Propiedades mecánicas del bronce SAE 40…… 27

Tabla 2.4 Propiedades mecánicas del bronce SAE 64……..….. 28

Tabla 3.1: Operacionalización de la variable independiente…… 65

Tabla 3.2: Operacionalización de la variable dependiente…… 66

Tabla 4.1: Alcance de la norma ASTM G-65……... 71

Tabla 4.2: Bronce SAE 40…….…… 72

Tabla 4.3: Bronce SAE 64…….…… 73

Tabla 4.4: Dimensiones SAE 40…….…….. 75

Tabla 4.5: Dimensiones SAE 64…….…….. 76

Tabla 4.6: Arena utilizada para el ensayo…..…….…….. 77

Tabla 4.7: Tipo de Caucho utilizado para el ensayo…..…… 78

Tabla 4.8: Ensayo de dureza rueda vulcanizada…….…….. 79

Tabla 4.9: Flujo de arena…….…….. 80

Tabla 4.10: Calibración de la máquina……..…….…….. 82

Tabla 4.11: Procedimiento B SAE 40……..…….……... 84

Tabla 4.12: Procedimiento D SAE 40……..…….…….. 85

Tabla 4.13: Procedimiento E SAE 40……..…….……... 86

Tabla 4.14: Procedimiento B SAE 64……..…….……... 87

Tabla 4.15: Procedimiento D SAE 64……..…….……... 88

Tabla 4.16: Procedimiento B SAE 64……..…….……... 89

Tabla 4.17: Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 64 (Procedimiento B)…. 124

Tabla 4.18: Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 64 (Procedimiento D)…. 125

Tabla 4.19: Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 64 (Procedimiento E)…. 126

Tabla 4.20: Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 40 (Procedimiento B)…. 127

Tabla 4.21: Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 40 (Procedimiento D)…. 128

Tabla 4.22: Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 40 (Procedimiento E)…. 129

Tabla 4.23: Efecto del procedimiento sobre la pérdida de volumen. …….. 131

Tabla 4.24: Efecto del procedimiento sobre la pérdida de masa….. ……... 131

Tabla 4.25 Comparación de materiales SAE 40 SAE 64 (B)…….. 135

Tabla 4.26 Comparación de materiales SAE 40 SAE 64 (D)…….. 136

Tabla 4.27 Comparación de materiales SAE 40 SAE 64 (E)…….. 137

Tabla 4.28 Resultados de T-Student para casos estudiados……. 138

Tabla 6.1 Procedimientos que especifica la norma ASTM G 65-04…… 148

Tabla 6.2 Desglose del costo de la investigación.……..…… 167

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Autor: Jacob Pérez

Tutor: Ing. Mg. Juan Paredes

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación está orientado al Análisis de los parámetros de desgaste abrasivo aplicados al Bronce como son: carga, velocidad, flujo de arena y número de revoluciones que están bajo la norma ASTM G-65-04. Para este estudio se utilizaron dos tipos de Bronces: SAE 40 y SAE 64, sometiéndolos a medios abrasivos para poder determinar el material que presenta mayor resistencia al desgaste. Se tomó los dos tipos de Bronces y se los ensayó mediante tres procedimientos establecidos por la norma (B, D y E) para con esto medir la pérdida de masa y calcular posteriormente el volumen del material perdido en milímetros cúbicos. Para dar validez a los datos obtenidos se emplearon las ecuaciones que establece la norma ASTM G-65, para calcular el coeficiente de variación aceptable. Los resultados obtenidos demuestran que bajo los mismos factores de desgaste abrasivo, el Bronce SAE 64 tiene una pérdida de volumen de 652,91mm^3 a diferencia del SAE 40 que tiene una de 708,10mm^3, por tanto, se puede aseverar que el Bronce SAE 40 es el que brinda mayor resistencia a la abrasión. Finalmente se elaboró un procedimiento de evaluación del desgaste abrasivo del Bronce SAE 40 bajo la norma ASTM G-65-04 mediante el método "E", para disponer de una guía didáctica para realizar correctamente los ensayos de abrasión.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO

THE ENGINIER FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL

Author: Jacob Pérez

Tutor: Ing. Mg. Juan Paredes

ABSTRACT

This research work is oriented Analysis parameters applied to abrasive wear bronze as: load, speed, flow sand and rotational speed who are under the ASTM G- 65-04 standard. For this study we make two types of bronzes were used: SAE 40 and SAE 64, subjecting them to harsh means to determine the material having higher wear resistance. The two types of Bronzes and the test was made using three procedures established by the rule (B, D and E) with this measure the loss of mass and then calculate the volume of material lost in cubic millimeters

To give validate to the data obtained equations established by ASTM G -65, the standard for calculating the acceptable coefficient of variation were used. The results demonstrate that under these factors, scuffing Bronze SAE 64 has a volume loss of 652.91 mm^3 unlike the SAE 40 having a 708.10 mm^3 , therefore, it can be assumed that Bronze SAE 40 is providing to increased resistance abrasion.

Finally a method of evaluation of scuffing Bronze SAE 40 under ASTM G- 65-04 standard was developed by the "E" method, to provide an educational guide to successfully complete the abrasion tests.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE DESGASTE ABRASIVO DEL BRONCE SAE 40 Y SAE 64 BAJO LA NORMA ASTM G-65 Y SU INFLUENCIA EN LA PÉRDIDA DE VOLUMEN.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

A nivel mundial el desgaste de los materiales es uno de los principales problemas en la industria que afecta a gran parte de los sectores de producción. Tanto es así que a lo largo de los años se ha establecido la necesidad de evaluar el comportamiento frente al desgaste de los materiales para poder predecir su respuesta y anticiparse a los posibles fallos, así como también, programar tareas de mantenimiento que eviten problemas mayores.

Además, en la industria de construcción de maquinaria se estima que, entre el desgaste y la fatiga se produce el 95% de las causas de salida de servicio de los elementos de máquina, no considerado aquí aquellos que están desgastados y continúan trabajando, presentándose estos como causa de pérdida de eficiencia en mecanismos y máquinas.

En Latinoamérica la tribología es una de las disciplinas fundamentales de la construcción de maquinarias; siendo que esta, es una fuente de gran potencial para economizar recursos financieros, materias primas y material energético, de aquí su enorme importancia y la necesidad del estudio de la fricción, lubricación y el desgaste. Sin dejar de mencionar que los pares de fricción están presentes en todos los sistemas mecánicos, y el adecuado funcionamiento de estos ejerce una influencia decisiva en la posibilidad de controlar el movimiento, determinar la fiabilidad, la vida útil y el uso efectivo de la energía de todos los sistemas.

En el Ecuador no se han realizado investigaciones referentes a la tribología, por lo cual es fundamental investigar especialmente en sectores donde las pérdidas debido a problemas tribológicos se presentan con frecuencia primordialmente en la industria y en el sector productivo.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

La evolución de la tecnología y la necesidad de reducir los costos en la construcción de maquinarias ha llevado a determinar los requerimientos de estudios en tribología para cubrir estas deficiencias.

Actualmente, la falla de elementos mecánicos sometidos a fricción y posteriormente el desgaste de los mismos, trae consigo pérdidas considerables de energía y reducción de la vida útil, es por esto fundamental contar con un método para estudiar el comportamiento de materiales frente al desgaste.

En definitiva e indudablemente, al implementar un método para estudiar el comportamiento del bronce frente al desgaste abrasivo evaluado bajo la norma

ASTM G-65, se podrá realizar investigaciones sobre la utilización de este material en maquinarias; incrementando la seguridad y confiabilidad de éstas. La investigación aportará en la implementación de un procedimiento para estudiar el desgaste, ya que en nuestro medio no existe uno definido.

1.2.3 PROGNOSIS

En caso de no efectuarse el estudio y no definir un método para el análisis del comportamiento del bronce al desgaste, no se podrá garantizar la calidad de funcionamiento de este tipo de juntas o pares tribológicos que estén sometidas a fricción, los mismos que pueden presentar fallas en cualquier momento o tengan problemas de desgaste ocasionando pérdidas de energía, económica y tiempo en reparación.

Se estima que al no contar con el método de desgaste abrasivo evaluado bajo la norma ASTM G-65 se tendrían que recurrir a otros tipos de ensayos de mayor costo y complejidad para obtener los mismos resultados, lo que a la larga producirá un aumento del costo total de la obra y según el caso el incremento de tiempo en la culminación de la misma.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los parámetros de desgaste abrasivo aplicados en los bronces SAE 40 y SAE 64 bajo la norma ASTM G-65 que influyen en la pérdida de volumen?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

- ¿Cuál es la velocidad de giro apropiada para el ensayo de desgaste por abrasivo de acuerdo la norma ASTM G-65?
- ¿Cuál es la carga aplicada para el ensayo de desgaste por abrasión?
- ¿Cuál es el abrasivo empleado para el ensayo por abrasión de acuerdo la norma ASTM G-65?
- ¿Cuál es el flujo de arena que se emplea para el ensayo por abrasión de acuerdo la norma ASTM G-65?

1.2.6 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.6.1 DE CONTENIDO

La presente investigación se fundamenta en el campo de Ingeniería Mecánica en áreas como:

- Materiales.
- Tribología.
- Ensayos de materiales.

1.2.6.2 ESPACIAL

El tema propuesto se la realizó en:

- La Biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica mediante el contenido de libros que se relacionan con este estudio.
- Los laboratorios Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

1.2.6.3 TEMPORAL

El presente trabajo investigativo se desarrolló en los meses comprendidos entre Octubre 2012 y Enero del 2014.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En el Ecuador existen grandes pérdidas en la industria por los fenómenos de fricción y desgaste, tiempos muertos, rápido deterioro en los componentes y herramientas, entre otros. Frente a estos fenómenos la tendencia que ha asumido durante años el sector industrial del país, es remplazar piezas desgastadas por nuevas o reconstruir las existentes.

Actualmente, las industrias ecuatorianas en su afán de ser eficientes en un mercado global y competitivo, ven la necesidad de mejorar los procesos y están evaluando los elementos que aportan a este fin. En este sentido, ven una alternativa de mejora el aumentar la vida útil de los elementos de las máquinas, identificado el deterioro superficial de los materiales.

Por todo lo mencionado, se justifica plenamente esta investigación, la misma que propone evaluar los efectos del degaste abrasivo del bronce, interesándose particularmente en el desgaste producido por la fricción en juntas o pares tribológicos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar los parámetros de desgaste abrasivo del bronce SAE 40 y SAE 64 bajo la norma ASTM G-65 que influyen en la pérdida de volumen.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar la velocidad de giro apropiada para el ensayo de desgaste abrasivo de acuerdo la norma ASTM G-65.
- Analizar la carga aplicada para el ensayo de desgaste por abrasión de acuerdo la norma ASTM G-65.
- Estudiar el abrasivo empleado para el ensayo por abrasión de acuerdo la norma ASTM G-65.
- Analizar el flujo de arena que se emplea para el ensayo por abrasión de acuerdo la norma ASTM G-65.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Para la realización de la presente investigación se revisó una serie de trabajos previos relacionados con el objeto de estudio los cuales sirvieron de antecedentes.

Ferreiro L. – Universidad de A Coruña establece resultados obtenidos mediante diversas técnicas de ensayo de desgaste, mencionando que las que mejor reproducibilidad de resultados presentan son las que emplean arena y rueda de caucho para el desgaste, sobre todo la de arena húmeda, puesto que el orden de magnitud de la pérdida de masa que experimentan es considerablemente superior, por lo que las influencias externas se minimizan. [18] (Ferreiro, 1998 Pg. 3)

Conclusiones:

Se han analizado muestras de un acero sometido a seis tratamientos térmicos diferentes mediante tres técnicas de ensayo de desgaste con el objetivo de estudiar la influencia del método de desgaste sobre los resultados obtenidos.

La tendencia obtenida en los tres casos es similar, y en todos ellos la resistencia al desgaste disminuye cuando lo hace la dureza con carácter general.

Se ha visto como las técnicas que mejor reproducen las variaciones en la dureza de las muestras son el pin on disk y en ensayo con arena húmeda y rueda de caucho.

También se ha observado que las técnicas de mejor reproducibilidad de resultados presentan son las dos que emplean arena y rueda de caucho para el desgaste, sobre todo la de arena húmeda, puesto que el orden de magnitud de la pérdida de masa que experimentan es considerablemente superior, por lo que las influencias externas se minimizan.

Globalmente, se puede deducir que la mejor de las tres técnicas estudiadas es la de arena húmeda y rueda de caucho, puesto que es de las más sensibles a los cambios de las muestras, con una buena reproducibilidad de resultados y la que requiere menor repetición de ensayos para obtener resultados fiables.

Como contrapartida hay que decir que los ensayos con arena húmeda son los más costosos de llevar a cabo, mientras que los de pin on disk son los más sencillos para realizar.

Pérez Jaime **–** Universidad Nacional de Colombia, analiza la influencia de la microestructura en el comportamiento a desgaste abrasivo evaluado bajo la norma ASTM G-65. Los resultados obtenidos de la aplicación del ensayo de desgaste fueron pérdida en peso (g) y en volumen (mm^3), lo cual brindó la resistencia al desgaste de cada una de las capas depositadas. [15] (Pérez, 2011 Pp. 7).

En la reconstrucción de piezas de maquinarias es esencial el poder determinar la mejor opción en cuanto a material depositado por soldadura para recuperación de geometrías perdidas.

El presente trabajo se desarrolló para mejorar las aplicaciones de recubrimientos duros y material de relleno para la reconstrucción de "sprockets", pero que se pueda extrapolar al uso en industrias de diferente tipo.

Se tomaron en cuenta tres 3 factores: material depositado, temperatura de precalentamiento y de sostenimiento y número de pases depositados, que afectan las características finales de los recubrimientos duros aplicados por soldadura. Los resultados obtenidos de la aplicación del ensayo de desgaste fueron pérdida en peso y en milímetros cúbicos (mm^3) del material, lo cual brindó la resistencia al desgaste de cada una de las capas depositadas. Tomando la probeta que más se acercó al promedio obtenido del anterior ensayo, se cortó para caracterizarla microestructuralmente, tomar mediciones de microdureza en zona cercana a la cara de desgaste, analizar la superficie por microscopia SEM, medir la composición química en la capa desgastada, medir el porcentaje de poros en la última capa, medir la rugosidad superficial en zona de desgaste y determinar su estructura por difracción de rayos X. Los recubrimientos obtenidos, electrodos con altos contenidos de cromo mostraron las mejores propiedades anti desgaste, seguidos de los recubrimientos aplicados con electrodos con contenidos de manganeso del 15% y los recubrimientos aplicados con electrodos de bajo carbono de bajas y medias aleaciones mostraron los resultados más bajos según las condiciones de laboratorio aplicadas.

Marulanda A y Cols. (2009). – Universidad Tecnológica de Pereira, expone la construcción de una máquina para ensayo en desgaste abrasivo, mencionando que toda máquina que se diseñe tiene variables inherentes a ella. Para una correcta funcionabilidad de la máquina todas las variables tienen que estar de acuerdo al enfoque del diseño el cual se basa en las condiciones exigidas por la norma. [19] (Marulanda, 2009 Pg. 6).

Conclusiones:

Toda máquina que se diseñe tiene variables inherentes a ella, las cuales el diseñador debe identificar y valorar su importancia, es así que con el diseño de esta máquina se comprobó que la utilización correcta de las teoría de las diferentes ramas de la ingeniería mecánica ayuda a prever y solucionar las diferentes variables y problemas que surgen en el diseño. De forma que se den soluciones económicamente viables e ingenierilmente aceptables.

Para una correcta funcionabilidad de la máquina todas las variables tienen que estar de acuerdo al enfoque del diseño el cual se basa en las condiciones exigidas por la norma.

Se comprobó que la máquina cumple la norma como se puede observar en el análisis estadístico, dado que las variables estadísticas están según el rango exigido por la norma.

Se debe tener un manual de uso de la máquina de forma que todas las personas que utilicen la máquina sigan un procedimiento adecuado para la utilización de la misma, de forma que se obtengan resultados satisfactorios.

En la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica no existen proyectos ya sean perfiles o tesis relacionados con el tema propuesto, por lo cual, se realiza una investigación enfocada al desgaste por abrasión.

M.Sc. Enrique Niebles y cols. (2009) Metodología para el diseño y construcción de una máquina para Medición del desgaste abrasivo basado en la norma ASTM G-65. Este artículo trata sobre el diseño y construcción de una máquina para la medición del desgaste abrasivo basado en la norma ASTM G65. El diseño toma como consideración lo expuesto por la norma y es complementado con metodologías de diseño y desarrollo concurrente de producto. [20] (Niebles, 2009 Pp. 8)

En el diseño conceptual se establece las especificaciones iniciales requeridas; para el diseño funcional se formulan las funciones que la máquina debe realizar para cada requerimiento, las alternativas de diseño son evaluadas por el método de criterios ponderados, permitiendo establecer la mejor alternativa de diseño conceptual y funcional. Por último en la fase de diseño de detalle se definen los materiales y el dimensionamiento de las piezas estableciendo un factor de seguridad en los elementos que ameriten, para la fabricación y puesta en funcionamiento de equipo se usan procesos de mecanizado y de soldadura.

Conclusiones:

Con esta investigación se desarrolló una máquina medidora de desgaste bajo norma para obtener un óptimo desempeño, una fácil fabricación, ensamble y con alta seguridad. Todo esto para que los resultados de las pruebas a realizar tengan

una fidelidad y exactitud como la norma ASTM G65. La escogencia de la alternativa valida la experiencia y los diseños de las máquinas medidoras de desgaste realizadas por otros investigadores, la cual coincide en muchos aspectos tanto estructurales como funcionales.

La determinación de la complejidad de la fabricación y ensamble es útil para determinar la viabilidad de la producción en serie de la máquina medidora de desgaste la cual es un equipo complementario en un laboratorio de resistencia de materiales y de metalografía

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

Hoy en día las máquinas son las herramientas más fuertes creadas por los seres humanos, éstas realizan trabajos que requieren de exactitud, fuerza, entre otras muchas características que el ser humano sin su ayuda no lograría el continuo avance requiere máquinas que tengan mejores cualidades en sus materiales, esto garantiza un mejor trabajo y una mayor durabilidad de las piezas que componen las máquinas, por esta razón, es necesario el conocimiento de las características mecánicas y las condiciones a las que van a estar sometidos los materiales.

Uno de los grandes problemas que presentan las máquinas es el desgaste abrasivo, este factor se debe tener en cuenta para el diseño de una máquina, es decir, debemos conocer la resistencia a la fricción y al desgaste de los materiales a ser utilizados.

Para una correcta selección de éstos debemos realizar ensayos, con los que se pueden determinar los materiales óptimos a utilizar, y alargar la vida útil de las piezas.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

Todos los materiales y los trabajos a ser ejecutados se ajustaran a las normas que se detallan a continuación. Estas normas regirán las presentes especificaciones técnicas aun cuando no estuvieren directamente expresadas.

A continuación se detalla una lista de las Normas que se tomaron en cuenta en la ejecución del proyecto:

- INEN (Normas para dibujo técnico).
- D 2240 (Método de prueba para propiedades del caucho-Dureza durómetro)
- E 11 (Especificación para tela de alambre y tamices para propósitos de prueba.)
- ASTM G-65 (Ensayo para medida de la abrasión por medio del aparato de la rueda de goma y arena seca.)
- SAE 40 (Sociedad de Ingenieros Automotrices.)
- SAE 64(Sociedad de Ingenieros Automotrices).
- ASTM G 83-96 (Método de prueba estándar para pruebas de desgaste con un Aparato de Cilindros Cruzado).
- ISO 6506-1:2005: (Prueba Brinell Método de la prueba.

2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

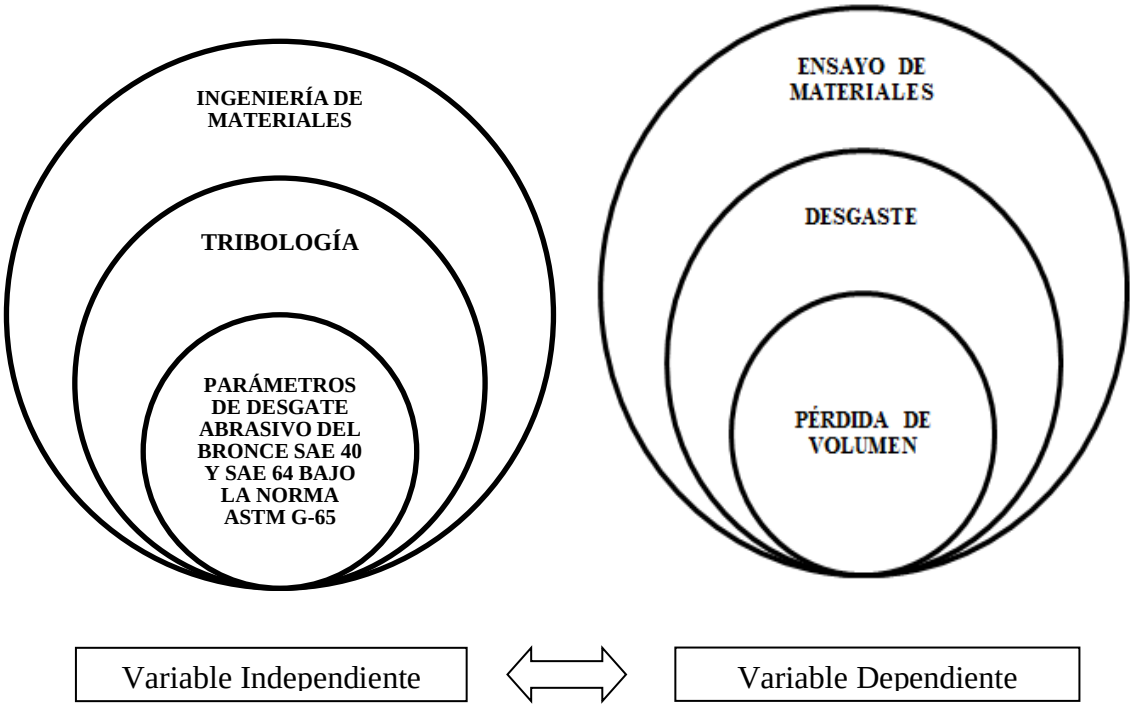


Figura 2.1: Categorías fundamentales

Fuente: Autor

2.4.1 INGENIERÍA DE MATERIALES

La ciencia e ingeniería de los materiales es un campo interdisciplinario que se ocupa de inventar nuevos materiales y mejorar los ya conocidos, mediante el desarrollo de un conocimiento más profundo de las relaciones entre microestructura, composición, síntesis y procedimiento. [1] (Askenland 1998 p. 6)

La investigación y desarrollo dentro de los nuevos materiales en la actualidad ha conllevado a requerir materiales con combinaciones insólitas de propiedades que no pueden ser encontradas por las aleaciones convencionales metálicas, la cerámica, y materiales poliméricos. Esto se ve reflejado en la aplicación de la industria aeronáutica, aeroespacial, automotriz y otras; ya que por medio del

desarrollo de estos materiales se busca materiales estructurales de menor densidad, resistentes, rígidos y de gran resistencia a la abrasión, corrosión e impacto. La ingeniería de materiales en el diseño de materiales compuestos, ha logrado combinar varios metales, cerámicos, y polímeros para producir una generación nueva de materiales extraordinarios con propiedades mecánicas mejoradas como rigidez, dureza, y resistencia ambiental y de alta temperatura. [3] (Paredes, 2012, pg, 37)

El término composición indica la constitución química de una materia. El término estructura significa una descripción del arreglo atómico, visto con distintos grados de detalle. Los científicos y los ingenieros en materiales no solo tienen que ver con el desarrollo de los materiales, sino también con la síntesis y el procesamiento de materiales y con los procesos de fabricación correspondientes a la producción de los componentes. El término síntesis indica la manera de fabricar los materiales a partir de elementos naturales o hechos por el hombre. El término procesamiento indica el modo en que se conforman los materiales en componentes útiles y para causar cambios en las propiedades de distintos materiales. Una de las funciones más importantes de los ingenieros es establecer las relaciones entre las propiedades y el funcionamiento de un material o de un dispositivo, así como la microestructura, la composición y la forma en que el material se sintetizó y procesó. En la ciencia de materiales se subrayan las relaciones subyacentes entre la síntesis y el procesamiento, la estructura y las propiedades de los materiales. En la ingeniería de materiales el enfoque es convertir o transformar los materiales en dispositivos o estructuras útiles.

Uno de los aspectos más fascinantes de la ciencia de materiales tiene una influencia profunda en muchas de sus propiedades "aun cuando no cambie la composición general". Por ejemplo, si se toma un alambre de cobre puro y se dobla en forma repetida, el alambre no solo se endurece sino también se vuelve cada vez más frágil, al final el alambre de cobre puro se vuelve tan duro y frágil que se rompe. La resistencia eléctrica del alambre también aumenta al doblarlo en forma repetida. En este ejemplo sencillo, obsérvese que no cambió la composición del material, es decir, su constitución química. Los cambios en las propiedades del material se deben a un cambio en su estructura interna. Si se examina el alambre después de doblarlo se verá igual que antes; sin embargo, su estructura ha cambiado a una escala muy pequeña o microscópica. A la estructura en ésta escala microscópica se le llama microestructura. Si se puede comprender lo que cambió microscópicamente, se comenzará a descubrir formas para controlar las propiedades del material. [1](Askenland 1998 p. 7).

Clasificación de los materiales

Hay varias formas de clasificar los materiales. Una de ellas son los 5 grupos:

1. Metales y aleaciones.
2. Cerámicos, vidrios y vitrocerámicos[1];
3. Polímeros (plásticos);
4. Semiconductores y

[1] Vitrocerámicos; f. Cerámica que tiene las propiedades del vidrio y que es muy resistente a las altas temperaturas y a los cambios bruscos.

5. Materiales compuestos

Los materiales de cada uno de estos grupos poseen distintas estructuras y propiedades.

Las diferencias de resistencia ilustran el amplio margen de propiedades de donde pueden seleccionar los ingenieros. Como los materiales metálicos se usan mucho en aplicaciones de cargas dinámicas, sus propiedades mecánicas son de un gran interés práctico. El término esfuerzo indica una carga o una fuerza por unidad de área. Deformación unitaria se refiere al alargamiento o a un cambio de dimensión, dividido entre la dimensión original.

La aplicación del esfuerzo causa la deformación unitaria. Si esta deformación unitaria desaparece después de haber quitado la carga o esfuerzo aplicado, se dice que la deformación es elástica, si ésta deformación unitaria permanece después de eliminar el esfuerzo, se dice que la deformación unitaria es plástica.

Cuando la deformación es elástica y el esfuerzo y la deformación guardan una relación lineal, la pendiente del diagrama esfuerzo-deformación unitario se le llama módulo de elasticidad o módulo de Young. Al valor de esfuerzo necesario para iniciar la deformación plástica se le llama resistencia de cedencia. La deformación porcentual máxima que se puede alcanzar es una medida de la ductilidad de un material metálico. [1](Askenland 1998 p. 5).

Metales y aleaciones Incluyen aceros, aluminio, magnesio, zinc, hierro colado, titanio, cobre y níquel. En general, los metales tienen buena conductividad eléctrica y térmica. Los metales y las aleaciones tienen una resistencia

relativamente alta, gran rigidez, ductilidad o formabilidad y buena resistencia a los choques térmicos. Tienen utilidad especial en aplicaciones estructurales o bajo cargas dinámicas. Aunque a veces se usan metales puros, las mezclas de metales llamadas aleaciones permiten mejorar determinadas propiedades o mejores combinaciones de propiedades. [1](Askenland 1998 p. 6).

Tabla 2.1. Ejemplos, aplicaciones y propiedades respectivas de las familias de materiales

	Aplicaciones	**Propiedades**
Metales		
Cobre	Alambre conductor eléctrico	Alta conductividad eléctrica, buena formabilidad.
Hierro fundido gris	Bloques para motor de automóvil	Moldeable, maquinable, absorbe vibraciones.
Aleación de aceros	Llaves	Endurecidas de manera significativa mediante tratamientos térmicos.
Cerámicos		
SiO_2-Na_2O-CaO	Vidrio para ventana	Ópticamente útil, aislante térmico.
Al_2O_2 MgO SiO_2	Refractarios para contener metal fundido.	Aislantes térmicos, se funden a alta temperatura, relativamente inertes ante metal fundido.
Titanato de Bario	Transductores para equipo de audio.	Convierten sonido en electricidad (comportamiento piezoeléctrico)
Polímeros		
Polietileno	Empacado de alimentos	Fácilmente conformable en delgadas películas flexibles e impermeables.
Epóxicos	Encapsulado de circuitos integrados	Eléctricamente aislante y resistente a la humedad.
Fenólicos	Adhesivos para unir capas de madera laminada	Fuertes, resistentes a la humedad.
Semiconductores		
Silicio	Transistores y circuitos integrados.	Comportamiento eléctrico único.
GaAs	Sistema de fibras ópticas.	Convierte señales eléctricas en luz.
Compuestos		
Grafito en matriz epóxica	Componentes para aeronaves	Relación elevada resistencia-peso.
Carburo de tungsteno-cobalto	Herramientas de corte de carburo para maquinado.	Alta dureza, y de buena resistencia al impacto.
Acero recubierto de titanio	Recipientes para reactores	Tiene el bajo costo y la alta resistencia del acero, con la resistencia a la corrosión del titanio.

Fuente: Donald R. Askeland Pp.6

2.4.2 TRIBOLOGÍA

La palabra Tribología se deriva del término griego *tribos*, el cual entenderse como "frotamiento o rozamiento", así que la interpretación de la palabra puede ser, "la ciencia del rozamiento" [2] (Días del Castillo, 2007, p.1)

La tribología es la ciencia y tecnología que estudia la lubricación, la fricción y el desgaste de partes móviles o estacionarias. La lubricación, la fricción y el desgaste tienen una función fundamental en la vida de los elementos de máquinas.

La tribología toma en cuenta aspectos como: el diseño, los materiales de las superficies en contacto, el sistema de aplicación del lubricante, el medio circundante y las condiciones de operación. Impacta prácticamente en todas las piezas en movimiento como: rodamientos, chumaceras, sellos, anillos de pistones, embragues, frenos, engranes y levas. La tribología ayuda a resolver problemas en maquinaria, equipos y procesos industriales tales como: motores eléctricos y de combustión (componentes y funcionamiento), turbinas, compresores, extrusión, rolado, fundición, forja, procesos de corte (herramientas y fluidos), elementos de almacenamiento magnético y hasta prótesis articulares (cuerpo humano). [2] (Días del Castillo, 2007, p.3)

En forma más amplia, es la ciencia y la técnica de los sistemas en movimiento que se encuentran en contacto mutuo; estudia y define todos los problemas relacionados con el transporte de carga. Pretende dar una visión conjunta del problema del rozamiento, el desgaste y la lubricación que tradicionalmente se venían estudiando por separado y por tanto abarca la fricción, el desgaste, la

lubricación, el diseño, así como muchos aspectos relacionados con la Física, la Química, la Mecánica, la Metalurgia, la Reología, la Fisiología, etc., por lo que se convierte en una auténtica disciplina de Ingeniería. Las tareas del especialista en tribología son las de reducir la fricción y desgaste para conservar y reducir energía, lograr movimientos más rápidos y precisos, incrementar la productividad y reducir el mantenimiento.

Según E. Rabinowicz (1995). Las causas de pérdida de utilidad de los objetos materiales son: 15% por anticuado, 15% por descompostura y 70% por deterioro de superficie, siendo aquí donde nos carga el desgaste su factura. El análisis del desgaste es importante porque junto con la fatiga y a la corrosión son los problemas que más fallas causan en las máquinas. De estos tres el menos estudiado ha sido el desgaste. La predicción del desgaste es difícil porque no es una propiedad intrínseca del material, sino que depende de todo el tribosistema[2] con el que interacciona el cuerpo que se desgasta.

"la ciencia y la tecnología que estudia las superficies que están en contacto y movimiento relativo así como los fenómenos que de ello se derivan" [6] (Stolarki, 1991 pg.6)

a).- Fundamentos de la tribología

La Tribología se centra en el estudio de tres fenómenos; la fricción entre dos cuerpos en movimiento, el desgaste como efecto natural de este fenómeno y la lubricación como un medio para evitar el desgaste.

[2] Tribosistema.- sistema particular o grupo funcional en el cual hay varias uniones de rozamientos y que tiene la función de transmitir energía o movimiento.

b).- Aplicaciones

La Tribología está presente en prácticamente todos los aspectos de la maquinaría, motores y componentes de la industria en general. Los componentes tribológicos más comunes son:

- Rodamientos.
- Frenos y embragues.
- Sellos.
- Anillos de pistones.
- Engranes y Levas.

Las aplicaciones más comunes de los conocimientos tribológicos, aunque en la práctica no se nombren como tales, son:

- Motores eléctricos y de combustión (componentes y funcionamiento).
- Turbinas.
- Extrusión.
- Rolado.
- Fundición.
- Forja.
- Procesos de corte (herramientas y fluidos).
- Elementos de almacenamiento magnético.
- Prótesis articulares (cuerpo humano).

La aplicación de los conocimientos de la Tribología en estas prácticas deriva en:

- Ahorro de materias primas.

- Aumento en la vida útil de las herramientas y la maquinaría.
- Ahorro de recursos naturales.
- Ahorro de energía.
- Protección al medio ambiente.
- Ahorro económico.

c).- Significado de la Tribología en la Industria

La tribología es crucial para la maquinaría moderna que utiliza superficies rodantes y/o deslizantes. [2] (Días del Castillo, 2007, p.4)

De acuerdo a algunos estimados, las pérdidas resultantes de la ignorancia en tribología en los Estados Unidos representan aproximadamente el 6% del total del producto bruto ($200 billones de dólares por año en 1966), y aproximadamente un tercio de los recursos energéticos existentes se pierden en forma de fricción. Por esto, la importancia de la reducción de la fricción y el desgaste para un ahorro de dinero y una confiabilidad a largo plazo de la maquinaria. Según Jost (1966,1976), el Reino Unido podría ahorrar aproximadamente 500 millones de libras al año, y los Estados Unidos llegarían a ahorrar hasta 16 billones de dólares al año utilizando mejores prácticas tribológicas. Este ahorro es significativo y puede obtenerse sin hacer una gran inversión de capital. [2] (Días del Castillo, 2007, p.4)

Lo anterior lo respalda el hecho de los países industrializados, que han tenido un ahorro económico considerable, del orden de 7 y 8% del PIB al aplicar adecuadamente sus conocimientos tribológicos [7] (PEÑA, 2002, pag.48)

2.4.3 PARÁMETROS DE DESGASTE ABRASIVO DEL BRONCE SAE 40 Y SAE 64 BAJO LA NORMA ASTM G65

Parámetros de desgaste abrasivo

a).- Dureza y diámetro de recubrimiento del caucho

La dureza del caucho según la norma técnica ASTM G 65 debe encontrarse a 60 shore A con una tolerancia de ±2. Esta dureza específica es de gran importancia ya que el recubrimiento de caucho tiene la función de forzar la arena contra el metal de tal modo que las partículas no se desintegren ni se destrocen.

Para el recubrimiento de caucho se tomaron cuatro mediciones de dureza con un ángulo de 90° sobre la periferia, como se describe en la norma técnica.

El diámetro del disco de metal junto con el recubrimiento debe medir 9 pulgadas y solo puede ser utilizado hasta el grosor del caucho sufra un desgaste de 0.25 pulgadas, es decir hasta que el diámetro sea de 8.5 pulgadas.

b).- Velocidad del motor

La velocidad está dada en rpm (revoluciones por minuto) esto quiere decir que da unas determinadas vueltas en un límite de tiempo.

La rueda se acciona mediante un nominalmente 0,7 kW (1 CV) motor de corriente continua a través de una caja de engranajes 10/1 para garantizar que el par máximo se entrega durante la prueba. La velocidad de revolución (200 ± 10 rpm) debe permanecer constante bajo carga. Otras unidades productoras de 200 rpm bajo carga son adecuadas.

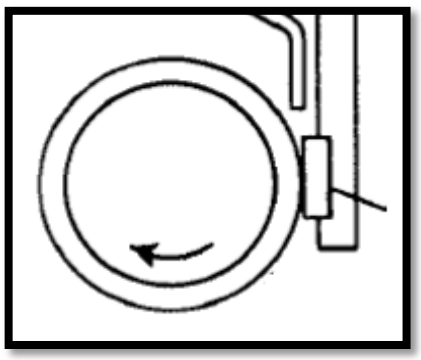


Figura 2.2: Sentido de giro de la rueda vulcanizada

Fuente: Norma ASTM G-65

En la cual la máquina consta de un moto-reductor con las siguientes características:

Potencia= 1 Hp.

Torque de salida=250 Nm.

Reducción 10:1

Velocidad de salida=190 rpm

Fig.2.3: Moto reductor de la máquina

Fuente: Catálogo SIEMENS

c).- Flujo de arena

El flujo de arena es a través de la boquilla debe tener una tasa de flujo de arena de 300 a 400 g / min (0,66 a 0,88 libras / min). Es el flujo apropiado racionalizado y la forma estrecha de la cortina de arena a medida que sale de la boquilla de

arena. Un flujo turbulento de la arena tenderá a producir resultados de la prueba de baja e inconsistente. Se pretende que la arena fluya de una manera simplificada y que pase entre la muestra y la rueda de goma.

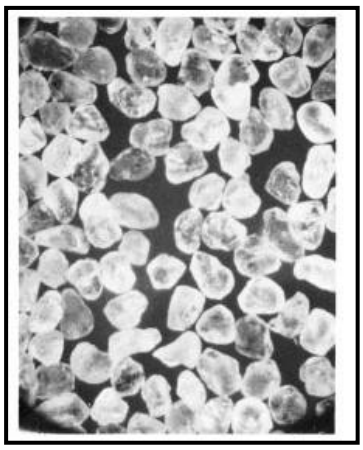


Figura 2.4: Arena sílice a 25x

Fuente: Norma ASTM G-65-04

d).- Fuerza sobre la probeta

El soporte de la muestra se une al brazo de la palanca a la que los pesos se añaden, de manera que se aplica una fuerza a lo largo de la línea diametral horizontal de la rueda. Un número apropiado de pesos debe estar disponible para aplicar la fuerza entre la muestra del ensayo y la rueda. El peso real requerido no debe calcularse, sino más bien debe ser determinado por la medición directa, anotando la carga requerida para tirar del soporte de la muestra fuera de la rueda. Un sistema de pesas conveniente es una lata llena de arena.

Para la determinación del peso es recomendable no calcularse más bien debe comprobarse con un resorte para obtener una mayor precisión y saber que el peso que se esté empleando sea el real y obtener resultados óptimos ya como hemos

dicho que hay varios parámetros que influyen pero este parámetro es esencial y depende el desgaste del material.

Tabla 2.2 Carga aplicada

Specified Procedure	Force Against Specimen,[B] N (lb)	Wheeel Revolutions	Lineal Abrasion [A] m (ft)
A	130 (30)	6000	(14138)
B	130 (30)	2000	(4711)
C	130 (30)	100	(236)
D	45 (10.1)	6000	(14138)
E	130 (30)	1000	(2360)
N= Newton (SI metric term for force). **1 lbf = 4.44822 N.** **1 Kgf = 9.806650 N** **Force tolerance is ± 3%.**			

Fuente: ASTM G-65

- **Procedimiento A**. Este es relativo a ensayos rigurosos que colocan a los materiales metálicos en un rango de pérdida de volumen desde baja a extrema resistencia a la abrasión. Este es particularmente usado en el rango de materiales de media a extrema resistencia a la abrasión.
- **Procedimiento B**. Una variación del procedimiento A. Este puede ser usado para materiales altamente resistentes a la abrasión, pero es particularmente usado en materiales en el rango de media a baja resistencia a la abrasión. El procedimiento B debe ser usado cuando los valores de perdida en volumen desarrollados por el procedimiento A exceden los $100mm^3$.
- **Procedimiento C.** Una variación de corto alcance del procedimiento A para uso en capas delgadas.

- **Procedimiento D.** Este es una variación del Procedimiento A para cargas suaves, el cual es particularmente usado en materiales en el rango de baja resistencia a la abrasión.
- **Procedimiento E**. Variación corta del Procedimiento B que es usada en materiales con media o baja resistencia a la abrasión.

e).- Bronce SAE 40

Bronce conocido como fosfórico, aunque en realidad es un bronce al estaño, excelente para piezas de usos generales que requieren una resistencia mecánica moderada y buena maquinabilidad, tales como: piñones pequeños, cuerpos de válvulas para baja presión, accesorios para tubería de gasolina y aceite, accesorios para equipos de incendio, pequeñas partes de bombas, herrajes para instalaciones sanitarias. Es un bronce de corte fácil.

Propiedades mecánicas

Tabla 2.3 Propiedades Mecánicas del bronce SAE 40

Resistencia a la tracción:	37000 psi (255 Mpa)
Resistencia a la deformación permanente	17000 psi (117 Mpa)
Elongación	30% en 50mm
Dureza	60 HB
Módulo elástico en tensión a 20°C	12*106 psi (83 GPa)
Resistencia al impacto	10 ft-lb
Charpy V-Notch, 15 J	11 ft-lb
Resistencia a la fatiga	11000psi (73 Mpa) a 108 ciclos
Resistencia a la alta temperatura	A180 °C: 12.5 Ksi (86 Mpa) A 209°C : 7 Ksi (48 Mpa)
Densidad a 20° C 8.83 g/cm3 Cambio de volumen por enfriamiento: 10.6% Contracción en el modelo: 13 a 16 mm/m Maquinabilidad: 84 % del C36000	

Fuente: Catálogo de Aceros Bohler Ecuador

f).- Bronce SAE 64

Bronce al estaño plomado que le confiere una excelente resistencia al desgaste, al ser el plomo un lubricante sólido. Para la construcción de cojinetes, bujes y bocines para altas velocidades y fuertes presiones, bombas, impulsores, aplicaciones donde se requiera alta resistencia a la corrosión, fundiciones a presión, bujes para molinos, hornos de cemento, troqueladoras, laminadoras, compresores, bujes con babbit.

Propiedades mecánicas

Tabla 2.4 Propiedades Mecánicas del bronce SAE 64

Resistencia a la tracción:	35000 psi (240 Mpa)
Resistencia a la deformación permanente	18000 psi (125 Mpa)
Elongación	20% en 50mm
Dureza	65 HB
Módulo elástico en tensión a 20°C	11.6*106 psi (82 GPa)
Resistencia al impacto	5 ft-lb
Resistencia a la fatiga	13.000psi (90 Mpa) a 108 ciclos
Densidad a 20° C: 8.95 g/cm3 Cambio de volumen por enfriamiento: 7.3% Contracción en el modelo: 11 mm/m Maquinabilidad: 80 % del C36000 Temperatura de alivio de tensiones: 260 °C	

Fuente: Catálogo de Aceros Bohler Ecuador

g).- Norma ASTM G-65

Una norma ASTM, es un documento que ha sido desarrollado y establecido dentro de los principios de consenso de la organización internacional, y que cumple los requisitos de los procedimientos y regulaciones de ASTM. Las normas

elaboradas por consenso se elaboran con la participación de todas las partes que tienen intereses en el desarrollo o uso de las normas.

La norma ASTM G65: Método Estándar de Prueba para Medir Abrasión que usa un equipo de Rueda de Arena/Caucho Seco, esta norma cubre procedimientos de laboratorio para determinar la resistencia de materiales metálicos a la abrasión que se raya mediante la prueba de rueda de arena/caucho seca. El objetivo de este método de prueba es producir los datos que van a materiales de fila de repetitividad en su resistencia a la abrasión que raya bajo un juego especificado de condiciones.

Los resultados de la prueba de Abrasión son relatados como la pérdida de volumen en milímetros cúbicos para el procedimiento particular de prueba especificado. Los materiales de resistencia de abrasión más alta tendrán una pérdida de volumen inferior. Para lograr la uniformidad entre laboratorios, esto es la intención de este método de prueba de requerir que la pérdida de volumen debido a la abrasión para ser relatada sólo en el sistema métrico como milímetros cúbicos. 1 mm^3 = 6.102 × 10-5 in^3.

Este método de prueba cubre cinco procedimientos recomendados que son apropiados por los grados específicos de resistencia de llevada o grosor del material de prueba.

Este estándar no pretende dirigir los lineamientos de seguridad de equipos al ser empleados. Son responsabilidad del usuario de este estándar establecer la

seguridad apropiada y prácticas de salud y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes del empleo.

2.4.4 ENSAYO DE MATERIALES

Para determinar las propiedades mecánicas en la caracterización de los materiales compuestos, se utilizan ensayos destructivos. El proceso de ensayo comienza en tomar determinada cantidad de muestras del material y realizar cierto número de pruebas para caracterizar el comportamiento del mismo. Los ensayos mecánicos se realizan ante circunstancias simuladas y con equipo adecuado, para resultados satisfactorios. (Guerrero, 2011 p.9)

La Sociedad Americana para Ensayos y Materiales ASTM por sus siglas en inglés, ha desarrollado normas para ensayo de materiales entre las cuales se pueden encontrar las normas de caracterización de composites.

a).- DEFINICIÓN DE DUREZA

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

El estándar ASTM E10-12 define la dureza Brinell como un método de ensayo por indentación por el cual, con el uso de una máquina calibrada, se fuerza un indentador cónico esferoidal de diamante (penetrador de diamante), o una bola de

acero endurecido (acero o carburo de tungsteno), bajo condiciones específicas contra la superficie del material a ser ensayado, en dos operaciones, y se mide la profundidad permanente de la impresión bajo condiciones específicas de carga.

El estándar ASTM E10-12 define el número de dureza Brinell como un número derivado del incremento neto en la profundidad del indentador, cuando la fuerza en el indentador es incrementada desde una fuerza previa (preliminar específica) hasta una fuerza total (específica) y luego retornada al valor de fuerza previa.

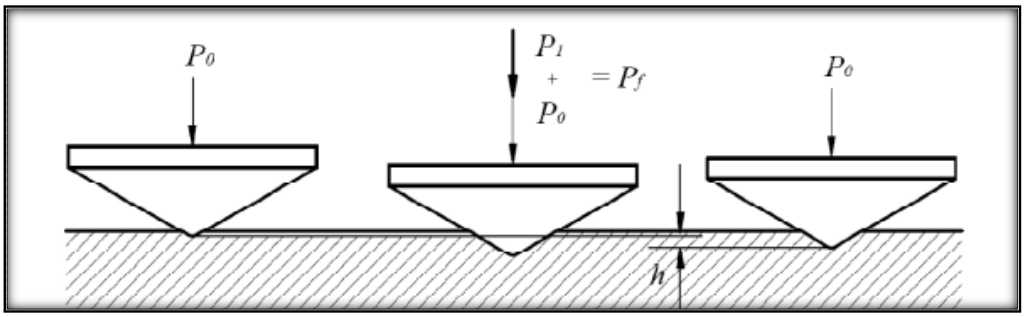


Figura 2.5 Esquema de medición de la dureza Brinell

Fuente: Gabriel Calle y Edison Henao

(www.utp.edu.co/~gcalle/DUREZABRINELL.pdf)

Al comienzo el identador penetra un poco en la superficie de la muestra bajo la acción de la carga previa P0, la cual se mantiene hasta el final del ensayo. Esto garantiza una mayor exactitud del ensayo ya que excluye la influencia de las vibraciones y de las irregularidades de la delgada capa superficial. Después se expone la probeta a la acción de la carga total Pf = P0 + P1, y la profundidad de penetración aumenta. Luego de retirada la carga principal P1, en el sistema probeta-indentador ocurre una recuperación elástica, ya que sobre el actúa sólo la carga previa P0, siendo posible la medición de la profundidad de penetración h, la cual determina el número de dureza Rockwell (HR). (Calle, Henao, 2010, p.1)

Para determinar la dureza Brinell se utilizan dos tipos de identadores: el cónico-esferoidal de diamante y el de bola (acero o carbono de tungsteno) de varios diámetros entre el número de Brinell y la profundidad de la impronta h existe la siguiente dependencia:

Para el cono de diamante $HR = 100 - \frac{h}{0.002}$

Para las bolas de acero $HR = 130 - \frac{h}{0.002}$

De éstas fórmulas se deduce que cada unidad de dureza Brinell corresponde a una penetración de 0,002 mm y que el valor de dichas unidades debe ser restado de cierto "tope" para que haya coherencia: a menor profundidad de penetración mayor será el número de Brinell y viceversa.

En la práctica no hay necesidad de usar estas fórmulas, ya que los indicadores de las máquinas de Brinell de manera automática realizan estas operaciones mostrando directamente el número de dureza en sus diales. Estas características granjearon para éste método una gran importancia.

2.4.5 DESGASTE

El desgaste se define como el daño que sufre un cuerpo sólido debido a un movimiento relativo entre la superficie y los cuerpos sólidos, líquidos o gaseosos con los cuales se encuentre en contacto, el daño que se genera en el elemento se puede presentar de varias formas, las cuales se mencionan a continuación:

- Pérdida progresiva de material en la superficie del cuerpo.

- Desplazamiento de material sin pérdida de masa (como el cambio de geometría que puede experimentar un cuerpo al deformarse plásticamente).
- El daño que sufre una superficie, en donde no hay ni perdida de material ni cambios dimensionales, en esta forma de desgaste se encuentra la formación y nucleación de grietas en la superficie. [4](Rodríguez, 2007 Pg, 9)

El desgaste es el desprendimiento de partículas que ocurre en la superficie de sólidos, que se encuentran en contacto y movimiento relativo, sometidas a una carga. El movimiento puede ser en forma unidireccional o de vaivén, ya sea deslizante, rodante o puede ser la combinación de estos dos últimos [6] (Raymond, 1994, pg.35).

Según esta definición, tanto la corrosión como el fenómeno de fractura no se pueden considerar como formas de desgaste, ya que en el proceso de corrosión no existe un movimiento relativo y la fractura es considerada como un fenómeno que comprende todo el elemento, en vez de concentrarse solamente en la superficie del cuerpo. Aunque estos dos procesos no son considerados como formas de desgaste, la corrosión y la fractura si pueden estar presentes en situaciones en las cuales se revele un deterioro superficial, puede haber componentes o elementos corrosivos o de fractura que contribuyan al daño en la superficie, que resulta de una acción mecánica realizada. [4](Rodríguez, 2007 Pg, 10)

Existe otro término relacionado al desgaste en escenarios donde existe deslizamiento o rodamiento puro sobre un cuerpo o sustancia, este término es

conocido como la fuerza de fricción, la cual es la fuerza que se opone al movimiento entre las dos superficies y actúa paralela a la superficie de contacto. La fricción en sistemas de deslizamiento, se considera de gran importancia, ya que si no se controla de manera adecuada puede afectar el desempeño de un lubricante o las propiedades mecánicas del material o de su recubrimiento.

La magnitud de esta fuerza se encuentra en términos del coeficiente de fricción (μ) y la fuerza normal (N) a la superficie, de este modo la fuerza de fricción Ff está dada por:

$$Ff = \mu N \qquad \text{Ecuación 2.1}$$

Dónde:

Ef= fuerza de fricción.

μ= coeficiente de fricción

N= fuerza normal

Valores típicos para μ en rodamientos muy lubricados se encuentran entre 0.03 y 0.04 aproximadamente; para deslizamiento en seco se encuentran valores ente 0.5 hasta 0.8.

El coeficiente de fricción entre dos superficies sólidas que se encuentren en contacto, es función de varios factores entre los cuales se encuentran:

- Acabado superficial de las dos superficies.
- Carga aplicada sobre los cuerpos.

- Dirección del movimiento.
- Velocidad del movimiento.
- Temperatura de la región de contacto.

La energía generada por la fuerza de fricción está asociada con la energía total perdida por el sistema de deslizamiento, cuya manera principal de presentarse es en forma calor, por otro lado, el desgaste se relaciona con la energía generada por el movimiento y por el daño sufrido en la superficie del material, generalmente esta energía es mucho menor comparada con la de fricción. [4](Rodríguez, 2007 Pg, 9)

a).- Medidas de desgaste

La forma más común de daño superficial es la pérdida o desplazamiento del material, por lo tanto, el volumen puede ser usado como medida de desgaste.

Para propósitos científicos el volumen es frecuentemente la medida para cuantificar este proceso, aunque en algunos casos solo se utiliza la pérdida de masa por su facilidad de medición. Actualmente esta unidad de cuantificación no se puede considerar como medida primaria o directa para desgaste, debido a varios inconvenientes que se presentan con las propiedades de los materiales y con la geometría de la pieza, como los que se mencionan a continuación: [4](Rodríguez, 2007 Pg, 11).

Las densidades de los materiales no siempre permanecen constantes, por este motivo, solo se podrían comparar materiales si sus densidades son aproximadamente iguales, en este caso la parte crítica se encuentra en los

recubrimientos de las piezas, en donde las densidades no se conocen con certeza o no se pueden determinar fácilmente.

La medida de masa no mide directamente el material desplazado. Puesto que en aplicaciones de ingeniería lo más importante está relacionado con la perdida de dimensiones o el cambio en la geometría del elemento, la unidad más utilizada para cuantificar el daño a la superficie, es el volumen. Estos cambios y la perdida de volumen se relacionan a través de la geometría del surco, teniendo en cuenta que no siempre la relación entre el volumen y dimensión de desgaste es necesariamente lineal. [4](Rodríguez, 2011 Pg, 11)

b).- Clasificación de desgaste

El desgaste es un proceso muy complejo e importante en la práctica de la ingeniería, ya que es un factor que limita tanto el desempeño como la vida útil de los diferentes componentes de una máquina, razón por la cual muchos científicos e ingenieros han tratado caracterizar este fenómeno, realizando varias clasificaciones y pruebas de laboratorio para el mismo. [4](Rodríguez, 2007 Pg, 9)

Una de estas clasificaciones se basa en las condiciones del medio que rodea al sistema de desgaste, este método de clasificación describe la situación del desgaste en términos de las condiciones macroscópicas que se van a usar en el diseño, de esta manera se encuentran varios subgrupos como: desgaste lubricado, desgaste no lubricado, deslizamiento metal contra metal, metal contra polímero, desgaste a elevadas temperaturas y rodamiento puro, entre otras.

Otra clasificación se realiza en base a los diferentes mecanismos de desgaste como micro corte, micro fatiga, micro arado y micro grietas, aunque esta clasificación es poco aceptada ya que pueden existir situaciones en las cuales se presenten diferentes mecanismos de desgaste al mismo tiempo.

La siguiente clasificación se realiza de acuerdo al tipo de movimiento entre las superficies afectadas. Los subgrupos de esta categoría son: deslizamiento, impacto y rodamiento puro como se observa en la figura 2.6.

El desgaste es el resultado de la interacción superficial de naturaleza dual y de atracción molecular en los límites de adhesión y deformación mecánica en los límites de microcorte. [9] (Ochoa, 2009, PP. 12)

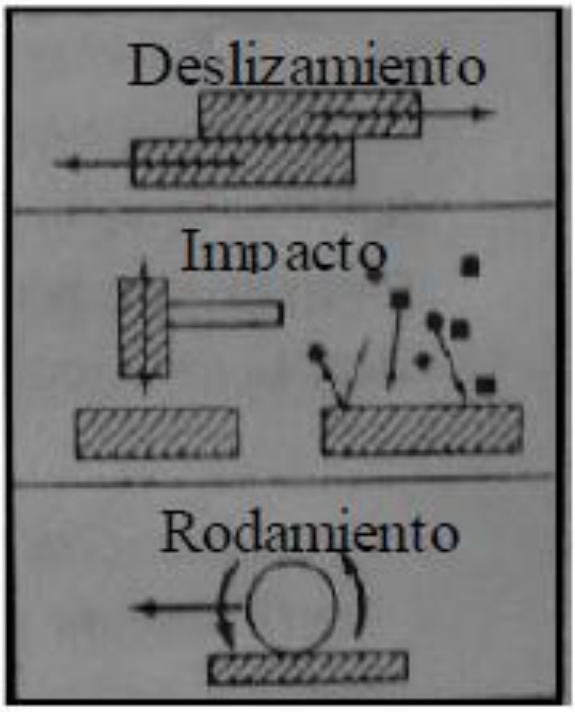


Figura 2.6. Clasificación según tipo de movimiento

Fuente: Davis, Joseph R.

Aunque en la actualidad no hay un sistema uniforme de clasificación, las cuatro categorías mayormente aceptadas son: adhesión, erosión, abrasión y fatiga de la superficie (Figura2.7). La ventaja de esta clasificación consiste en proporcionar una guía al ingeniero para usar un modelo correcto con el fin de proyectar o predecir la vida útil de un elemento sometido a situaciones de desgaste, además de identificar los parámetros importantes del proceso de diseño que pueden ser controlados, como la carga aplicada, la geometría de la pieza, velocidad del movimiento y condiciones del ambiente. [4](Rodríguez, 2007 Pg, 10)

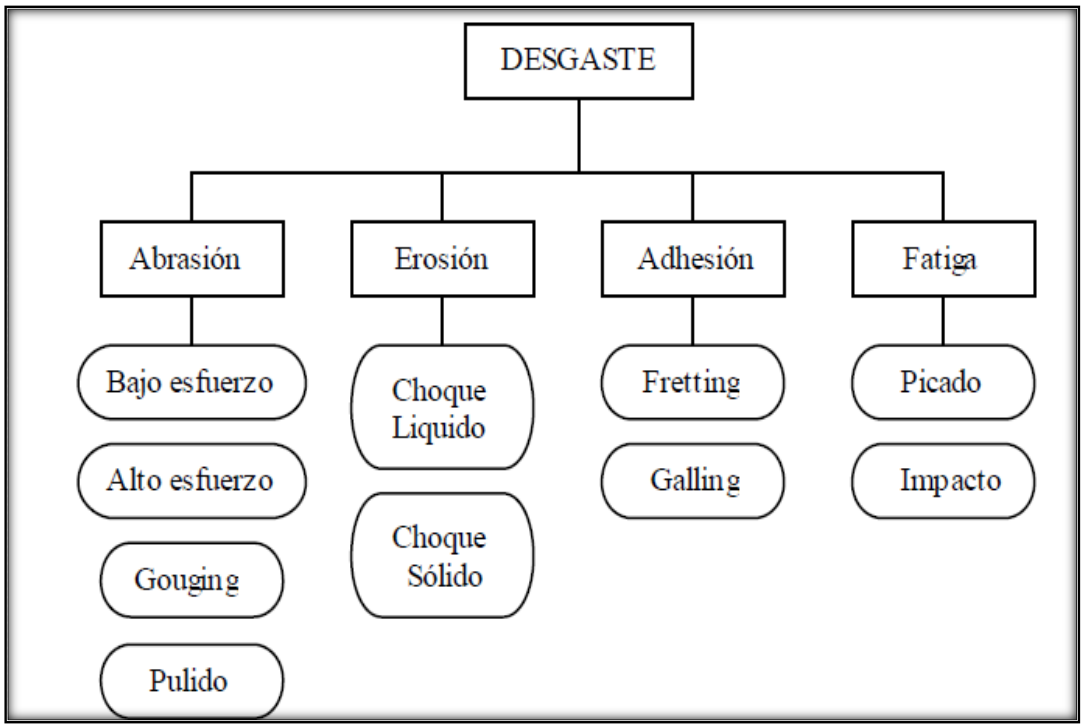


Figura 2.7 Categorías de desgate abrasivo

Fuente: Davis, Joseph R

c).- Desgaste adhesivo

Desgaste por transferencia de material de una superficie a otra, durante movimiento relativo.

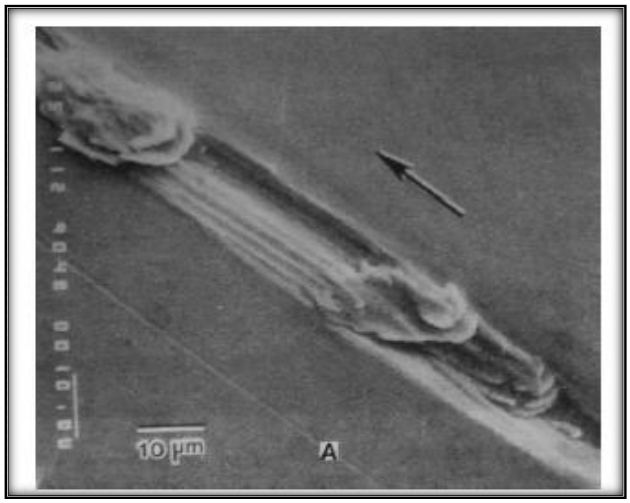


Figura 2.8: Ejemplo de desgaste adhesivo sobre una superficie plana

Fuente: Bayer, Raymond

Uno de los aspectos más importantes dentro de esta categoría de desgaste es el área de contacto, ésta área generalmente está determinada por el contorno de los cuerpos involucrados en el movimiento relativo. Todas las superficies sólidas poseen asperidades microscópicas y macroscópicas, por lo tanto, estas zonas presentaran cierto grado de rugosidad. Cuando dos superficies comienzan a interactuar bajo una carga normal a estas, las asperidades entran en contacto formando puntos localizados que se conocen como uniones, los cuales establecen el área real de contacto, mientras que el área determinada por las características macroscópicas de la superficie se conoce como área aparente de contacto.

Durante este proceso, la deformación de las uniones puede ser elástica o plástica dependiendo del tamaño de las asperidades, de la carga aplicada, de las propiedades del material y de la cantidad de puntos de contacto.

Al presionar las dos superficies, la naturaleza de las fuerzas atómicas indica que se produce adhesión entre los átomos, por lo tanto, cuando comienza el

movimiento la superficie más débil falla y el material es transferido a la otra superficie (Figura 2.8). [4](Rodríguez, 2007 Pg, 9)

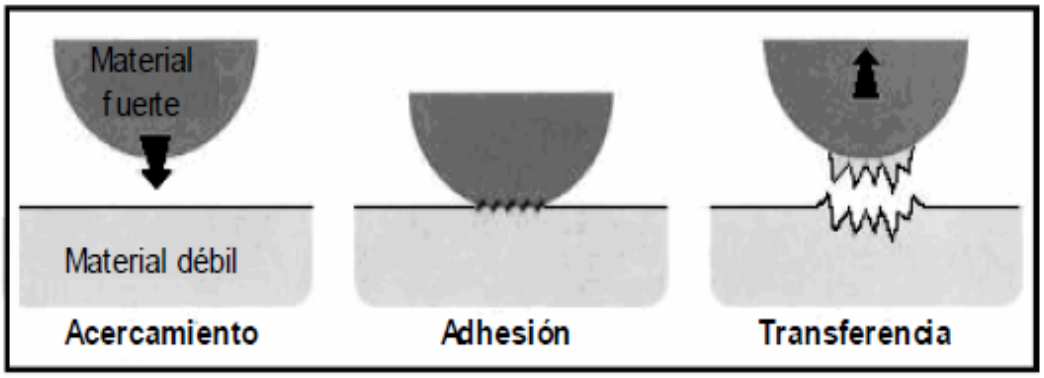


Figura 2.9. Proceso de desgaste adhesivo
Fuente: STACHOWIAK, Gwidon W.

En interacciones posteriores, el material removido puede regresar a la superficie original pero en un lugar diferente o de lo contrario, puede convertirse en escombro.

La ecuación propuesta para el volumen de desgaste (V) se muestra a continuación y se conoce como la ecuación de Archard para desgaste adhesivo.

$$V = \frac{kSL}{H} \qquad \text{Ecuación 2.2}$$

Dónde:

K = Factor de probabilidad de ruptura para una unión.

H= Dureza del material menos duro

S = Distancia del deslizamiento

L = Carga

Una forma severa de desgaste adhesivo se conoce bajo el término de Galling, donde el material empleado se encuentra sometido a grandes cargas con pobre lubricación. El daño producido por este desgaste se caracteriza principalmente por la gran cantidad de material transferido, que pueden llegar a ser grandes fragmentos o protuberancias de ambas superficies.

Este tipo de desgaste se presenta con más frecuencia en materiales dúctiles debido a que las asperidades tienden a deformarse plásticamente incrementando de esta manera el área de contacto de la superficie, aumentando la probabilidad de que ocurra desgate adhesivo, por otro lado los materiales frágiles son menos propensos a sufrir este desgaste ya que bajo altas cargas la asperidades tienden a fracturarse. [4](Rodríguez, 2007 Pg, 9)

Otro término utilizado para describir el tipo de daño sobre una superficie causado por la vibración y la corrosión se conoce como fretting, generalmente ocurre entre dos materiales los cuales se encuentran en un ajuste de interferencia, en donde existe una carga cíclica con un movimiento relativo de muy baja amplitud. Inicialmente el desgaste es adhesivo (se transfiere material de una superficie a otra) generando pequeñas partículas, estos escombros quedan atrapados entre los dos elementos generando desgaste abrasivo o fatiga de la superficie. [4](Rodríguez, 2007 Pg, 9)

d).- Desgaste abrasivo

Desgaste que ocurre como el resultado del contacto dinámico entre superficies sólidas y fragmentos o partículas abrasivas, tales como coque, tierra, arena y

minerales, por este motivo el efecto de la abrasión es más evidente en áreas industriales de agricultura y minería.

Cuando comienza el contacto entre dos superficies, ambas zonas sufren desgaste, generándose mayor daño en alguna de éstas, por lo tanto, se considera a la otra superficie como el abrasivo. La dimensión del daño producido depende tanto de la cantidad de partículas abrasivas en ambas superficies, como de la velocidad de contacto y de las condiciones ambientales que rodean al sistema.

La ASTM considera que el desgaste abrasivo es debido a partículas o protuberancias duras que son forzadas y movidas a lo largo de una superficie de un sólido más blando, teniendo como resultado una pérdida de material o rayado de la misma [2](Handbook, 1992, pg5). Sin embargo, esta apreciación resulta un tanto general; por ello, se emplea una de carácter más específica, en donde la abrasión es generada por las partículas duras que se introducen entre dos superficies más blandas, que se deslizan e interactúan mutuamente. Las partículas abrasivas pueden ser las propias asperezas de la superficie o bien el producto del desgaste de las mismas; que tienden a cortar y/o arrancar material de la superficie, generando virutas y/o causando deformación plástica severa (superficial y subsuperficial). En el caso que las partículas sólidas impacten las superficies, se le conoce como erosión; lo cual puede ser considerado como un mecanismo del desgaste abrasivo.

Cuando dos superficies están en contacto y movimiento relativo, se presenta el fenómeno de desgaste en ambas, donde una de ellas, es más dañada que otra, esto no solo debido a las propiedades del material y a las condiciones superficiales;

sino que también depende de la velocidad de contacto, medio ambiente, tipo de carga así como la presencia y naturaleza del abrasivo.

"Esto provoca un nuevo aumento de temperatura de contacto y la retroalimentación positiva se produce. Sin embargo, los modelos de desgaste abrasivo difieren en cuanto a la ubicación de la temperatura crítica y el mecanismo por el cual se debilita la película de lubricante en el contacto". [10](Enthoven, C., 2008, Pp.1).

e).- Clasificación de desgaste abrasivo

El desgaste de acuerdo al tipo de contacto se puede clasificar en:

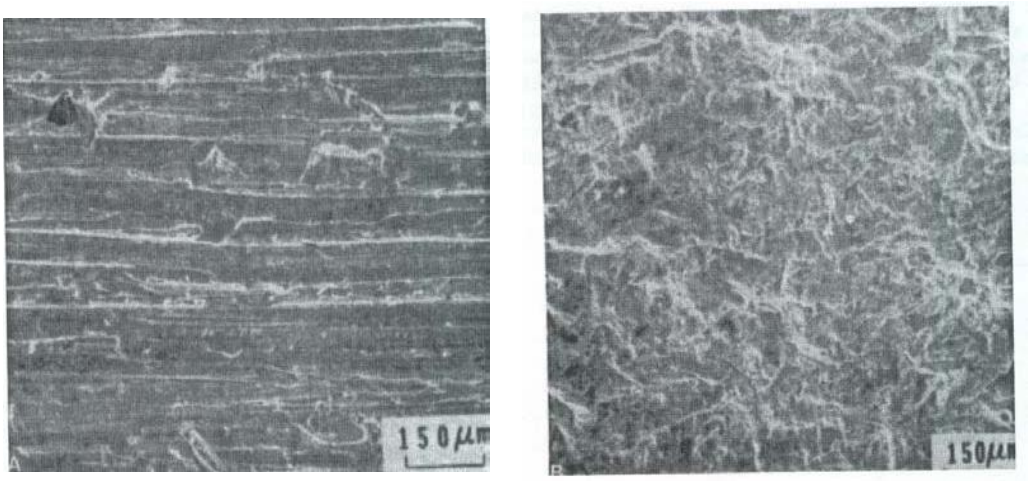
- **Abrasión de dos cuerpos:**

Cuando protuberancias de una superficie se presionan contra un cuerpo más suave.

El desgaste abrasivo de dos cuerpos se produce cuando las asperezas de una superficie dura, presionan sobre otra más suave; al estar en movimiento relativo se genera el daño en ésta última, ya sea por deformación o por desprendimiento de material. Para el caso, en que entre ambas superficies se encuentren presentes partículas duras, las cuales se encargan de transmitir las cargas entre las superficies; esto se conoce como un desgaste abrasivo de tres cuerpos, generando el mismo tipo de daño. El desgaste erosivo se inicia cuando partículas duras, líquidos o una mezcla de éstos, se impactan sobre una superficie sólida, generando

un desprendimiento de material, donde los ángulos de incidencia entre 15° a 30°, muestran una mayor tasa de desgaste para materiales dúctiles.

El daño en la superficie del material es generado por el rayado o el desprendimiento del material, lo cual se observa en las figura 2.10 y 2.11. De cualquiera de estas formas, se considera que la superficie no es la misma, razón que obliga a determinar el cambio de forma y la pérdida de volumen para poder tener una medición del desgaste. [5](López, 2004, pag.26).



a b

Figura 2.10 a) Desgaste abrasivo de dos cuerpos; b) Desgaste erosivo.

Fuente R.G. Bayer 1994

Por otra parte a la abrasión dependiendo del contacto y al medio ambiente, se le clasifica como sistema abierto o cerrado.

En varias y diferentes pruebas indican que para una carga y un desplazamiento, la taza de desgaste es similar para ambos sistemas. Sin embargo, por lo general, se presenta mayor desgaste en los sistemas cerrados ya que estos trabajan con mayores cargas.

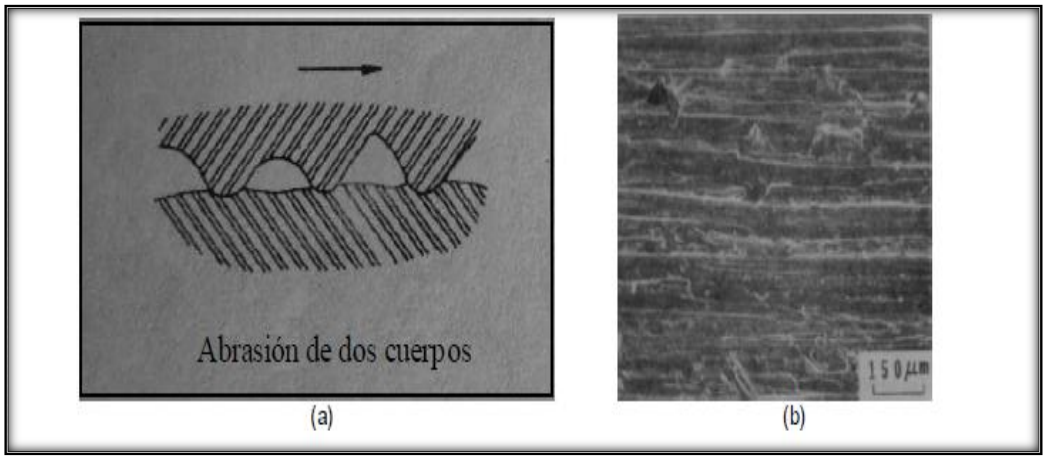


Figura 2.11. (a) Desgaste abrasivo de dos cuerpos. (b) Superficie por abrasión de dos cuerpos

Fuente: Bayer, Raymond

El desgaste abrasivo en la industria se clasifica en tres categorías de acuerdo al esfuerzo de trabajo al que son sometidas las superficies en contacto. La primera se conoce como abrasión de bajo esfuerzo, donde las partículas básicamente se deslizan sobre una superficie, sin sufrir grandes impactos, ésto se presenta en rampas para el transporte de minerales; en tanto que la siguiente categoría, la abrasión de alto esfuerzo, resulta cuando el material de gran dureza es retenido entre dos superficies con el fin de triturarlo, como es el caso de las trituradoras empleadas para reducir el tamaño de rocas o minerales. Por último, la abrasión severa, se considera dentro del grupo de alto esfuerzo, en la cual se puede observar a simple vista las ranuras o surcos, así como desplazamiento del material que se produce por la intensidad del proceso. [5](López, 2004, pag.26)

La fractura, fatiga y fusión son los mecanismos que se presentan durante la abrasión y explican cómo es removido el material de la superficie. En la figura 2.12, se muestran los mecanismos que son posibles cuando una punta abrasiva atraviesa una superficie.

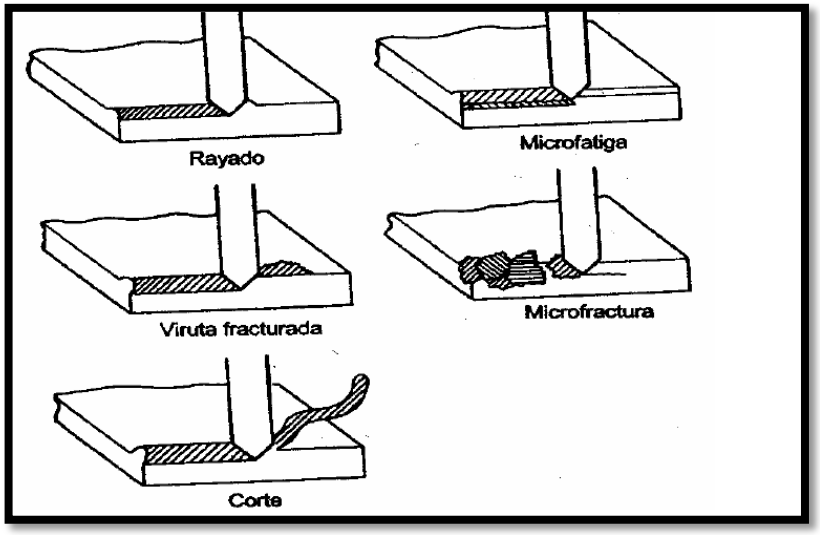


Figura 2.12 Mecanismo de desgaste abrasivo

Fuente: Bayer, Raymond

- **Abrasión de tres cuerpos:**

Cuando partículas duras se encuentran atrapadas entre dos superficies de modo que la fuerza aplicada se transmite a través de las partículas abrasivas.

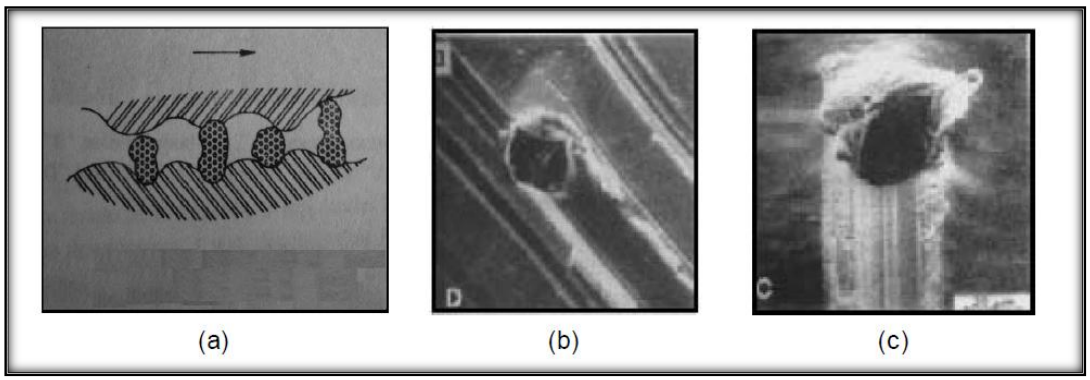


Figura 2.13 (a) Desgaste abrasivo de tres cuerpos. (b) y (c) Partículas abrasivas sobre una superficie plana.

Fuente: BAYER, Raymond

De acuerdo al nivel del daño sufrido, el desgaste abrasivo se puede clasificar en:

1.- Abrasión de bajo esfuerzo

Se conoce también bajo el nombre de rayado, es el desgate que ocurre debido a un frotamiento relativamente suave de partículas abrasivas contra superficies o

elementos metálicos, se denomina de bajo esfuerzo ya que las cargas son lo suficientemente bajas de tal modo que las partículas no se desintegren o se rompan. Generalmente el daño se presenta en forma de rayado y la deformación de la superficie es mínima

2.- Abrasión de alto esfuerzo

Desgaste donde la fuerza aplicada es lo suficientemente alta como para triturar las partículas. El daño se caracteriza por la deformación plástica, rayado y picado del material, debido a las partículas presionadas sobre el cuerpo.

a.- ***Gouging:*** se refiere a la remoción de material debido a la acción repetitiva de altas cargas compresivas producidas por partículas grandes como rocas, dejando a su paso grandes surcos en la superficie gastada.

b.- ***Pulido:*** es un desgaste muy suave donde la abrasión es muy fina, el material se remueve por medio de frotamientos contra otras superficies, el rayado es poco visible y no hay fractura ni deformación plástica.

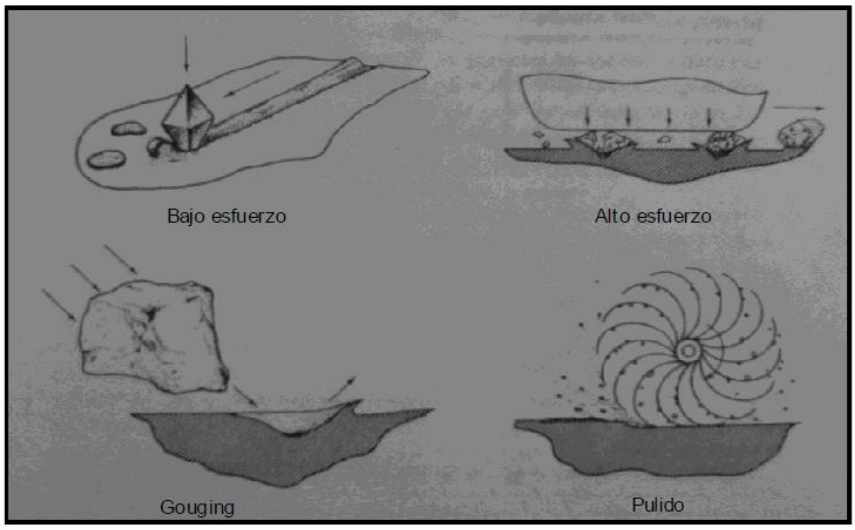


Figura 2.14. Clases de desgaste abrasivo
Fuente: DAVIS, Joseph R.

Las ecuaciones utilizadas para desgaste abrasivo de dos y tres cuerpos se pueden desarrollar a partir del desgaste producido por un solo grano o partícula abrasiva. Para estas ecuaciones se considera una partícula cónica (Fig.2.15) la cual es presionada contra una superficie más suave, de tal manera que al comenzar un movimiento relativo el grano produce un surco en la otra superficie, cuyo volumen es el área seccional de la identación por la distancia de deslizamiento. [4](Rodríguez, 2007 Pg, 9).

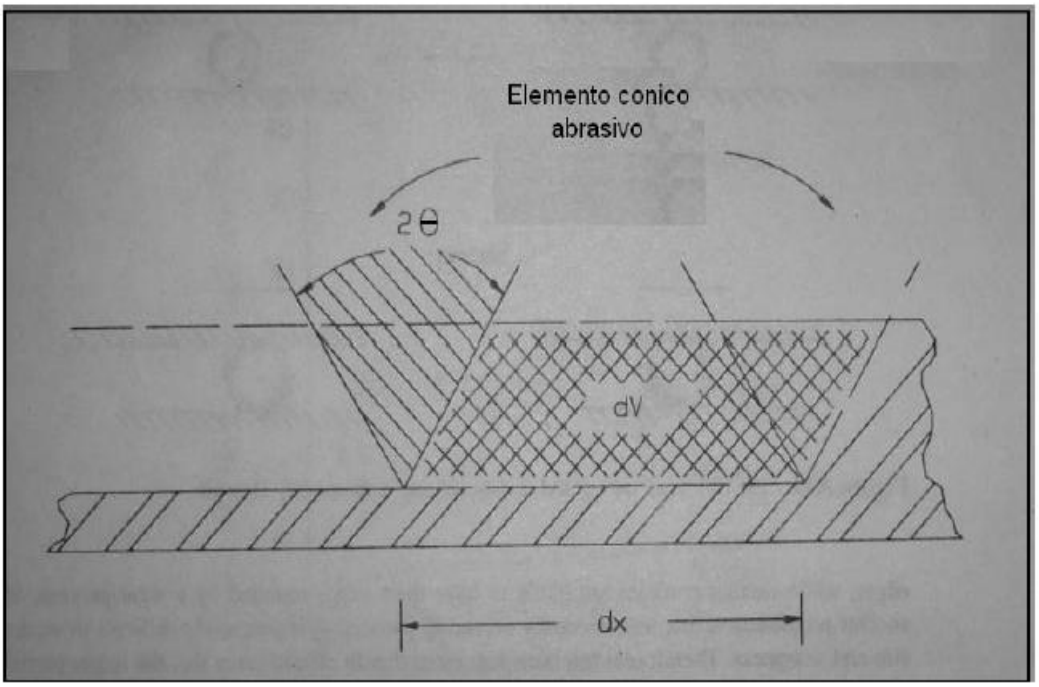


Figura 2.15 Modelo para desgaste abrasivo

Fuente: BAYER, Raymond

Asumiendo que la carga sobre la partícula es suficiente para que el material experimente deformación plástica, se asume que la carga L' está dada por:

$$L' = \frac{p\pi r^2}{2} \qquad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde p es la dureza del material y se divide sobre dos ya que solo la mitad del cono está en contacto con el material.

Por consideraciones geométricas, el área seccional del surco es:

$$As= r^2\tan\theta \qquad \text{Ecuación 2.4}$$

Por lo tanto el volumen de desgaste, dV, producido en una distancia de deslizamiento, x se obtiene de la siguiente forma:

$$dV = r^2 \tan\theta dx \qquad \text{Ecuación 2.5}$$

Integrando:

$$V = 2\tan\theta \left(\frac{L}{\pi\rho}\right) x \qquad \text{Ecuación 2.6}$$

Esta ecuación describe el volumen de desgaste abrasivo producido por un solo grano en una distancia de deslizamiento x. En estados actuales de desgaste se encuentra una mayor cantidad de granos en el proceso, por lo tanto, el volumen desgastado estará dado por la suma de cada uno de estos.

En situaciones reales, es posible que la carga aplicada no solo es soportada por las partículas abrasivas sino también por otro tipo de uniones como las protuberancias de las superficies en contacto, en este caso:

$$mL' '= kL \qquad \text{Ecuación 2.7}$$

Dónde: m es la cantidad de partículas, L'' es la carga equivalente en cada grano y k es la fracción de la carga total soportada por el abrasivo, de esta manera el volumen desgastado es:

$$V = \frac{2k \tan\theta\left(\frac{\theta}{\pi}\right)Lx}{p} \qquad \text{Ecuación 2.8}$$

Existen algunas situaciones en donde el área seccional de la partícula no es igual al área seccional del surco, ya que esta zona puede ser más grande o más pequeña que el área de identación, esto fenómeno depende tanto del material utilizado como de las partículas abrasivas. Si el material tiene un comportamiento dúctil, el área del surco es menor que el área de identación, debido a que existe mayor deformación elástica que plástica, de esta manera el material recupera parte de su forma original al retirarse la carga, si por el contrario el material tiene un comportamiento frágil, el surco puede ser mayor debido a posibles grietas que se puedan generar durante el deslizamiento y la fuerza aplicada.

En estos casos se introduce un factor ε el cual se define como:

$$\varepsilon = \frac{\text{área\_del\_surco}}{\text{área\_identada}} \qquad \text{Ecuación 2.9}$$

$$V = \frac{2\varepsilon k \tan\left(\frac{\theta}{\pi}\right)Lx}{p} \qquad \text{Ecuación 2.10}$$

$$V = \frac{KLx}{p} \qquad \text{Ecuación 2.11}$$

Donde K es un factor que depende de la forma de la partícula, de la naturaleza del proceso y de y de las propiedades del material.

Generalmente los valores de K para desgaste abrasivo de dos cuerpos son mucho mayores a los obtenidos en el desgaste abrasivo de tres cuerpos, esto se debe principalmente a que las partículas están libres dentro del sistemas de deslizamiento, de tal manera que pueden moverse fácilmente sobre la superficie y pueden que no siempre desgasten la pieza, el abrasivo puede rodar por la superficie en vez de deslizarse y formar un surco.

En cuanto al tamaño de las partículas se puede decir que entre más grande el abrasivo mayor el valor de K puesto que los granos de gran tamaño están menos influenciados por la rugosidad del material y por los escombros que se puedan interponer, así mismo estas partículas se pueden romper generando granos más puntudos y afilados, las cuales generan aún más daño superficial que las partículas anteriores.

El ángulo de ataque entra la partícula y la superficie afectada tiene gran influencia en el daño causado sobre la superficie, así como el grado de identación de la partícula junto con el esfuerzo cortante que se genera en el material. De este modo entre mayor sea el ángulo de ataque más severo se considera el desgaste. Si este ángulo es alto, el mecanismo por el cual se afecta el material es micro cortado. Si el ángulo se encuentra en un nivel intermedio se produce un fenómeno de cuña en donde la partícula forma un surco irregular debido a material acumulado sobre el grano. Por último si el ángulo es pequeño el mecanismo de desgaste implicado es el micro arado. (Figura 2.16)

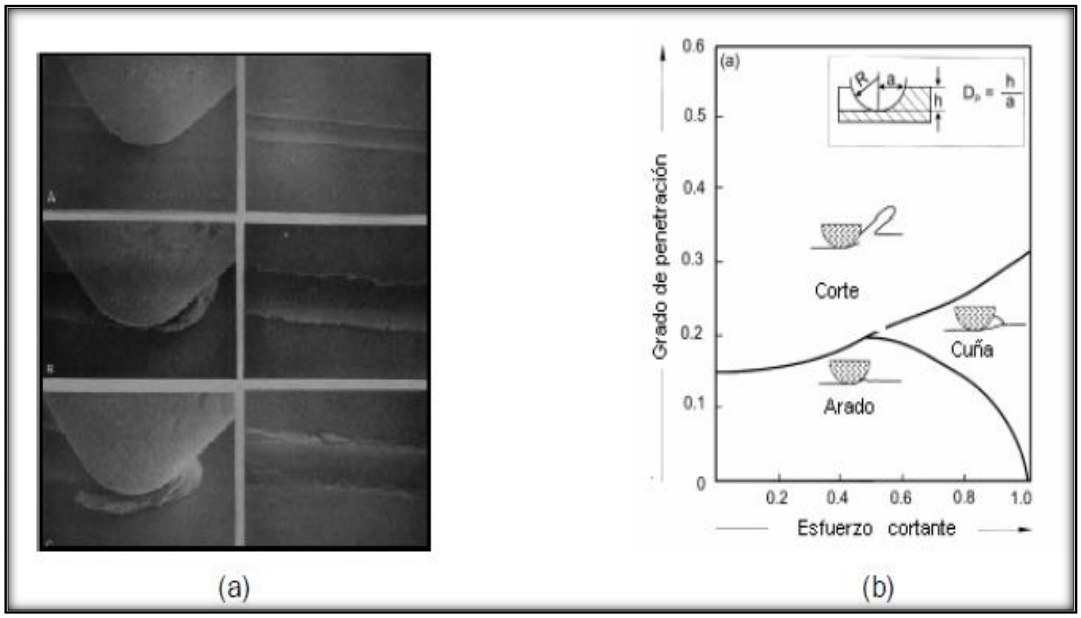


Figura 2.16 (a) Cambio de desgaste abrasivo debido al ángulo de ataque. (b) Gráfica de esfuerzo cortante contra el grado de penetración de la Partícula

Fuente: BAYER, Raymond; ZUM, Gahr.

g).- Mecanismos de desgaste abrasivo

Los mecanismos de desgaste explican como el material se remueve de la superficie.

Entre los más importantes se encuentran:

1.- Micro arado: No hay remoción de material, la partícula deforma plásticamente al material dejando surcos sobre la superficie, generalmente ocurre bajo cargas ligeras.

2.- Micro fatiga: Ocurre cuando las partículas pasan varias veces sobre la superficie dejando surcos a su paso sin remoción de material (cuando el micro arado se presenta repetidamente)

3.- Micro corte: Es el mecanismo de desgaste más severo de todos, el abrasivo remueve material cuando la profundidad de la partícula es relativamente alta.

4.- Micro agrietamiento: Se presenta en materiales frágiles cuando las fuerzas aplicadas por las partículas sobrepasan la tenacidad a la fractura del material, este mecanismo de desgaste aparece cuando hay concentradores de tensión en la superficie. [4](Rodríguez, 2007 Pg, 11).

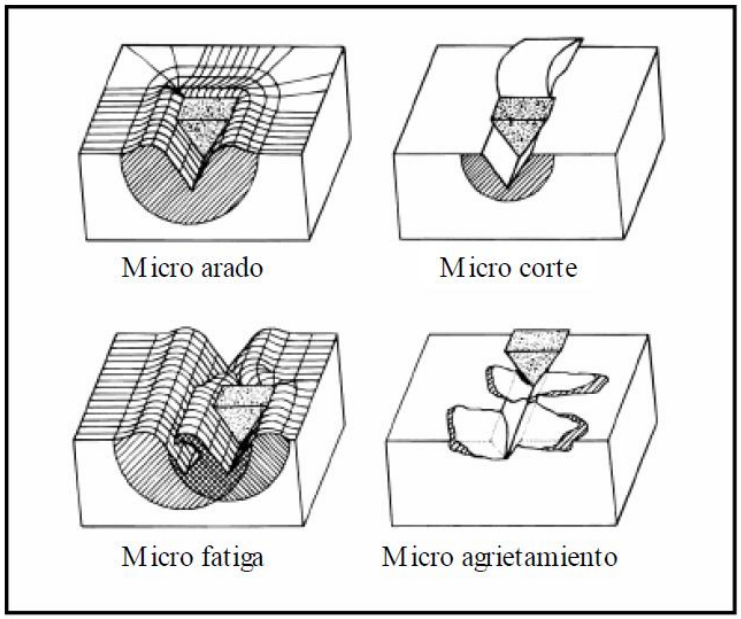


Figura 2.17 Mecanismos de desgaste abrasivo
Fuente: ZUM, Gahr.

Los resultados de la prueba de abrasión que se notifica es la pérdida de volumen en milímetros cúbicos, de acuerdo con el procedimiento especificado utilizado en la prueba. Por ejemplo, mm^3 por Procedimiento ASTM. Si bien los resultados de pérdida de masa se pueden utilizar internamente en los laboratorios de pruebas para comparar los materiales de densidades equivalentes, es esencial que todos los usuarios de este procedimiento de ensayo informan sobre sus resultados de manera uniforme como la pérdida de volumen en las publicaciones o informes de

manera que no haya confusión causada por las variaciones en la densidad de. Convertir la pérdida de masa de la pérdida de volumen de la siguiente manera:

$$\text{Pérdida de volumen} = \frac{\text{masa perdida}}{\text{densidad}} * 1000 \qquad \text{Ecuación (2.13)}$$

Dónde:

Pérdida de volumen =mm^3

Masa perdida= gramos

Densidad = $\frac{gr.}{cm^3}$

La tasa de desgaste se calcula mediante la siguiente expresión, obteniéndose el promedio de los valores que aparecen en la tabla 4.

$$Q = m * L \qquad \text{Ecuación (2.14)}$$

Dónde:

Q = Tasa de desgaste [gramos/metro]

m = Pérdida de peso [miligramo]

L = Distancia deslizada [metro]

Por su parte el coeficiente de desgaste k, se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$k = Q / W \ (2) \qquad \text{Ecuación (2.15)}$$

Dónde:

W = Carga aplicada.

Q = Tasa de desgaste [gramos/metro]

Cálculo y reportes de calificaciones

h).- Desgaste erosivo

En esta forma de desgaste, la pérdida de material de la pieza se genera por medio de repetidos impactos de partículas sólidas contenidas en un fluido, las cuales se mueven a través de toda la superficie del material. Estas partículas pueden acelerar o desacelerar y a su vez cambiar la dirección de movimiento por el fluido.

El desgaste en tuberías causado por la mezcla de partículas abrasivas en un medio líquido es uno de los ejemplos del desgaste erosivo, así como el daño causado por arena en un flujo de aire. [4](Rodríguez, 2007 Pg, 9).

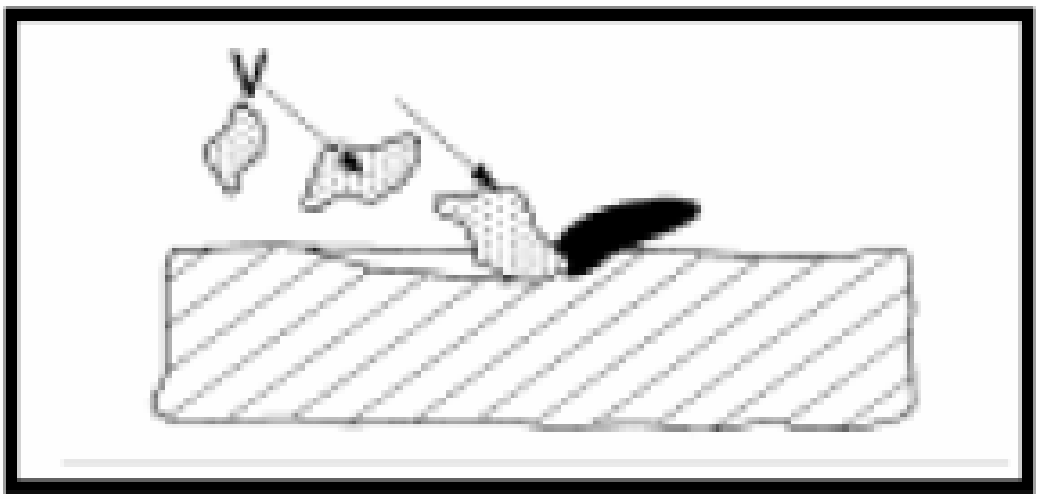


Figura 2.18 Dibujo esquemático de desgaste abrasivo

Fuente: ZUM, Gahr.

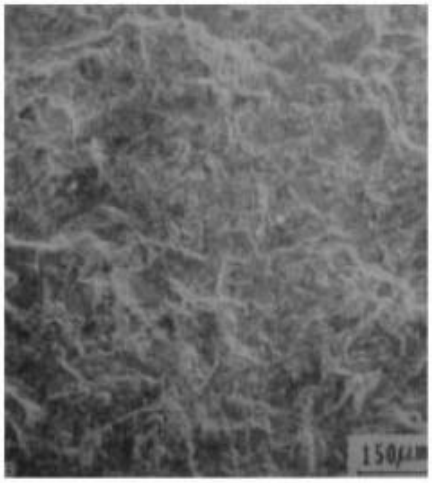


Figura 2.19 Superficie desgastada por erosión
Fuente: BAYER, Raymond.

La erosión de una superficie también puede ocurrir en un medio líquido sin la presencia de partículas duras abrasivas, esta clase de daño superficial recibe el nombre de erosión líquida, en donde la cavitación es un mecanismo representativo de este tipo de desgaste, esta erosión incluye remoción progresiva del material de una superficie, por medio de repetidas cargas de impulso en áreas microscópicas.

El daño producido por la erosión se caracteriza por:

- Superficie rugosa.
- Rayado sin dirección específica.

En esta situación de desgaste las variables que mayor influencia tienen en este proceso, se pueden clasificar en tres tipos:

1. Variables de choque: describen el flujo de la partícula.

- Velocidad.
- Angulo de ataque.
- Concentración de partículas.

2. Variables de la partícula:

- Forma.
- Tamaño.
- Dureza.

3. Variables del material:

- Dureza.
- Micro estructura.

Dentro de las variables de choque, la más importante es el ángulo de ataque entre la partícula y la superficie, debido a la gran influencia que tiene sobre la tasa de material removido, de esta manera, este ángulo determina si el mecanismo de desgaste es micro cortado o micro arado, por lo tanto, debajo de un punto crítico hay deformación plástica solamente. En el desgaste erosivo el efecto del ángulo depende del comportamiento del material, si éste es frágil o dúctil como se muestra en la Figura 2.20.

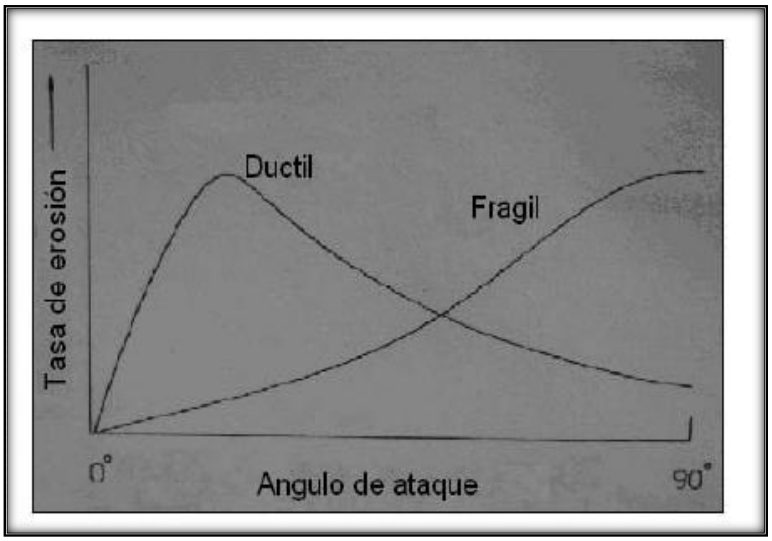


Figura 2.20 Gráfica de ángulo de ataque contra tasa de erosión.

Fuente: BAYER, Raymond

La fractura frágil tiende a incrementar el volumen de desgaste debido a que los materiales frágiles son más propensos a fracturarse bajo condiciones de impacto, por lo tanto, estos materiales experimentan una mayor tendencia a la fractura al aumentar el ángulo de incidencia. En materiales dúctiles los mecanismos predominantes de desgaste son micro cortado y micro arado, en estos casos la carga aumenta con el ángulo y el deslizamiento decrece con el ángulo.

El desgaste por impacto comprende dos amplios tipos de fenómenos de desgaste: el erosivo (partículas al azar) y el percusivo (impactos repetidos en un punto). La erosión puede ocurrir por chorros y flujos de partículas sólidas pequeñas transportadas por un fluido, en general aire o agua, o también por gotas líquidas. La percusión ocurre por impactos repetidos de cuerpos sólidos de tamaño mayor. En la Figura 2.21 muestra el mecanismo de erosión causado por el choque de partículas sólidas.

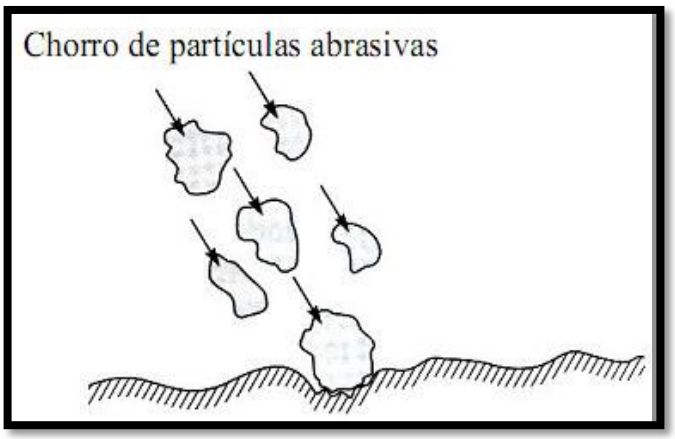


Figura 2.21 Desgaste por impacto

Fuente: BAYER, Raymond

Esto es una forma de abrasión, que generalmente se trata diferente porque la presión del contacto crece con la energía cinética del flujo de partículas en un

chorro de aire o líquido cuando encuentra la superficie. La velocidad de las partículas, el ángulo de impacto y el tamaño medio de las partículas de abrasivo dan una medida de la energía cinética de las partículas que chocan. Como en el caso del desgaste abrasivo, el desgaste erosivo ocurre por deformación plástica y fractura frágil, dependiendo del material que está siendo erosionado y de los parámetros de operación.

Los materiales dúctiles experimentan desgaste por deformación plástica. En los materiales frágiles, en cambio, el material es removido por la formación e intersección de grietas que se difunden desde el punto de impacto de la partícula erosionada. El desgaste por percusión se da por el impacto repetitivo de un cuerpo sólido, (martilleo). En la mayoría de las aplicaciones prácticas de maquinaria, el impacto está asociado con deslizamiento ejerciendo fuerzas con componentes normal y tangencial conocidas como impacto compuesto.

2.4.6 PÉRDIDA DE VOLUMEN

La forma más común de daño superficial es la pérdida o desplazamiento del material, por lo tanto, el volumen puede ser utilizado como medida de desgaste.

Para propósitos científicos el volumen es frecuentemente la medida para cuantificar este proceso, aunque en algunos casos solo se utiliza la pérdida de masa por su factibilidad de medición. Actualmente esta unidad de cuantificación no se puede considerar como medida primaria o directa para desgaste, debido a varios inconvenientes que se presentan con las propiedades de los materiales y con la geometría de la pieza como lo que se menciona a continuación:

- Las densidades de los materiales no siempre permanecen constantes, por este motivo, solo se podrían comparar materiales si sus densidades son aproximadamente iguales, en este caso la parte crítica se encuentra en los recubrimientos de las piezas, en donde las densidades no se conocen con certeza o no se pueden determinar fácilmente.
- La medida de masa no mide directamente el material desplazado.

Puesto que en las aplicaciones de ingeniería lo más importante está relacionado con la pérdida de dimensiones o el cambio en la geometría del elemento, la unidad más utilizada para cuantificar el daño a la superficie, es el volumen. Estos cambios y la pérdida de volumen se relacionan a través de la geometría del surco, teniendo en cuenta que no siempre la relación entre el volumen y dimensión de desgaste es necesariamente lineal.

2.5 HIPÓTESIS

La modificación de los parámetros de desgaste abrasivo aplicados en el bronce SAE 64 y SAE 40 bajo la norma ASTM G-65 disminuirá la pérdida de volumen del material.

2.5.1 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

Variable Independiente: La modificación de los parámetros de desgaste abrasivo aplicados en el bronce SAE 64 y SAE 40 bajo la norma ASTM G-65.

Variable dependiente: Pérdida de volumen.

Término de relación: Disminuirá.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

En el proceso de investigación de éste estudio se manejaron variables predominantemente cuantitativas, ya que se manejaron datos numéricos los cuales a su vez fueron explicativos, debido a que se realizó el ensayo de desgaste abrasivo para determinar el desgaste del material, sin embargo, se realizó en una parte de este estudio un análisis cualitativo ya que ayuda a entender el fenómeno de la fricción y el desgaste.

La información que se requirió para el presente estudio, tuvo como fuentes primarias la Norma ASTM G 65, libros, tesis, artículos, internet, mientras que las fuentes secundarias se requirieron a las publicaciones y/o artículos técnicos en el área de materiales; así también, para el análisis de resultados se manejaron tablas y gráficas de barras.

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se formuló de una manera lógica utilizando las siguientes modalidades:

3.2.1 De Campo: Se trata de un trabajo de campo por cuanto se recolectó la información directamente del lugar donde suceden los hechos, esto es, en la aplicación del método ASTM G-65.

3.2.2 Bibliográfica: La presente investigación fue bibliográfica, ya que la recopilación de la información está tomada básicamente de Normas y documentos afines que son de gran aporte para el conocimiento intelectual fruto del cual emergió la elaboración del proyecto.

3.2.3 Investigativa: Con esta modalidad se investigó todos y cada uno de los detalles del proyecto, tanto su diseño como su funcionamiento. Para esto se indagó cada uno de los parámetros de análisis, generando hipótesis y reconociendo las variables de interés investigativo.

3.2.4 Experimental: Con esta investigación se pudo evaluar el comportamiento del bronce frente a la fricción, determinando el efecto en su vida útil.

3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 Explorativa: Debido a la situación actual del objeto de estudio: Parámetros de desgaste abrasivo evaluado bajo la norma ASTM G-65. Así mismo, es de tipo descriptivo, porque se estableció un diagnóstico de las características más representativas de la aplicación de la norma.

3.3.2 Estudio de Casos

Material	**Casos**
Bronce SAE 40 y SAE 64	Procedimiento B
	Procedimiento D
	Procedimiento E

3.3.2.1 Materiales empleados para el ensayo

Los materiales empleados para este estudio son los siguientes:

- Bronce SAE 40.
- Bronce SAE 64.

3.3.2.2 Número de Procedimientos para el ensayo de abrasión

Debido a que la presente investigación se la realiza mediante la aplicación de la norma ASTM G65-04, los procedimientos son los siguientes:

- **Procedimiento B:** 130N (30 lb); 2000 revoluciones.
- **Procedimiento D:** 45N (10,1 lb); 6000 revoluciones.
- **Procedimiento E:** 130N (30 lb); 1000 revoluciones.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 POBLACIÓN

Para determinar la población del presente estudio se basó en los parámetros que rige la norma ASTM G65-04, en ésta se establece que el número de pruebas no debe ser menor a 3, además, en normativas similares a máquinas tribológicas (ASTM G83-96) establecen que el número de ensayos no debe sobrepasar a 10, por lo tanto, la población para esta investigación es de 10.

3.4.2 MUESTRA

La muestra para la siguiente investigación se calcula con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N}{E^2(N-1)+1}$$

Dónde:

- n= Tamaño de la muestra.
- N= Población.
- E= Error de muestreo.

Entonces:

$$n = \frac{10}{0{,}33^2(10-1)+1} \rightarrow \mathbf{n = 5}$$

En total el número de ensayos para la presente investigación serán:

DE ENSAYOS= (Materiales empleados para el ensayo)*(Número de Procedimientos)* (Tamaño de la muestra (n))

DE ENSAYOS= 2*3*5

 # DE ENSAYOS= 30

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.5.1. OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE

VARIABLE INDEPENDIENTE: ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE DESGASTE ABRASIVO DEL BRONCE SAE 40 Y 64 BAJO LA NORMA ASTM G-G5.

Tabla 3.1 Operacionalización de la Variable Independiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Los parámetros de desgaste abrasivo que estan definidos por la norma ASTM G-65 son: Carga aplicada, número de revoluciones y abrasión lineal. Es importante analizar el efecto de estos parámetros sobre la pérdida de volumen para establecer el comportamiento de los materiales	Parámetros de Desgaste Abrasivo	Carga aplicada	30 lb (130 N) (B, E) 10,1 lb (45N) (D)	OBSERVACIÓN DIRECTA
		Número de revoluciones	2000 rev. (B) 6000 rev. (D) 1000 rev. (E)	Bibliográfica
		Abrasión lineal	1486 m (B) 4309 m (D) 748 m (E)	Norma ASTM G-65

Elaborado por: Autor

3.5.2 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES

VARIABLE DEPENDIENTE: PÉRDIDA DE VOLUMEN.

Tabla 3.2 Operacionalización de la variable Independiente

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
La pérdida de volumen de un material es la forma más común de cuantificar el desgaste abrasivo de los materiales, esta se produce debido al contacto dinámico entre superficies sólidas, fragmentos y partículas abrasivas. Además, la pérdida de volumen es función de la masa inicial, final y la densidad del material.	Pérdida de volumen	$P_v = \frac{m_o - m_f}{\rho}$	Pérdida de masa (gramos) Tasa de desagste (miligramos*metro) Coeficiente de desgaste	OBSERVACIÓN DIRECTA Ficha de recolección de datos Norma ASTM G-65

Elaborado por: Autor

3.6 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

De acuerdo al desarrollo de la operacionalización de variables se recolectó la información por medio de la siguiente técnica con sus respectivos instrumentos:

3.6.1 OBSERVACIÓN

Para lo cual se tomó notas de todo lo que se consideró necesario, para describir y analizar los hechos de significación especial que ayudaron a tener una base informativa suficiente; se utilizó un cuaderno de notas para describir todo lo observado, además se anotó fechas, características, cantidades, como medios de recolección de la información se utilizó varios equipos como son los que el Laboratorio de Materiales de la Universidad Técnica de Ambato tiene a disposición.

3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.7.1 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOGIDA.

Los datos que se obtuvieron de los ensayos de las probetas del bronce se procesaron mediante:

Tablas, Fichas de recolección de información, fotografías y planos que permitieron la tabulación de los datos de acuerdo a los parámetros y a la relación que tienen las variables de la hipótesis.

Relación porcentual con respecto al total de los indicadores, con el resultado numérico y con esta herramienta se elaboraron cuadros de resultados.

Representación de los resultados a través de graficas estadísticas y curvas que permitieron identificar la pérdida de volumen del bronce.

3.7.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Se procedió a obtener datos pesando las probetas en una balanza analítica de 0.0001g. antes de realizar los ensayos para determinar la pérdida de volumen.

Análisis de ensayos abrasivos para determinar la pérdida de volumen que tiene el bronce sometido a tres tipos de procedimientos dados por la norma como son B, D y E dados por distintos parámetros como son: la carga, el tamaño de abrasivo y revoluciones de la rueda.

Se analizó los resultados pesando las probetas por última vez para culminar los ensayos preliminares concernientes a la determinación del desgaste abrasivo y la pérdida de volumen del material de trabajo.

Por eficiencia de la investigación se realizó primeramente ensayos de dureza del material propuesto en función de la configuración establecida para ello. Con base a la recolección de datos, tabulación y análisis estos resultados se determinan los materiales que pasan a los siguientes ensayos a flexión e impacto.

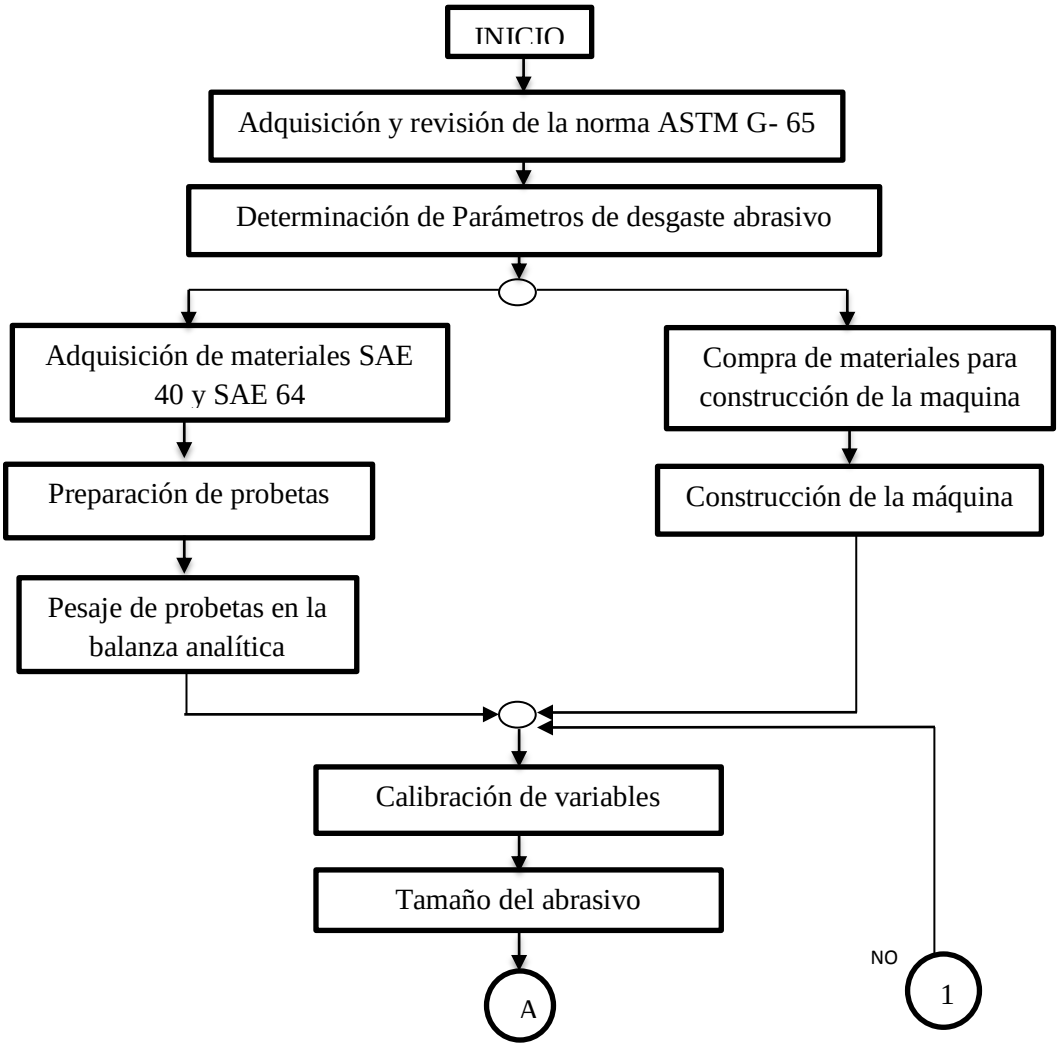
Finalmente, una vez sometidos a estas caracterizaciones mecánicas se llega a determinar un análisis global del material que mejor se comportó, con el objetivo de comprobar la hipótesis.

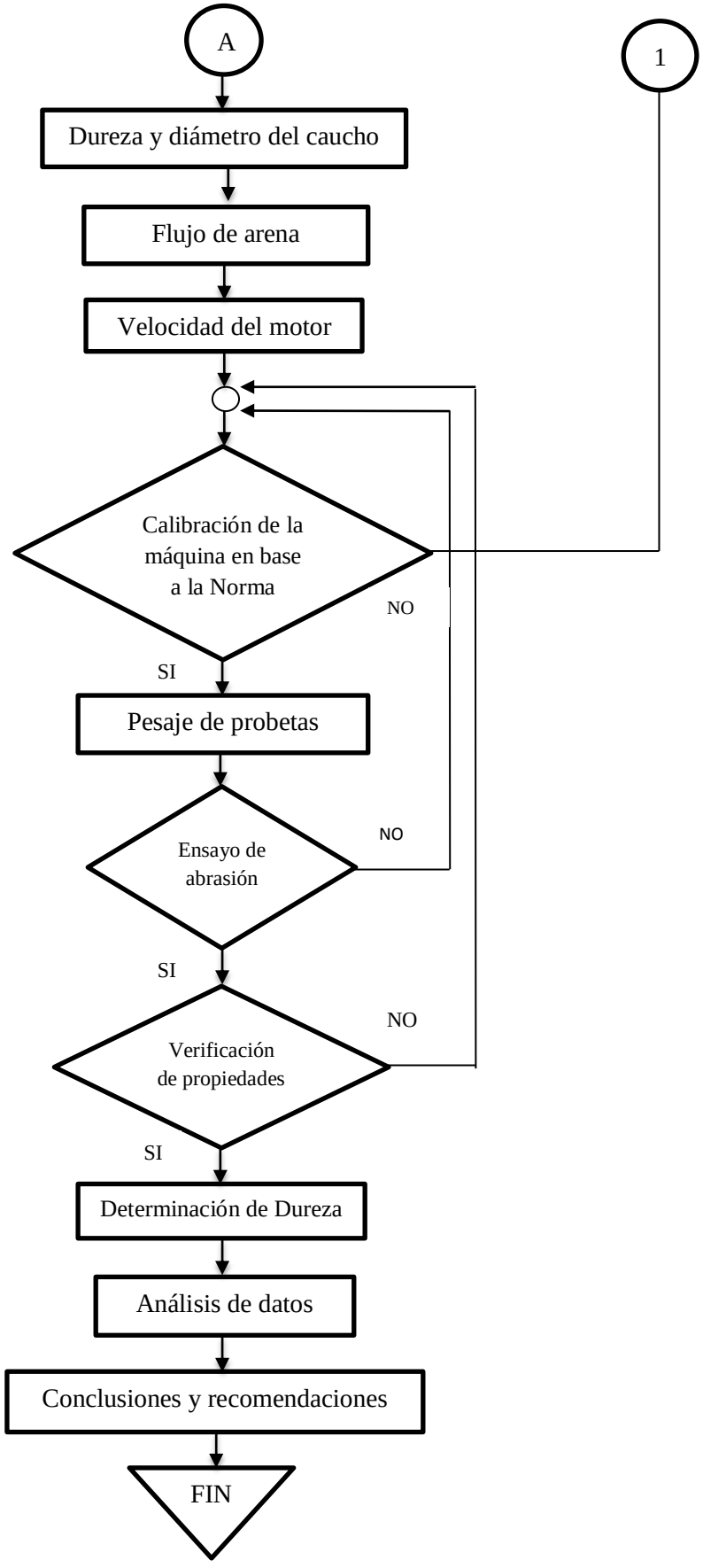
CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se ha considerado el siguiente diagrama de flujo para la toma de resultados, el cual está adaptado según el desarrollo del estudio del bronce SAE 40 Y SAE 64 utilizando la máquina que fue construida en base a la Norma ASTM G-65.




A
1
Dureza y diámetro del caucho
Flujo de arena
Velocidad del motor
Calibración de la máquina en base a la Norma
NO
SI
Pesaje de probetas
Ensayo de abrasión
NO
SI
Verificación de propiedades
NO
SI
Determinación de Dureza
Análisis de datos
Conclusiones y recomendaciones
FIN

4.1.1 REVISIÓN DE LA NORMA Y SUS PARÁMETROS

A continuación se resume los datos más importantes para desarrollar los ensayos según la norma ASTM G-65.

Tabla 4.1 Alcance de la Norma ASTM G-65

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

NORMA ASTM G-65
Método de prueba estándar para medir la abrasión con uso de la arena seca / Rueda de goma

ALCANCE	SIGNIFICADO Y USOS
Este método de ensayo cubre los procedimientos de laboratorio para determinar la resistencia de los materiales metálicos a la abrasión por medio de la arena seca/ rueda de goma.	La gravedad de desgaste abrasivo en cualquier sistema dependerá del tamaño de la partícula abrasiva, la forma y dureza, magnitud de la tensión impuesta por la partícula, y frecuencia de contacto de la partícula abrasiva.

Procedimiento	Descripción	Utilidad	F. Ejercida probeta (N/lb)	Rev. de la rueda
A	Prueba relativamente severa que clasificará los materiales metálicos en una escala de pérdida de volumen mayor de extrema resistencia a abrasión.	En la clasificación de los materiales de medio o baja de resistencia a la abrasión extrema.	130 (30)	6000
B-A	Variación a corto plazo del Procedimiento A.	Cuando los valores de volumen de pérdida desarrollado por el Proced. A superan 100 mm3.	130 (30)	2000
C-A	Variación a corto plazo de Procedimiento A.	Para uso en revestimientos delgados.	130 (30)	100
D	Es una variación de la carga más ligera del Procedimiento A.	En la clasificación de materiales de baja resistencia a la abrasión.	45 (10.1)	6000
E-A	Variación a corto plazo de Procedimiento B.	En la clasificación de los materiales con resistencia a la abrasión media o baja.	130 (30)	1000

Fuente: Autor

4.1.2 EVALUACIÓN DEL BRONCE SAE 40 COMO VIENE DE FÁBRICA.

Los bronces se trajeron de fábrica en ejes debido a que no se encontró en platina.

Tabla 4.2: Bronce SAE 40

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

Características del Bronce SAE 40 como viene de Fábrica

DATOS INFORMATIVOS			**Rreg:D.I.001**		
PROBETA N°	**01**	**Autorizado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes	**Realizado por:**	Jacob Pérez
Lugar de realización:		Laboratorio de Materiales F.I.C.M		**Fecha de ejecución:**	22/10/2013
Temperatura ambiente del lugar:			**20° C**	**Flujo de aire del medio:**	Estático

Especificaciones del bronce utilizado

				Detalle referencial
Especificación material:	Bronce	**Tipo o grado:**	SAE 40	
Diámetro:	1”	**Resistencia a tracción:**	37000psi (255 Mpa.)	
Longitud:	3”	**Dureza:**	60 HB.	
Características:	EJE	**Tratamiento térmico:**	Ninguno	

Composición Química (Análisis Típico %)

SAE 40			
% Cu	**% Sn**	**% Pb**	**% Zn**
85	5	5	5

Observación: El material se lo adquirió en eje por existencia en el mercado, en la cual se mecanizó para dejar a las medidas necesarias para el ensayo.

Las Propiedades son tomadas de la tabla de aceros BOHLER bronces como viene de Fábrica. (Anexo A4 Datos técnicos del Bronce SAE 40).

Elaborado:	Egdo. Jacob Pérez	**Verificado:**	Ing. Mg. Juan Paredes
Revisado:	Ing. Mg. Juan Paredes	**Validado:**	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

Tabla 4.3 Bronce SAE 64

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

Características del Bronce SAE 64 como viene de Fábrica

DATOS INFORMATIVOS				**Rreg:D.I.002**	
PROBETA Nº	02	**Autorizado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes	**Realizado por:**	Jacob Pérez
Lugar de realización:		Laboratorio de Materiales F.I.C.M		**Fecha de ejecución:**	22/10/2013
Temperatura ambiente del lugar:			20°C	**Flujo de aire del medio:**	Estático

				Detalle referencial
Especificación material:	Bronce	**Tipo o grado:**	SAE 64	
Diámetro:	1”	**Resistencia a tracción:**	35000psi (240 Mpa.)	
Longitud:	3”	**Dureza:**	65 HB.	
Características:	EJE	**Tratamiento térmico:**	Ninguno	

Composición Química (Análisis Típico %)

SAE 64		
% Cu	**% Sn**	**% Pb**
80	10	10

Observación: El material se lo adquirió en eje por existencia de mercado, el cual se mecanizó para dejar a las medidas necesarias para el ensayo.

Las Propiedades son tomadas de la tabla de aceros BOHLER bronces como viene de Fábrica. (Anexo A4).

Elaborado:	Egdo. Jacob Pérez	**Verificado:**	Ing. Mg. Juan Paredes
Revisado:	Ing. Mg. Juan Paredes	**Validado:**	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

4.1.3 PREPARACIÓN DE PROBETAS

La preparación de las probetas se realizó mediante fresado para dar el correcto dimensionamiento según pide la norma, es importante durante el maquinado evitar el calentamiento del material para no alterar sus propiedades. Según la norma y en función del espesor promedio determinado en los ensayos preliminares referenciales, además del número de ensayos requeridos, las dimensiones de las probetas según la norma son de 1 pulgada de ancho x 3 pulgadas de largo y 0.5 pulgadas de espesor.

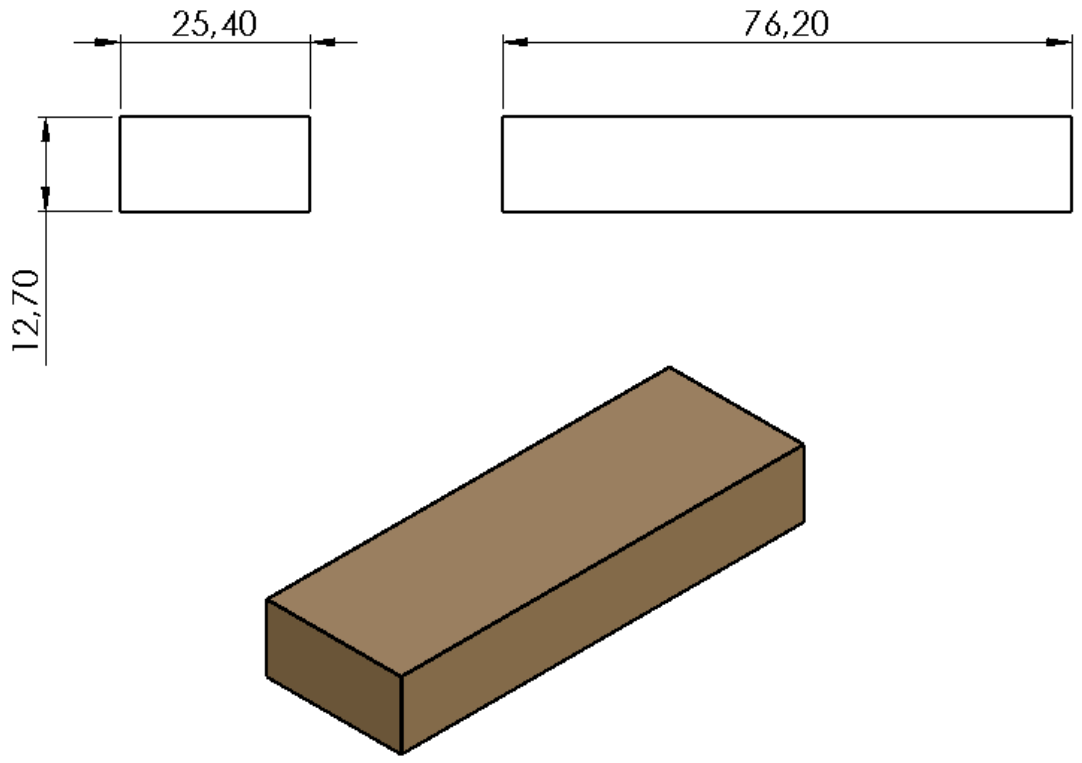


Figura 4.1: Dimensionamiento de la probeta para ensayo

Fuente: Jacob Pérez

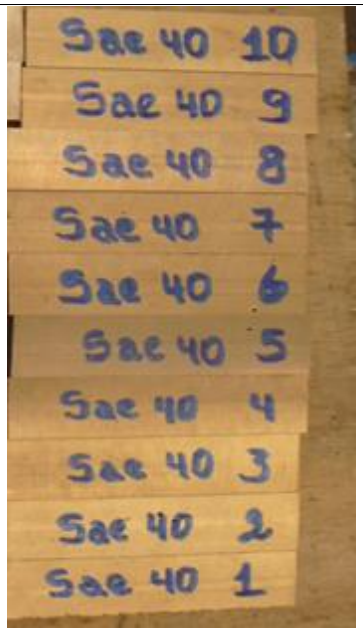
La cara tiene que estar rectificada o una superficie lisa para la realización del ensayo

4.1.4 PESAJE DE PROBETAS

Tabla 4.4 Dimensiones Bronce SAE 40

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

Pesaje del bronce utilizado (SAE 40)

				Detalle referencial
Probetas	**Dimensiones**	**Peso gr.**	**Densidad (gr/cm3)**	
1	(1*3*1/2) pulg	171.1132	8.83	
2	(1*3*1/2) pulg	166.7687	8.83	
3	(1*3*1/2) pulg	151.8630	8.83	
4	(1*3*1/2) pulg	178.3816	8.83	
5	(1*3*1/2) pulg	182.0227	8.83	
6	(1*3*1/2) pulg	179.1463	8.83	
7	(1*3*1/2) pulg	178.2875	8.83	
8	(1*3*1/2) pulg	179.6632	8.83	
9	(1*3*1/2) pulg	180.1380	8.83	
10	(1*3*1/2) pulg	178.7476	8.83	
11	(1*3*1/2) pulg	175.2747	8.83	
12	(1*3*1/2) pulg	177.4962	8.83	
13	(1*3*1/2) pulg	177.2322	8.83	
14	(1*3*1/2) pulg	177.3761	8.83	
15	(1*3*1/2) pulg	176.3923	8.83	

Observación: El material se lo adquirió en eje por existencia de mercado en la cual se mecanizó para dejar a las medidas necesarias para el ensayo.

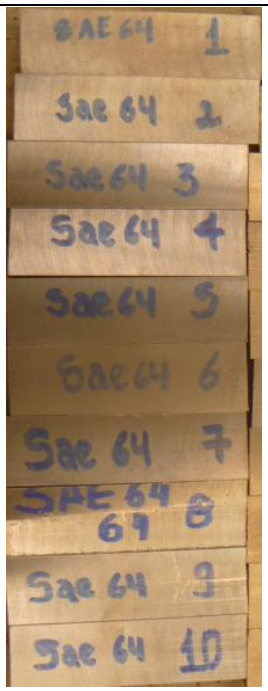
Propiedades tomadas de la tabla de aceros BOHLER bronces como viene de Fábrica. (Anexo A4).

Fuente: Autor

Tabla 4.5 Dimensiones Bronce SAE 64

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

Pesaje del bronce utilizado (SAE 64)

				Detalle referencial
Probetas	**Dimensiones**	**Peso gr.**	**Densidad gr/cm3**	
1	(1*3*1/2) pulg.	139.0437	8.95	
2	(1*3*1/2) pulg.	177.3109	8.95	
3	(1*3*1/2) pulg.	173.5107	8.95	
4	(1*3*1/2) pulg.	175.2037	8.95	
5	(1*3*1/2) pulg.	175.8681	8.95	
6	(1*3*1/2) pulg.	179.8354	8.95	
7	(1*3*1/2) pulg.	182.8215	8.95	
8	(1*3*1/2) pulg.	178.8744	8.95	
9	(1*3*1/2) pulg.	183.5441	8.95	
10	(1*3*1/2) pulg.	181.1705	8.95	
11	(1*3*1/2) pulg.	171.5522	8.95	
12	(1*3*1/2) pulg.	177.7251	8.95	
13	(1*3*1/2) pulg.	178.0568	8.95	
14	(1*3*1/2) pulg.	177.6073	8.95	
15	(1*3*1/2) pulg.	174.8463	8.95	

Observación: El material se lo adquirió en eje por existencia de mercado en la cual se mecanizó para dejar a las medidas necesarias para el ensayo.

Propiedades tomadas de la tabla de aceros BOHLER bronces como viene de Fábrica. (Anexo A4).

Fuente: Autor

4.1.5 CALIBRACIÓN DE VARIABLES

Para la calibración de la máquina se necesitó la verificación de los siguientes componentes:

4.1.6 TAMAÑO DEL ABRASIVO

El tamaño de las partículas tiene que estar en el rango desde 0,212 hasta 0,5 milímetros y la morfología de los granos debe ser lo más redonda posible. En la tabla que se presenta a continuación, se puede observar la forma de las partículas que se utilizaron en las pruebas:

Tabla 4.6 Arena utilizada para el ensayo.

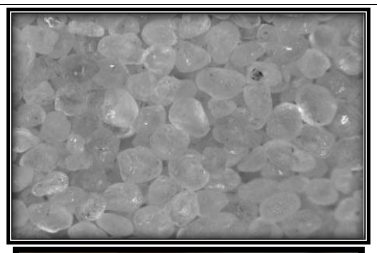
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Características de la Arena Sílica

Ensayo	**01**	**Elaborado por :**	Ing. Mg. Juan Paredes	**Realizado por:**	Jacob Pérez
Lugar de realización:		Laboratorio de materiales FICM	**Fecha de ejecución**		22/10/2013
Temperatura ambiente del lugar			20°C	**Flujo de aire del medio:**	Estático

Especificación material	Arena Ottawa	**Tipo o grado**	AFS 50/70	**Detalle referencial**

Tamaño de tamiz.	**Apertuta de tamiz %**	**Retenido de tamiz**
40	425 µm (0.0165 in.)	Nada
50	300 µm (0.0117 in.)	5 max
70	212 µm (0.0083 in.)	95 min
100	150 µm (0.0059 in.)	No pasa nada



Observación: La forma de la arena debe ser lo más redondo posible

Propiedades tomadas de la tabla de la norma ASTM G-65, granulometría y forma de la arena.

Fuente: Autor

4.1.7 DUREZA Y DIÁMETRO DEL CAUCHO

La dureza del caucho según la norma técnica ASTM G-65 debe encontrarse en un valor de 60 Shore A con una tolerancia de ± 2. Esta dureza específica es de gran importancia ya que el recubrimiento de caucho tiene la función de forzar la arena contra el metal de tal modo que las partículas no se desintegren ni se destrocen. Para el recubrimiento de caucho se tomaron cuatro medidas de dureza, cada una de ellas separada por un ángulo de 90º sobre la periferia, como se describe en la norma técnica. Adicionalmente se tomaron medidas sobre la zona lateral del caucho.

Tabla 4.7 Tipo de Caucho utilizado en el Ensayo

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

Características y Diámetro del caucho

Ensayo	**1**	**Revisado por :**	Ing. Mg. Juan Paredes	**Realizado por:**	Jacob Pérez
Lugar de realización:		Laboratorio de materiales FICM	**Fecha de ejecución**		22/10/2013
Temperatura ambiente del lugar			20°C	**Flujo de aire del medio:**	Estático

Especificaciones del caucho y medidas requeridas

Especificación material:	Caucho de clorobutilo	**Tipo o grado:**	Caucho NBR60	**Detalle referencial**
Temperatura máxima:	90°C	**Dureza:**	60 shore A	

Composición química	
Materiales	Proporción en peso (%)
Chlorobutyl No. HT 10-66	100
Agerite Staylite-S	1
HAF negro	60
Aceite Circolight	5
Ácido esteárico 1	1
El óxido de zinc 5	5
Ledate	2

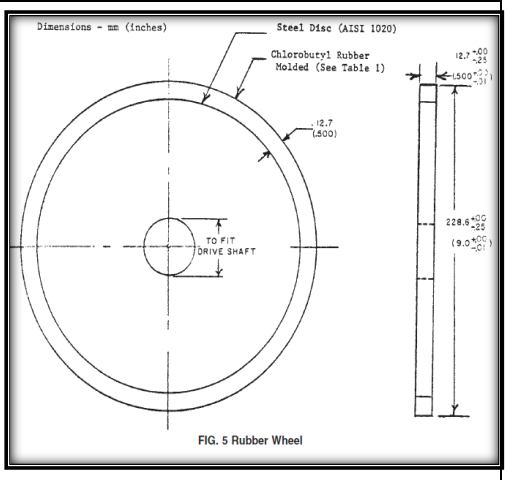


FIG. 5 Rubber Wheel

Propiedades tomadas de la tabla de la norma ASTM G-65-04. (Anexo A4)

Fuente: Autor

Tabla 4.8: Ensayo de Dureza de la Rueda Vulcanizada

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

Ensayo de Dureza de la Rueda vulcanizada

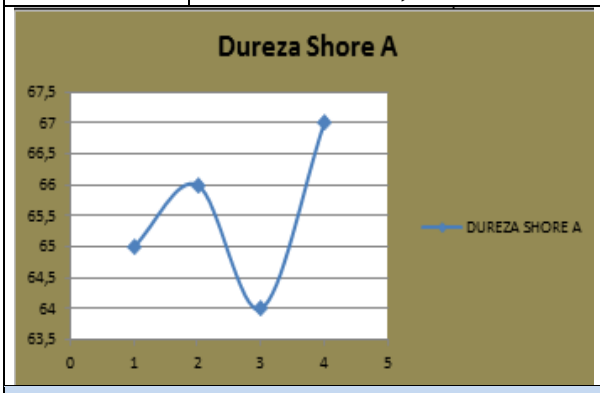
DESCRIPCIÓN: ENSAYO REALIZADO SEGÚN LA NORMA DIN 53505

CENTRO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS :		SERVICAUCHOS QUITO ECUADOR	
INSTRUMENTO:		DURÓMETRO SAUTER SHORT A	
Fecha de ejecución	22/10/2013	**SUPERVISADO POR**	ING. ROBERTH AIMACAÑA
MÉTODO:		MEDICIÓN CONTROLADA	
DUREZA MÁXIMA	62	**DUREZA MÍNIMA**	58

RESULTADO:

TABLA DE DATOS

#	MEDICIONES
1	65
2	66
3	64
4	67
Promedio	65,5



Detalle referencial

Observación:

Propiedades tomadas de la tabla de la norma ASTM G-65-04. (Anexo A4)

Fuente: Autor

4.1.8 FLUJO DE ARENA

Esta variable es la encargada de asegurar que, la zona de la probeta a desgastarse se encuentre totalmente rodeada de las partículas abrasivas, para asegurar que la arena se distribuya uniformemente sobre el ancho del recubrimiento de caucho.

El rango permitido de flujo se encuentra entre 250 a 350 gramos por minuto. En este caso se tomaron 30 datos, donde se permitía el flujo de arena por la tobera durante un minuto y posteriormente se pesaba la muestra.

La media de los datos obtenidos y de la desviación estándar fueron:

- Media = 334.5 gr/min.
- Desviación estándar = 3.7 gr/min.

Estos datos aseguran un flujo de arena dentro de los límites recomendados por la norma, en donde la desviación estándar asegura que todas las medidas se encuentran dentro del rango permitido.

Tabla 4.9 Flujo de arena

Muestra	Flujo arena (gr/min)	Muestra	Flujo arena (gr/min)	Muestra	Flujo arena (gr/min)
1	335.97	**11**	334.17	**21**	337.15
2	333.08	**12**	333.76	**22**	335.39
3	338.38	**13**	333.2	**23**	331.42
4	336.55	**14**	331.77	**24**	329.43
5	328.76	**15**	341.6	**25**	334.66
6	330.08	**16**	336.45	**26**	333.94
7	324.96	**17**	333.05	**27**	336.56
8	328.65	**18**	333.46	**28**	332.86
9	337.96	**19**	336.7	**29**	338.26
10	340.33	**20**	340.45	**30**	336.48

Fuente: Autor

4.1.9 VELOCIDAD DEL MOTOR

La norma técnica ASTM G-65 define una velocidad del motor específica la cual debe permanecer constante durante todo el procedimiento. Esta velocidad de rotación es de 200 rpm con una tolerancia de ± 10 rpm.

Para realizar esta operación, la máquina cuenta con un motor reductor con las siguientes características:

Es importante que tenga una caja reductora para aumentar el torque de salida para evitar que el motor se recaliente y paros imprevistos en el ensayo.

- Potencia = 0.5 HP.
- Velocidad del motor = 1920 rpm.
- Torque de salida = 250 Nm.
- Reducción 10:1.
- Velocidad de salida = 192 rpm.

La velocidad rotacional durante la carga se midió con un estroboscopio, cuyo valor alcanzo una velocidad de 192 rpm manteniéndose dentro del rango permitido por la norma.

Figura 4.2 Motor utilizado para el ensayo

Fuente: Autor

4.1.10 CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA

Tabla 4.10 Calibración de la Máquina

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA** **CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**					
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS			**Rreg:D.I.009**		
Ficha N°	**05**	**ASTM G-65 Procedimiento: B**			
Calibración de la máquina: Tabla X1.2 de la Norma ASTM G-65				Fecha:	18/11/13
Referencia de materiales				Cantidad:	5
Pérdida de volumen	920,077 mm³	C. de variación	69,76		
DATOS DE LA PRUEBA					
Descripción del material:	AISI 4340	**Diámetro rueda:**	9 pulg.		
Tratamiento térmico:	Ninguno	**Ancho de la rueda:**	1/2 pulg.		
Dureza:	31 HRC.	**Dureza de la rueda:**	65,5 Short A		
Preparación de la superficie:	Fresado y rectificado				
N° de Prueba	**1**	**2**	**3**		
Carga de prueba	30 lb.	30 lb.	30 lb.		
Revoluciones de la rueda	200	200	200		
Flujo de arena g/min.	334,5	334,5	334,5		
Masa inicial g.	177.5562	169.9273	173.5691		
Masa final g.	177.1641	169.5173	173.1671		
Masa perdida g.	0,3921	0,41	0,402		
Densidad g/cm³	8,0818	7,5998	7,9972		
Pérdida de volumen mm³ (m.p /d)*1000)	48.5166	53.9491	50.2677		
Observaciones:					
Elaborado:	Egdo. Jacob Pérez	**Verificado:**	Ing. Mg. Juan Paredes		
Revisado:	Ing. Mg. Juan Paredes	**Validado:**	Ing. Mg. Juan Paredes		

Fuente: Autor

4.1.11 CÁLCULOS DE CALIBRACIÓN

Para comprobar la precisión y exactitud de los datos se utilizan métodos estadísticos, donde se involucran el promedio y la desviación estándar del volumen perdido.

Aplicando las ecuaciones para este tipo de análisis se tiene:

$$\bar{\bar{x}} = 54.7107$$

$$\text{Rango} = R = 57.8967 - 54.0191 = 3.8776$$

$$\text{Desviación estandar} = s = \frac{R}{d2} = \frac{3.8776}{1.693} = 2.29037 \text{mm}^3$$

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{s}{\bar{x}} * 100 = 4.186\%$$

Como el coeficiente de variación se encuentra por debajo del límite máximo permitido (7%), el procedimiento se encuentra bajo control. La máquina concuerda con los valores de la norma, con lo cual se puede decir que la máquina esta en intervalos confiables.

Tabla 4.11 Procedimiento B SAE 40

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

ASTM G-65 Procedimiento: B					
Calibración de la máquina: Tabla X1.2 de la Norma ASTM G-65				Fecha:	18/11/13
Referencia de materiales				Cantidad:	5
Pérdida de volumen	1359,231 mm³	C. de variación	69,76		

DATOS DE LA PRUEBA					
Descripción del material:	Bronce SAE 40		**Diámetro rueda:**		9 pulg.
Tratamiento térmico:	Ninguno		**Ancho de la rueda:**		1/2 pulg.
Dureza:	65 HB.		**Dureza de la rueda:**		65,5 Short A
Preparación de la superficie:	Fresado y rectificado				
N° de Prueba	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Carga de prueba	30 lb.	30 lb.	30 lb.	30 lb.	30 lb.
Revoluciones de la rueda	200	200	200	200	200
Flujo de arena g/min.	334,5	334,5	334,5	334,5	334,5
Masa inicial g.	178,287	179,663	180,138	179,146	151,863
Masa final g.	170,134	171,671	172,072	171,249	143,350
Masa perdida g.	8,152	7,992	8,067	7,896	8,512
Densidad g/cm³	8,95	8,95	8,95	8,95	8,95
Pérdida de volumen mm³ (m.p /d)*1000)	923,284	905,096	913,680	894,280	964,043
Observaciones:					

Fuente: Autor

$$\bar{x} = 920.077\text{mm}^3$$

$$\text{Rango} = \text{R} = 964.043 - 894.8086 = 69.462174\text{mm}^3$$

$$\text{Desviación estandar} = \text{s} = \frac{\text{R}}{\text{d2}} = \frac{69.462174}{2.326} = 29.863359\text{mm}^3$$

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{\text{s}}{\bar{x}} * 100 = 3.25\%$$

Tabla 4.12 Procedimiento D SAE 40

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
ASTM G-65 Procedimiento: D					
Calibración de la máquina: Tabla X1.2 de la Norma ASTM G-65			Fecha:	18/11/13	
Referencia de materiales			Cantidad:	5	
Pérdida de volumen	964,527 mm³	C. de variación	51,60		
DATOS DE LA PRUEBA					
Descripción del material:	Bronce SAE 40	**Diámetro rueda:**	9 pulg.		
Tratamiento térmico:	Ninguno	**Ancho de la rueda:**	1/2 pulg.		
Dureza:	65 HB.	**Dureza de la rueda:**	65,5 Short A		
Preparación de la superficie:	Fresado y rectificado				
N° de Prueba	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Carga de prueba	10,1 lb.	10,1 lb.	10,1 lb.	10,1 lb.	10,1 lb.
Revoluciones de la rueda	6000	6000	6000	6000	6000
Flujo de arena g/min.	334,5	334,5	334,5	334,5	334,5
Masa inicial g.	177,37	174,76	176,39	175,51	176,59
Masa final g.	168,80	166,471	167,74	167,17	167,78
Masa perdida g.	8,567	8,289	8,645	8,335	8,745
Densidad g/cm³	8,95	8,95	8,95	8,95	8,95
Pérdida de volumen mm³ (m.p /d)*1000)	970,23	938,834	979,139	943,98	990,441
Observaciones:					

Fuente: Autor

$$\bar{x} = 964.5277\text{mm}^3$$

$$\text{Rango} = \text{R} = 990.4416 - 938.8335 = 51.608154\text{mm}^3$$

$$\text{Desviación estandar} = \text{s} = \frac{\text{R}}{\text{d2}} = \frac{51.608154}{2.326} = 22.18751\text{mm}^3$$

$$\text{Coeficiente de variacion} = \frac{\text{s}}{\bar{x}} * 100 = 2{,}300\%$$

Tabla 4.13 Procedimiento E SAE 40

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

ASTM G-65 Procedimiento: E					
Calibración de la máquina: Tabla X1.2 de la Norma ASTM G-65				Fecha:	18/11/13
Referencia de materiales				Cantidad:	5
Pérdida de volumen	652,917 mm³	C. de variación	62,808		
DATOS DE LA PRUEBA					
Descripción del material:	Bronce SAE 40	**Diámetro rueda:**	9 pulg.		
Tratamiento térmico:	Ninguno	**Ancho de la rueda:**	1/2 pulg.		
Dureza:	65 HB.	**Dureza de la rueda:**	65,5 Short A		
Preparación de la superficie:	Fresado y rectificado				
N° de Prueba	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Carga de prueba	30 lb.	30 lb.	30 lb.	30 lb.	30 lb.
Revoluciones de la rueda	1000	1000	1000	1000	1000
Flujo de arena g/min.	334,5	334,5	334,5	334,5	334,5
Masa inicial g.	178,381	178,748	175,274	177,496	177,232
Masa final g.	172,379	172,851	169,485	171,806	171,784
Masa perdida g.	6,002	5,897	5,789	5,689	5,447
Densidad g/cm³	8,83	8,83	8,83	8,83	8,83
Pérdida de volumen mm³ (m.p /d)*1000)	679,77	667,837	655,651	644,360	616,964
Observaciones:					

Fuente: Autor

$$\bar{x} = 652.9173\text{mm}^3$$

$$\text{Rango} = \text{R} = 679.7734 - 616.9648 = 62.80861\text{mm}^3$$

$$\text{Desviación estandar} = \text{s} = \frac{\text{R}}{\text{d2}} = \frac{62.80861}{2.326} = 27.0028\text{mm}^3$$

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{\text{s}}{\bar{x}} * 100 = 4{,}135\%$$

Tabla 4.14 Procedimiento B SAE 64

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

ASTM G-65 Procedimiento: B					
Calibración de la máquina: Tabla X1.2 de la Norma ASTM G-65				Fecha:	18/11/13
Referencia de materiales				Cantidad:	5
Pérdida de volumen	1359,23 mm³	C. de variación	169,97		
DATOS DE LA PRUEBA					
Descripción del material:	Bronce SAE 64	**Diámetro rueda:**	9 pulg.		
Tratamiento térmico:	Ninguno	**Ancho de la rueda:**	1/2 pulg.		
Dureza:	55 HB.	**Dureza de la rueda:**	65,5 Short A		
Preparación de la superficie:	Fresado y rectificado				
N° de Prueba	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Carga de prueba	30 lb.	30 lb.	30 lb.	30 lb.	30 lb.
Revoluciones de la rueda	2000	2000	2000	2000	2000
Flujo de arena g/min.	334,5	334,5	334,5	334,5	334,5
Masa inicial g.	177,310	173,511	175,203	179,835	182,821
Masa final g.	164,471	161,457	162,909	168,517	170,500
Masa perdida g.	12,839	12,053	12,294	11,317	12,321
Densidad g/cm³	8,95	8,95	8,95	8,95	8,95
Pérdida de volumen mm³ (m.p /d)*1000)	1434,525	1346,75	1373,642	1264,547	1376,693
Observaciones:					

Fuente: Autor

$$\bar{x} = 1359.23\text{mm}^3$$

$$\text{Rango} = \text{R} = 1434.52514 - 1264.547486 = 169.9776536\text{mm}^3$$

$$\text{Desviación estandar} = \text{s} = \frac{\text{R}}{\text{d2}} = \frac{69.9776536}{2.326} = 30.0849\text{mm}^3$$

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{\text{s}}{\bar{x}} * 100 = 2.21338\%$$

Tabla 4.15 Procedimiento D SAE 64

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

ASTM G-65 Procedimiento: D					
Calibración de la máquina: Tabla X1.2 de la Norma ASTM G-65				Fecha:	18/11/13
Referencia de materiales				Cantidad:	5
Pérdida de volumen	1274,637 mm³	C. de variación	72,502		
DATOS DE LA PRUEBA					
Descripción del material:	Bronce SAE 64	**Diámetro rueda:**	9 pulg.		
Tratamiento térmico:	Ninguno	**Ancho de la rueda:**	1/2 pulg.		
Dureza:	65 HB.	**Dureza de la rueda:**	65,5 Short A		
Preparación de la superficie:	Fresado y rectificado				
N° de Prueba	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Carga de prueba	10,1 lb.	10,1 lb.	10,1 lb.	10,1 lb.	10,1 lb.
Revoluciones de la rueda	6000	6000	6000	6000	6000
Flujo de arena g/min.	334,5	334,5	334,5	334,5	334,5
Masa inicial g.	181,170	171,552	178,056	177,607	174,846
Masa final g.	169,406	160,437	166,509	166,348	163,491
Masa perdida g.	11,767	11,114	11,547	11,258	11,354
Densidad g/cm³	8,95	8,95	8,95	8,95	8,95
Pérdida de volumen mm³ (m.p /d)*1000)	1314,38	1241,88	1290,256	1257,977	1268,693
Observaciones:					

Fuente: Autor

$$\bar{x} = 1274.64\text{mm}^3$$

$$\text{Rango} = \text{R} = 1314.379888 - 1241.877095 = 72.5037933\text{mm}^3$$

$$\text{Desviación estandar} = \text{s} = \frac{\text{R}}{\text{d2}} = \frac{72.5037933}{2.326} = 31.21127\text{mm}^3$$

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{\text{s}}{\bar{x}} * 100 = 2.4486\%$$

Tabla 4.16: Procedimiento E SAE 64

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
ASTM G-65 Procedimiento: E					
Calibración de la máquina: Tabla X1.2 de la Norma ASTM G-65				Fecha:	18/11/13
Referencia de materiales				Cantidad:	5
Pérdida de volumen	697,32 mm³	C. de variación	29,083		
DATOS DE LA PRUEBA					
Descripción del material:	Bronce SAE 64	**Diámetro rueda:**	9 pulg.		
Tratamiento térmico:	Ninguno	**Ancho de la rueda:**	1/2 pulg.		
Dureza:	65 HB.	**Dureza de la rueda:**	65,5 Short A		
Superficie:	Fresado y rectificado				
N° de Prueba	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Carga de prueba	30 lb.	30 lb.	30 lb.	30 lb.	30 lb.
Revoluciones de la rueda	1000	1000	1000	1000	1000
Flujo de arena g/min.	334,5	334,5	334,5	334,5	334,5
Masa inicial g.	175,868	182,822	178,874	183,544	177,725
Masa final g.	169,504	176,535	172,748	177,441	171,399
Masa perdida g.	6,363	6,286	6,125	6,103	6,326
Densidad g/cm³	8,95	8,95	8,95	8,95	8,95
Pérdida de volumen mm³ (m.p /d)*1000)	710,994	702,447	684,446	681,91	706,826
Observaciones:					

Fuente: Autor

$$\bar{x} = 697.325\text{mm}^3$$

$$\text{Rango} = \text{R} = 710.9944134 - 681.9106145 = 29.08379888\text{mm}^3$$

$$\text{Desviación estandar} = \text{s} = \frac{\text{R}}{\text{d2}} = \frac{29.08379888}{2.326} = 12.5038\text{mm}^3$$

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{\text{s}}{\bar{x}} * 100 = 1.79\%$$

4.1.12 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS TRIBOLÓGICOS EN LOS BRONCES SAE 40 Y SAE 64.

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

ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE MASA BRONCE SAE 64

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 64	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	B	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 64	**Carga:**	30 lb (130 N)
Dureza:	65 HB	**Revoluciones:**	2000
Tratamiento:	Ninguno	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Tiempo min.					**Pérdida de masa** (gramos) **Tiempo min.**				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
1	179,14	177,13	175,11	173,10	171,98	171,24	2,01	4,02	6,04	7,16	7,89
2	178,28	176,29	174,29	172,29	171,23	170,13	1,99	3,99	5,99	7,05	8,15
3	179,66	177,53	175,40	173,26	172,54	171,67	2,13	4,26	6,40	7,11	7,99
4	180,13	178,22	176,31	174,40	171,49	172,07	1,90	3,81	5,72	7,01	8,06
5	151,86	149,93	148,01	146,08	142,25	143,35	1,92	3,85	5,77	9,60	8,51
						Promedio	1,99	3,99	5,98	7,91	8,12

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de masa se produce en el minuto diez con un valor de 8,12 gramos, a diferencia, en el minuto dos es la mínima de 1,99 gramos.

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

ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE VOLÚMEN EN EL BRONCE SAE 64

Datos Informativos:

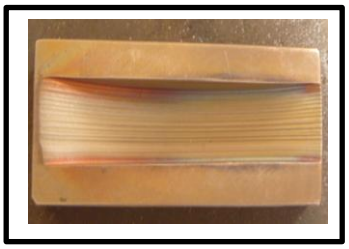
Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 64	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	B	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 64	**Carga:**	30 lb (130 N)
Dureza:	65 HB	**Revoluciones:**	2000
Tratamiento:	Ninguno	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Pérdida de Volumen (mm^3)				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
1	179,14	228,16	456,33	684,49	810,97	894,28
2	178,28	226,15	452,29	678,44	798,73	923,28
3	179,66	241,32	241,32	724,94	805,69	905,09
4	180,13	216,28	216,28	432,56	648,84	913,68
5	151,86	218,15	436,30	654,45	1088,14	964,07
	Promedio	226,01	452,03	678,23	859,53	920,07



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de volumen ocurre en el minuto diez con un valor de 920,07 mm^3, a diferencia, en el minuto dos es la mínima de 226,02 mm^3.

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

ANÁLISIS DE LA TASA DE DESGASTE EN EL BRONCE SAE 64

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 64	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	B	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 64	**Carga:**	30 lb (130 N)
Dureza:	65 HB	**Revoluciones:**	2000
Abrasión Lineal:	1436 m	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Tasa de desgaste (miligramos*metro)				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
1	179,14	0,5782	2,3128	5,2039	8,2207	11,339
2	178,28	0,5731	2,2924	5,1579	8,0966	11,707
3	179,66	0,6115	2,4463	5,5115	8,1672	11,476
4	180,13	0,5481	2,1924	4,9329	9,9117	11,585
5	151,86	0,5528	2,2113	4,9755	11,030	12,223
	Promedio	0,5727	2,2910	5,1564	9,0865	11,666

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de masa se produce en el minuto diez con un valor de 11,666 miligramos*metro, a diferencia, en el minuto dos es la mínima de 0,5727 miligramos*metro.

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

ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESGASTE EN EL BRONCE SAE 64

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 64	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	B	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 64	**Carga:**	30 lb (130 N)
Dureza:	65 HB	**Revoluciones:**	2000
Abrasión Lineal:	1436 m	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Coeficiente de desgaste				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
1	179,14	0,0044	0,0177	0,0400	0,0632	0,087
2	178,28	0,0044	0,0176	0,0396	0,0622	0,090
3	179,66	0,0047	0,0188	0,0423	0,0628	0,088
4	180,13	0,0042	0,0168	0,0379	0,0762	0,089
5	151,86	0,0042	0,0170	0,0382	0,0848	0,094
	Promedio	0,0044	0,0176	0,0396	0,0698	0,089

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

El máximo coeficiente de desgaste ocurre en el minuto diez con un valor de 0,089 a diferencia, en el minuto dos el coeficiente es mínimo de 0,0044.

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

ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE MASA BRONCE SAE 64

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 64	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	D	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 64	**Carga:**	10,1 lb (45 N)
Dureza:	65 HB	**Revoluciones:**	6000
Tratamiento:	Ninguno	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Tiempo min.					**Pérdida de masa** (gramos) **Tiempo min.**				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**6**	**12**	**18**	**24**	**30**	**6**	**12**	**18**	**24**	**30**
1	177,37	175,36	173,34	171,33	169,12	168,80	2,01	4,02	6,04	8,25	8,56
2	174,76	172,76	170,76	171,23	168,77	166,47	1,99	3,99	5,99	5,99	8,28
3	176,39	174,26	172,13	170,14	168,14	167,74	2,13	4,26	6,24	8,24	8,64
4	175,51	173,760	171,69	169,78	168,14	167,17	1,90	3,81	5,72	7,37	8,33
5	176,52	174,60	172,67	170,75	168,25	167,78	1,92	3,85	5,77	8,27	8,74
						Promedio	1,99	3,99	5,95	7,62	8,51

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de masa se produce en el minuto diez con un valor de 8,51 gramos, a diferencia, en el minuto dos es la mínima de 1,99 gramos.

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

ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE VOLÚMEN EN EL BRONCE SAE 64

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 40	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	D	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 64	**Carga:**	10,1 lb (45 N)
Dureza:	65 HB	**Revoluciones:**	6000
Tratamiento:	Ninguno	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Pérdida de Volumen (mm^3)				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**6**	**12**	**18**	**24**	**30**
1	177,37	228,16	456,33	684,49	934,36	970,23
2	174,76	226,14	452,29	678,44	678,44	938,83
3	176,39	241,32	482,65	707,41	933,56	979,13
4	175,51	216,28	432,56	648,84	834,73	943,98
5	176,52	218,15	436,30	654,45	936,91	990,44
	Promedio	226,01	452,03	674,73	863,60	964,52

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de volumen ocurre en el minuto diez con un valor de 964,52 mm^3, a diferencia, en el minuto dos es la mínima de 226,01 mm^3.

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

ANÁLISIS DE LA TASA DE DESGASTE EN EL BRONCE SAE 64

Datos Informativos:

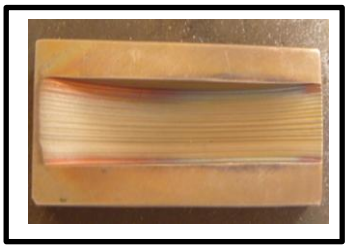
Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 40	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	D	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – F.I.C.M	
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 64	**Carga:**	10,1 lb (45 N)
Dureza:	65 HB	**Revoluciones:**	6000
Abrasión Lineal:	4309 m	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Tasa de desgaste (miligramos*metro)				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**6**	**12**	**18**	**24**	**30**
1	177,37	1,7366	6,9466	15,623	28,439	36,916
2	174,76	1,7213	6,8853	15,485	20,649	35,721
3	176,39	1,8368	7,3474	16,147	28,414	37,254
4	175,51	1,6462	6,5849	14,810	25,406	35,917
5	176,52	1,6604	6,6418	14,938	28,517	37,684
	Promedio	1,7203	6,8812	15,401	26,285	36,698



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de masa se produce en el minuto treinta con un valor de 36,698 miligramos*metro, a diferencia, en el minuto seis es la mínima de 1,7203 miligramos*metro.

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

ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESGASTE EN EL BRONCE SAE 64

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 40	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	D	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 64	**Carga:**	10,1 lb (45 N)
Dureza:	65 HB	**Revoluciones:**	6000
Abrasión Lineal:	4309 m	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Coeficiente de desgaste				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**6**	**12**	**18**	**24**	**30**
1	177,37	0,0385	0,1543	0,3471	0,6319	0,8203
2	174,76	0,0382	0,1530	0,3441	0,4588	0,7938
3	176,39	0,0408	0,1632	0,3588	0,6314	0,8278
4	175,51	0,0365	0,1463	0,3291	0,5645	0,7981
5	176,52	0,0368	0,1475	0,3319	0,6337	0,8374
	Promedio	0,0382	0,1529	0,3422	0,5841	0,8155

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

El máximo coeficiente de desgaste ocurre en el minuto treinta con un valor de 0,8155, a diferencia, en el minuto seis el coeficiente es mínimo de 0,0382.

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

ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE MASA BRONCE SAE 64

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 64	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	E	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 64	**Carga:**	30 lb (130 N)
Dureza:	65 HB	**Revoluciones:**	1000
Abrasión Lineal:	718 m	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

							Pérdida de masa (gramos)				
		Tiempo min.					**Tiempo min.**				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	178,38	177,20	175,98	174,26	173,58	172,37	1,20	2,40	4,11	4,79	6,00
2	178,74	177,56	176,38	175,20	174,03	172,85	1.17	2,35	3,53	4,71	5,89
3	175,27	174,11	172,95	171,80	170,64	169,48	1,15	2,31	3,47	4,63	5,78
4	177,49	176,35	175,22	174,08	172,94	171,80	1,13	2,27	3,41	4,55	5,68
5	177,23	176,14	175,05	173,96	172,87	171,80	1,08	2,17	3,26	4.35	5,44
						Promedio	1,15	2,30	3,56	4,61	5,76

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de masa se produce en el minuto diez con un valor de 5,76 gramos, a diferencia, en el minuto dos es la mínima de 1,15 gramos.

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

ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE VOLÚMEN EN EL BRONCE SAE 64

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 64	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	E	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 64	**Carga:**	30 lb (130 N)
Dureza:	65 HB	**Revoluciones:**	1000
Abrasión Lineal:	718 m	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Pérdida de Volumen (mm^3)				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	178,38	135,95	271,86	466,11	542,71	679,77
2	178,74	133,56	267,13	400,70	534,26	667,83
3	175,27	131,13	262,26	393,39	524,52	655,65
4	177,49	128,87	257,74	386,61	515,48	644,36
5	177,23	123,39	246,78	370,17	493,57	616,96
	Promedio	130,58	261,15	403,40	522,11	652,91

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de volumen ocurre en el minuto diez con un valor de 652,91 mm^3, a diferencia, en el minuto dos es la mínima de 130,58 mm^3.

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

ANÁLISIS DE LA TASA DE DESGASTE EN EL BRONCE SAE 64

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 64	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	E	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – F.I.C.M	
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 64	**Carga:**	30 lb (130 N)
Dureza:	65 HB	**Revoluciones:**	1000
Abrasión Lineal:	718 m	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Tasa de desgaste (miligramos*metro)				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	178,38	0,1728	0,6889	1,7739	2,7507	4,3097
2	178,74	0,1698	0,6769	1,5249	2,7079	4,2340
3	175,27	0,1667	0,6646	1,4971	2,6584	4,1567
4	177,49	0,1638	0,6531	1,4713	2,6127	4,0852
5	177,23	0,1568	0,6254	1,4088	2,5016	3,9115
	Promedio	0,1660	0,6618	1,5352	2,6462	4,1394

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de masa se produce en el minuto cinco con un valor de 4,1394 miligramos*metro, a diferencia, en el minuto uno es la mínima de 0,1660 miligramos*metro.

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

ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESGASTE EN EL BRONCE SAE 64

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 64	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	E	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 64	**Carga:**	30 lb (130 N)
Dureza:	65 HB	**Revoluciones:**	1000
Abrasión Lineal:	718 m	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Coeficiente de desgaste				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	178,38	0,0013	0,0052	0,0136	0,0211	0,03315
2	178,74	0,0013	0,0052	0,0117	0,0208	0,03256
3	175,27	0,0012	0,0051	0,0115	0,0204	0,03197
4	177,49	0,0012	0,0050	0,0113	0,0200	0,03142
5	177,23	0,0012	0,0048	0,0108	0,1924	0,03008
	Promedio	0,0012	0,0050	0,0118	0,0203	0,03184

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

El máximo coeficiente de desgaste ocurre en el minuto cinco con un valor de 0,03184, a diferencia, en el minuto uno el coeficiente es mínimo de 0,0012.

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

ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE MASA BRONCE SAE 40

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 40	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	B	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 40	**Carga:**	30 lb (130 N)
Dureza:	60 HB	**Revoluciones:**	2000
Tratamiento:	Ninguno	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Tiempo min.					**Pérdida de masa** (gramos) **Tiempo min.**				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
1	175,31	175,29	173,28	171,26	168,15	164,47	2,01	4,02	6,04	9,15	12,83
2	173,51	171,51	169,51	167,5	163,54	161,45	1,99	3,99	5,99	9,97	12,05
3	175,20	173,07	170,94	168,80	166,52	162,90	2,13	4,26	6,40	8,67	12,29
4	179,83	177,92	176,01	174,10	170,25	168,51	1,90	3,81	5,72	9,57	11,31
5	182,82	180,82	178,96	177,04	172,58	170,50	1,92	3,85	5,77	10,23	12,32
						Promedio	1,99	3,99	5,98	9,52	12,16

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de masa se produce en el minuto diez con un valor de 12,16 gramos, a diferencia, en el minuto dos es la mínima de 1,99 gramos.

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

ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE VOLÚMEN EN EL BRONCE SAE 40

Datos Informativos:

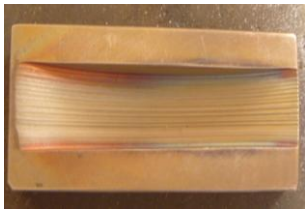
Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 40	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	B	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – F.I.C.M	
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 40	**Carga:**	30 lb (130 N)
Dureza:	60 HB	**Revoluciones:**	2000
Tratamiento:	Ninguno	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Pérdida de Volumen (mm^3)				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
1	175,31	225,10	450,21	675,31	1023,02	1434,52
2	173,51	223,11	446,21	669,35	1114,04	1346,74
3	175,20	238,09	476,18	715,22	969,37	1373,64
4	179,83	213,38	426,76	640,14	1069,89	1264,54
5	182,82	215,22	430,45	645,68	1143,21	1376,69
	Promedio	222,98	445,97	669,14	1063,91	1359,23



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de volumen ocurre en el minuto diez con un valor de 1359,23 mm^3, a diferencia, en el minuto dos es la mínima de 222,98 mm^3.

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

ANÁLISIS DE LA TASA DE DESGASTE EN EL BRONCE SAE 40

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 40	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	B	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 40	**Carga:**	30 lb (130 N)
Dureza:	60 HB	**Revoluciones:**	2000
Abrasión Lineal:	1436 m	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Tasa de desgaste (miligramos*metro)				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
1	175,31	0,5782	2,3128	5,2039	10,5112	18,436
2	173,51	0,5731	2,2924	5,1579	11,4463	17,308
3	175,20	0,6115	2,4463	5,5115	9,9599	17,654
4	179,83	0,5481	2,1924	4,9329	10,9927	16,252
5	182,82	0,5528	2,2113	4,9755	11,746	17,693
	Promedio	0,5727	2,2910	5,1564	10,9312	17,469

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de masa se produce en el minuto diez con un valor de 17,469 miligramos*metro, a diferencia, en el minuto dos es la mínima de 0,5727 miligramos*metro.

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

ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESGASTE EN EL BRONCE SAE 40

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 40	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	B	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 40	**Carga:**	30 lb (130 N)
Dureza:	60 HB	**Revoluciones:**	2000
Abrasión Lineal:	1436 m	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Coeficiente de desgaste				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
1	175,31	0,0044	0,0177	0,0400	0,0808	0,1418
2	173,51	0,0044	0,0176	0,0396	0,0880	0,1331
3	175,20	0,0047	0,0188	0,0423	0,0766	0,1358
4	179,83	0,0042	0,0168	0,0379	0,0845	0,1250
5	182,82	0,0042	0,0170	0,0382	0,0903	0,1361
	Promedio	0,0044	0,0176	0,0396	0,0840	0,1343

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

El máximo coeficiente de desgaste ocurre en el minuto diez con un valor de 0,1343, a diferencia, en el minuto dos el coeficiente es mínimo de 0,0044.

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

ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE MASA BRONCE SAE 40

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 40	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	D	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 40	**Carga:**	10,1 lb (45 N)
Dureza:	60 HB	**Revoluciones:**	6000
Tratamiento:	Ninguno	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Tiempo min.					**Pérdida de masa** (gramos) **Tiempo min.**				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**6**	**12**	**18**	**24**	**30**	**6**	**12**	**18**	**24**	**30**
1	181,17	179,15	177,14	175,12	169,12	169,40	2,01	4,02	6,04	12,04	11,76
2	171,55	169,55	167,55	165,56	162,25	160,43	1,99	3,99	9,29	9,29	11,11
3	178,05	175,92	173,79	170.14	168,14	166,50	2,13	4,26	7,91	9,90	11,54
4	177,60	175,69	173,78	171,87	168,14	166,34	1,90	3,81	5,72	9,46	11,52
5	174,84	172,92	170,99	169,06	168,25	163,49	1,92	3,85	5,77	6,58	11,35
						Promedio	1,99	3,99	6,95	9,46	11,41

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de masa se produce en el minuto diez con un valor de 8,51 gramos, a diferencia, en el minuto dos es la mínima de 1,99 gramos.

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

ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE VOLÚMEN EN EL BRONCE SAE 40

Datos Informativos:

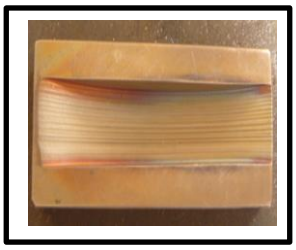
Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 40	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	D	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 40	**Carga:**	10,1 lb (45 N)
Dureza:	60 HB	**Revoluciones:**	6000
Tratamiento:	Ninguno	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Pérdida de Volumen (mm^3)				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**6**	**12**	**18**	**24**	**30**
1	181,17	228,16	456,33	684,49	1364,07	1332,24
2	171,55	226,14	452,29	1052,59	1052,59	1258,75
3	178,05	241,32	482,65	895,92	1122,07	1307,79
4	177,60	216,28	432,56	648,84	1071,87	1275,07
5	174,84	218,15	436,30	654,45	746,27	1285,93
	Promedio	226,01	452,03	787,26	1071,37	1291,95



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de volumen ocurre en el minuto diez con un valor de 1291,95 mm^3, a diferencia, en el minuto dos es la mínima de 226,01 mm^3.

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

ANÁLISIS DE LA TASA DE DESGASTE EN EL BRONCE SAE 40

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 40	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	D	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 40	**Carga:**	10,1 lb (45 N)
Dureza:	60 HB	**Revoluciones:**	6000
Abrasión Lineal:	4309 m	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Tasa de desgaste (miligramos*metro)				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**6**	**12**	**18**	**24**	**30**
	181,17	1,7366	6,9466	15,623	41,518	50,689
2	171,55	1,7213	6,8853	24,026	32,037	47,893
3	178,05	1,8368	7,3474	20,449	34,152	49,759
4	177,60	1,6462	6,5849	14,810	32,624	48,514
5	174,84	1,6604	6,6418	14,938	22,714	48,927
	Promedio	1,7203	6,8812	17,969	32,609	49,157

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de masa se produce en el minuto treinta con un valor de 49,157 miligramos*metro, a diferencia, en el minuto seis es la mínima de 1,7203 miligramos*metro.

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

ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESGASTE EN EL BRONCE SAE 40

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 40	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	D	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 40	**Carga:**	10,1 lb (45 N)
Dureza:	60 HB	**Revoluciones:**	6000
Abrasión Lineal:	4309 m	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Coeficiente de desgaste				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**6**	**12**	**18**	**24**	**30**
1	181,17	0,0385	0,1543	0,3471	0,9226	1,1264
2	171,55	0,0382	0,1530	0,5339	0,7119	1,0643
3	178,05	0,0408	0,1632	0,4544	0,7589	1,1057
4	177,60	0,0365	0,1463	0,3291	0,7249	1,0781
5	174,84	0,0368	0,1475	0,3319	0,5047	1,0872
	Promedio	0,0382	0,1529	0,3993	0,7246	1,0923

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

El máximo coeficiente de desgaste ocurre en el minuto treinta con un valor de 1,0923, a diferencia, en el minuto seis el coeficiente es mínimo de 0,0382.

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

ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE MASA BRONCE SAE 40

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 40	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	E	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 40	**Carga:**	30 lb (130 N)
Dureza:	60 HB	**Revoluciones:**	1000
Tratamiento:	Ninguno	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

							Pérdida de masa (gramos)				
		Tiempo min.					**Tiempo min.**				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	175,86	174,15	173,15	171,15	170,58	169,50	1,71	2,70	4,70	5,27	6,36
2	182,82	181,64	180,46	179,28	178,10	176,53	1,17	2,35	3,53	4,71	6,28
3	178,87	177,71	176,55	175,40	174,24	172,74	1,15	2,31	3,47	4,63	6,12
4	183,54	182,40	181,26	180,13	178,99	171,44	1,13	2,27	3,41	4,55	6,10
5	177,72	176,63	175,54	174,45	173,36	171,33	1.08	2,17	3,26	4,35	6,38
						Promedio	1,25	2,36	3,68	4,70	6,25

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de masa se produce en el minuto diez con un valor de 6,25 gramos, a diferencia, en el minuto dos es la mínima de 1,25 gramos.

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

ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE VOLÚMEN EN EL BRONCE SAE 40

Datos Informativos:

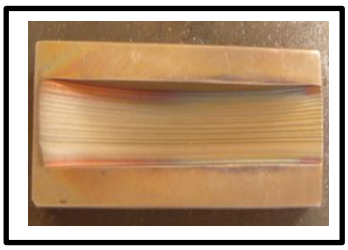
Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 40	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	E	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 40	**Carga:**	30 lb (130 N)
Dureza:	60 HB	**Revoluciones:**	1000
Tratamiento:	Ninguno	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Pérdida de Volumen (mm^3)				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	175,86	194,03	306,84	533,34	597,81	720,65
2	182,82	133,56	267,13	400,70	534,26	711,99
3	178,87	131,13	262,26	393,39	524,52	693,74
4	183,54	128,87	257,74	386,61	515,48	691,17
5	177,72	123,39	246,78	370,17	493,57	723,22
	Promedio	142,19	268,15	416,84	533,13	708,16



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de volumen ocurre en el minuto diez con un valor de 652,91 mm^3, a diferencia, en el minuto dos es la mínima de 130,58 mm^3.

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

ANÁLISIS DE LA TASA DE DESGASTE EN EL BRONCE SAE 40

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 40	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	E	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – F.I.C.M	
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 40	**Carga:**	30 lb (130 N)
Dureza:	60 HB	**Revoluciones:**	1000
Abrasión Lineal:	718 m	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Tasa de desgaste (miligramos*metro)				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	175,86	0,2467	1,1677	2,0297	3,0299	4,5689
2	182,82	0,1698	1,0166	1,5249	2,7079	4,5139
3	178,87	0,1667	0,9980	1,4971	2,6584	4,3983
4	183,54	0,1638	0,9809	1,4713	2,6127	4,5852
5	177,72	0,1568	0,9392	1,4088	2,5016	4,5885
	Promedio	0,1808	1,0205	1,5864	2,7021	4,4896

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La máxima pérdida de masa se produce en el minuto cinco con un valor de 4,4896 miligramos*metro, a diferencia, en el minuto uno es la mínima de 0,1808 miligramos*metro.

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

ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESGASTE EN EL BRONCE SAE 40

Datos Informativos:

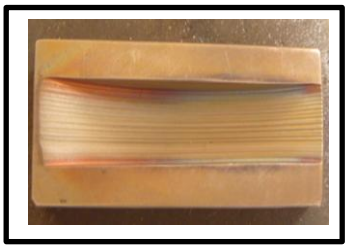
Tipo de estudio:	De laboratorio	**Nº:**	1
Tipo de material:	Bronce SAE 40	**Norma:**	ASTM G-65
Tipo de Procedimiento:	E	**Fecha:**	18/11/13
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales – F.I.C.M		
Realizado por:	Jacob Pérez	**Revisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

DATOS PARA EL ENSAYO DE ABRASIÓN

Características del Material		**Parámetros del Ensayo**	
Tipo:	Bronce SAE 40	**Carga:**	30 lb (130 N)
Dureza:	60 HB	**Revoluciones:**	1000
Abrasión Lineal:	718 m	**Flujo de arena:**	334,5 gr/min

RESULTADOS

		Coeficiente de desgaste				
		Tiempo min.				
N.-	**Peso Inicial (g)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	175,86	0,0018	0,0089	0,0156	0,0233	0,0351
2	182,82	0,0013	0,0078	0,0117	0,0208	0,0347
3	178,87	0,0012	0,0076	0,0115	0,0204	0,0338
4	183,54	0,0012	0,0075	0,0113	0,0200	0,0337
5	177,72	0,0012	0,0072	0,0108	0,0192	0,0352
	Promedio	0,0013	0,0078	0,0122	0,0207	0,0345



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

El máximo coeficiente de desgaste ocurre en el minuto cinco con un valor de 0,0345, a diferencia, en el minuto uno el coeficiente es mínimo de 0,0013.

4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

De los ensayos realizados se recolectó la información y se procedió a clasificar y presentar los resultados de la investigación en cuadros estadísticos, posteriormente se analizó y obtuvo las conclusiones que sustenten la hipótesis.

A continuación se detallan los gráficos comparativos de los dos tipos de bronce SAE 40 y SAE 64 para los diferentes procedimientos.

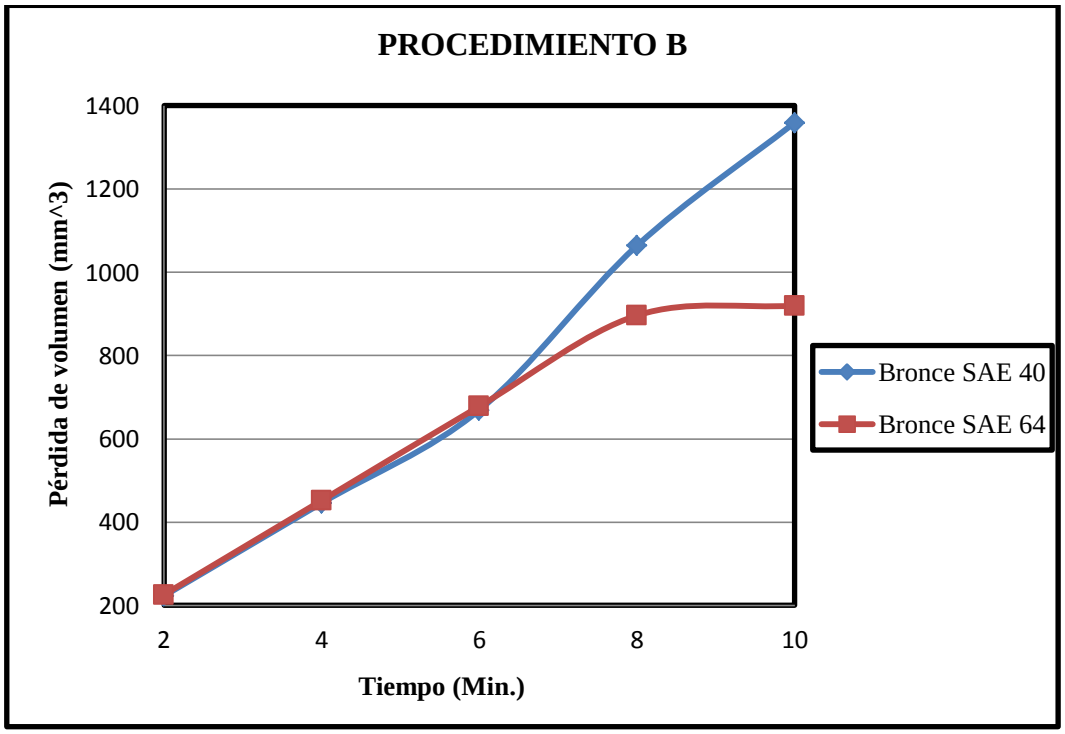


Figura 4.3 Procedimiento B SAE 40 y SAE 64

Fuente: Autor

La gráfica anterior nos permite interpretar los resultados de los ensayos del Bronce SAE 40 y SAE 64, estos fueron realizados en base a la pérdida de volumen y tiempo en minutos, en lo cual se comprobó que la pérdida de volumen depende de la dureza

del material para que exista mayor o menor desgaste y de las condiciones de cada parámetro con los que se trabajó en los bronces.

Para el Bronce SAE 64 se obtuvo una pérdida de volumen de 920,07 mm^3 a diferencia del Bronce SAE 40 una de 1359,23 mm^3.

Con los resultados anteriores se analiza que el Bronce SAE 64 es el que posee mayor resistencia a la abrasión a diferencia del Bronce SAE 40, esto se da debido a la composición química del primero, es decir, debido a la incorporación del Plomo como elemento aleante le confiere propiedades excelente para trabajos en abrasión.

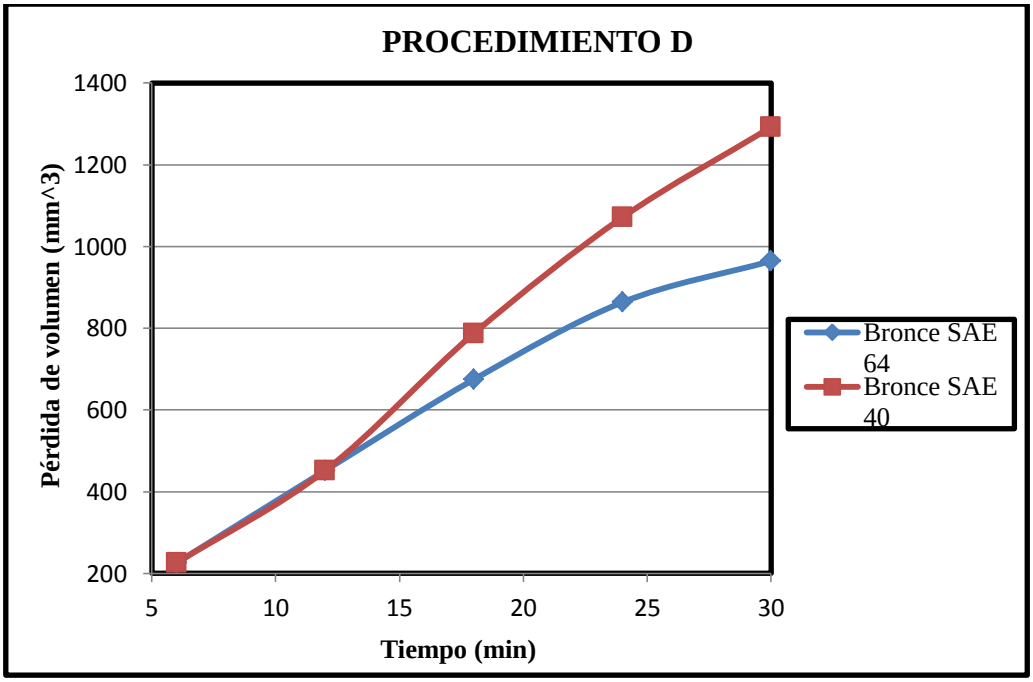


Figura 4.4 Procedimiento D SAE 40 y SAE 64
Fuente: Autor

Para el Bronce SAE 64 se obtuvo una pérdida de volumen de 964,52 mm^3 a diferencia del Bronce SAE 40 una de 1291,95 mm^3.

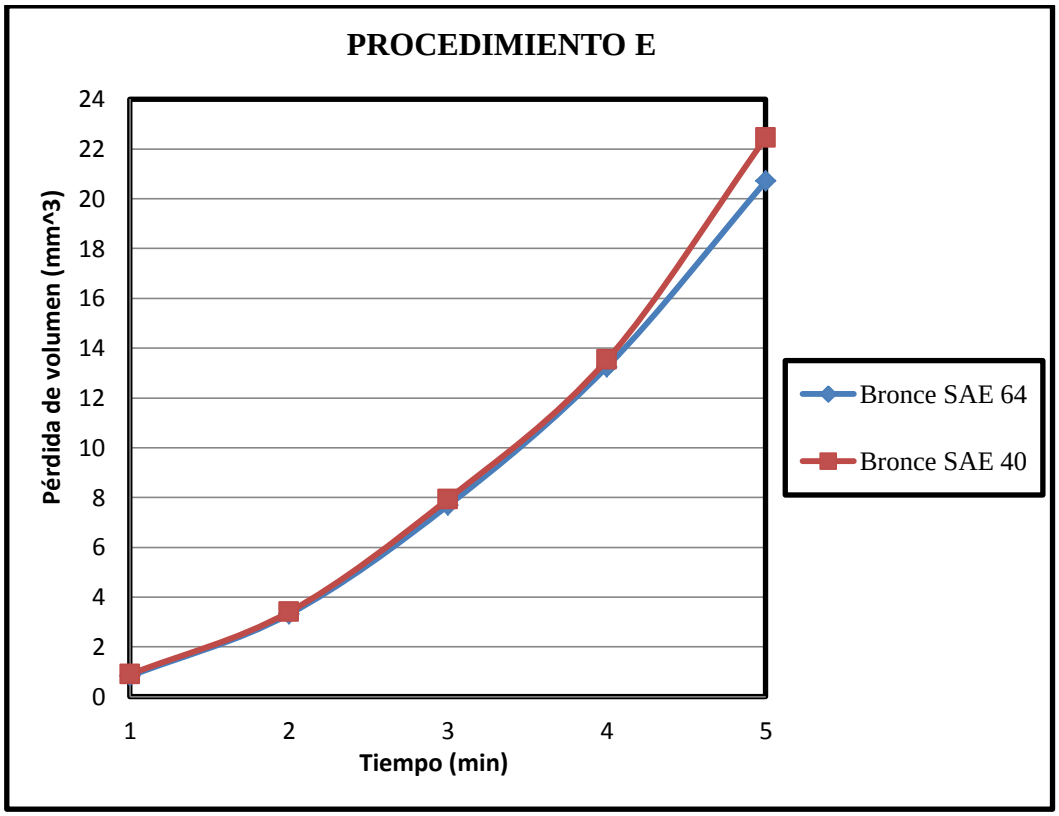


Figura 4.5 Procedimiento E SAE 40 y SAE 64

Fuente: Autor

Para el Bronce SAE 64 se obtuvo una pérdida de volumen de 652,91 mm^3 a diferencia del Bronce SAE 40 una de 708,16 mm^3.

Tasa de desgaste del material

Para complementar el estudio de los parámetros de desgaste abrasivo aplicados en los dos tipos de bronces se calculó la tasa de desgaste del material y el coeficiente de desgaste, a partir de los datos se realizó gráficas de dispersión en las cuales se

analizó las curvas para obtener los valores máximos para los parámetros que fueron objetos del presente estudio.

Se hace uso de la siguiente ecuación y se obtiene el promedio de los valores para cada tipo de bronce.

$$Q = m * L$$

Dónde:

Q= Tasa de desgaste (miligramos/metro); m= Pérdida de peso (miligramos).

L= Distancia deslizada (metro).

Coeficiente de desgaste

El coeficiente de desgaste se obtiene al dividir la tasa de desgaste entre la fuerza aplicada, para este cálculo se utiliza la siguiente ecuación.

$$k = \frac{Q}{W}$$

Dónde:

k= Coeficiente de desgaste.

W= Fuerza aplicada.

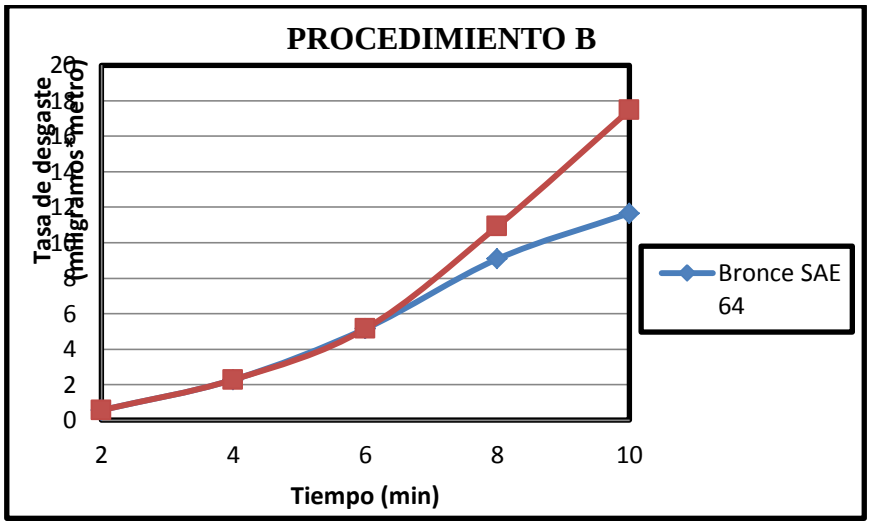


Figura 4.6 Procedimiento B SAE 40

Fuente: Autor

Para el Bronce SAE 40 se obtuvo una tasa de desgaste de 17,469 miligramos*metro a diferencia del Bronce SAE 64 una de 11,666 miligramos*metro.

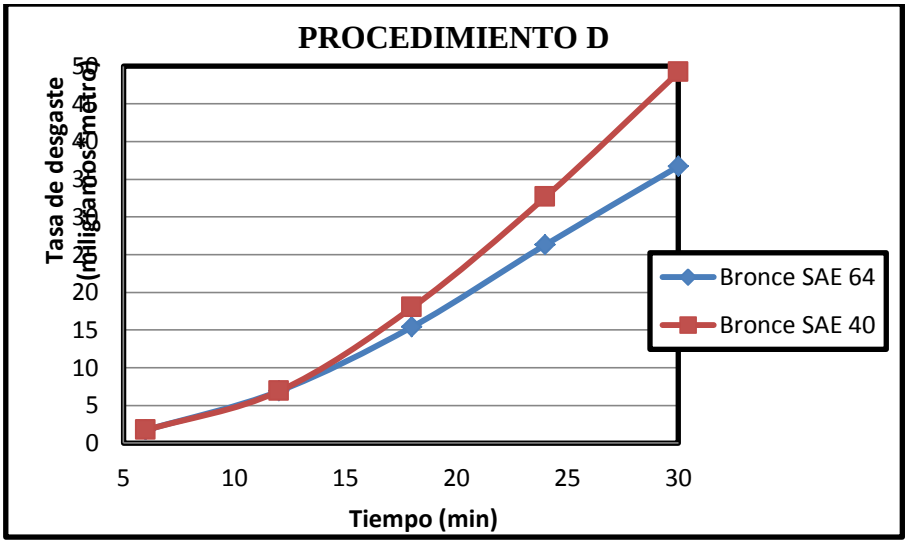


Figura 4.7 Procedimiento D SAE 40 y SAE 64

Fuente: Autor

Para el Bronce SAE 40 se obtuvo una tasa de desgaste de 49,157 miligramos*metro a diferencia del Bronce SAE 64 una de 36,698 miligramos*metro.

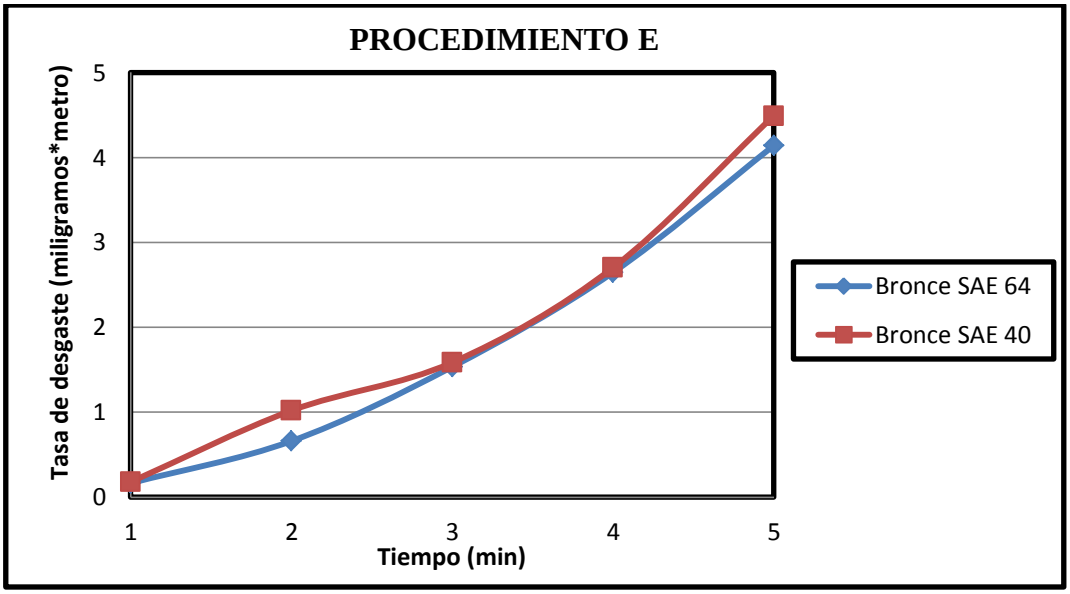


Figura 4.8 Procedimiento E SAE 40 y SAE 64

Fuente: Autor

4.2.1 Interpretación de los valores de pérdida de volumen.

La figura de 4.9 muestra un resumen de los valores de la pérdida de volumen en mm^3 de los dos materiales sometidos a los tres procedimientos que establece la norma ASTM G-65.

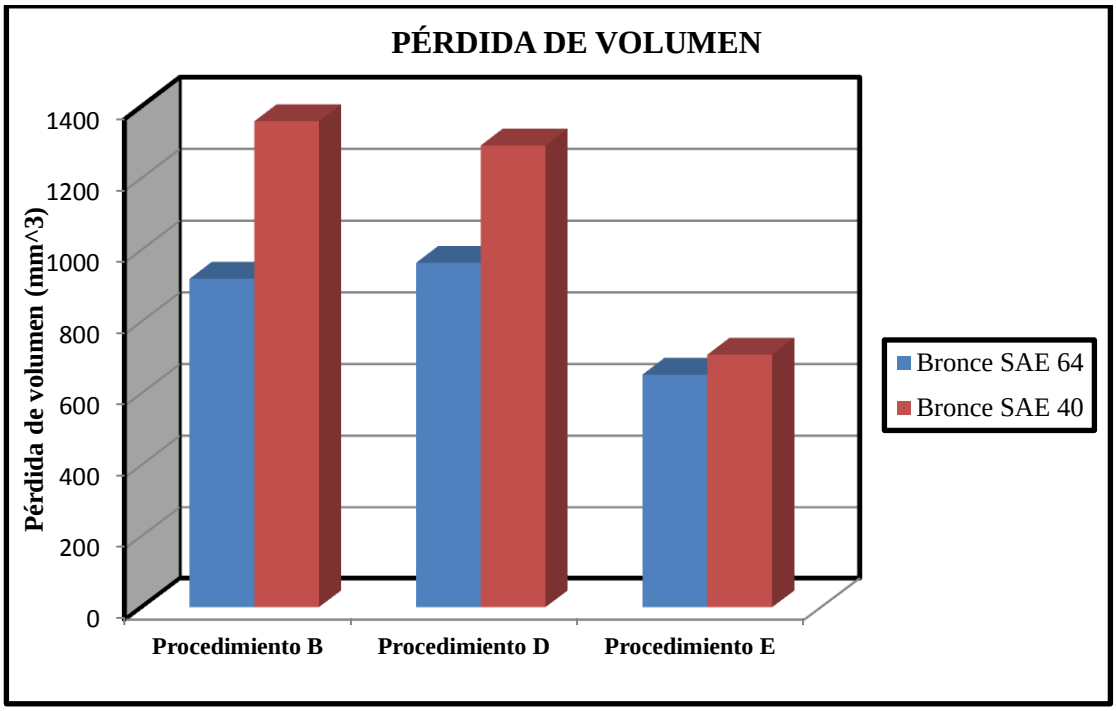


Figura 4.9 Pérdida de volumen

Fuente: Autor

En esta gráfica se puede observar el comportamiento de la pérdida de volumen en función de los diferentes procedimientos que fueron objeto de este estudio, los cuales están evaluados bajo los parámetros que rige la norma ASTM G-65-04: carga aplicada, número de revoluciones. Se puede apreciar que la pérdida de volumen depende del tipo de procedimiento que se aplique al material; en el procedimiento "E" se dan las menores pérdidas de volumen a diferencia del procedimiento "B", además, de los dos materiales ensayados el que presenta la menor perdida de volumen es el Bronce SAE 64.

4.2.2 Interpretación de los valores de Pérdida de Masa.

La figura de 4.10 muestra un resumen de los valores de la pérdida de volumen en (mg) de los dos materiales sometidos a los tres procedimientos que establece la norma ASTM G-65.

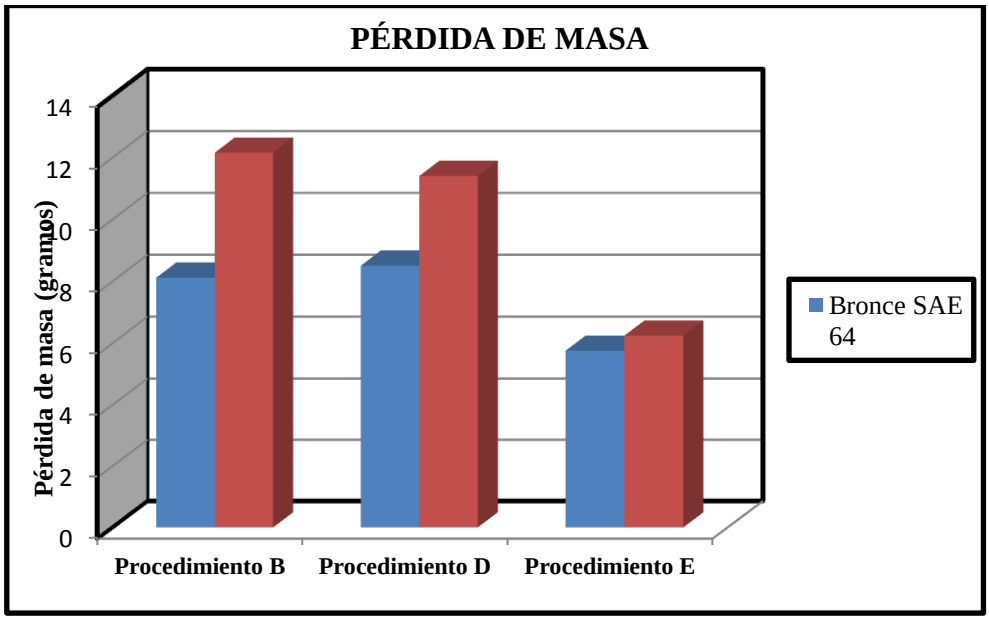


Figura 4.10 Pérdida de masa

Fuente: Autor

La figura 4.10 indica la pérdida de masa que se da en el Bronce SAE 40 y SAE 64, la pérdida de masa máxima ocurre en el procediendo "B" debido a las condiciones que dictan la norma, por el contrario, el procedimiento "E" es el que presenta los valores mínimos.

El desgaste se evaluó tomando su masa inicial al principio del estudio y analizando su masa final al culminar el ensayo; por medio de esta diferencia establecemos la pérdida de masa a la que está expuesto el material.

4.2.3 Interpretación de los valores de Tasa de desgaste.

La figura de 4.11 muestra un resumen de los valores de la pérdida de volumen en (mg) de los dos materiales sometidos a los tres procedimientos que establece la norma ASTM G-65.

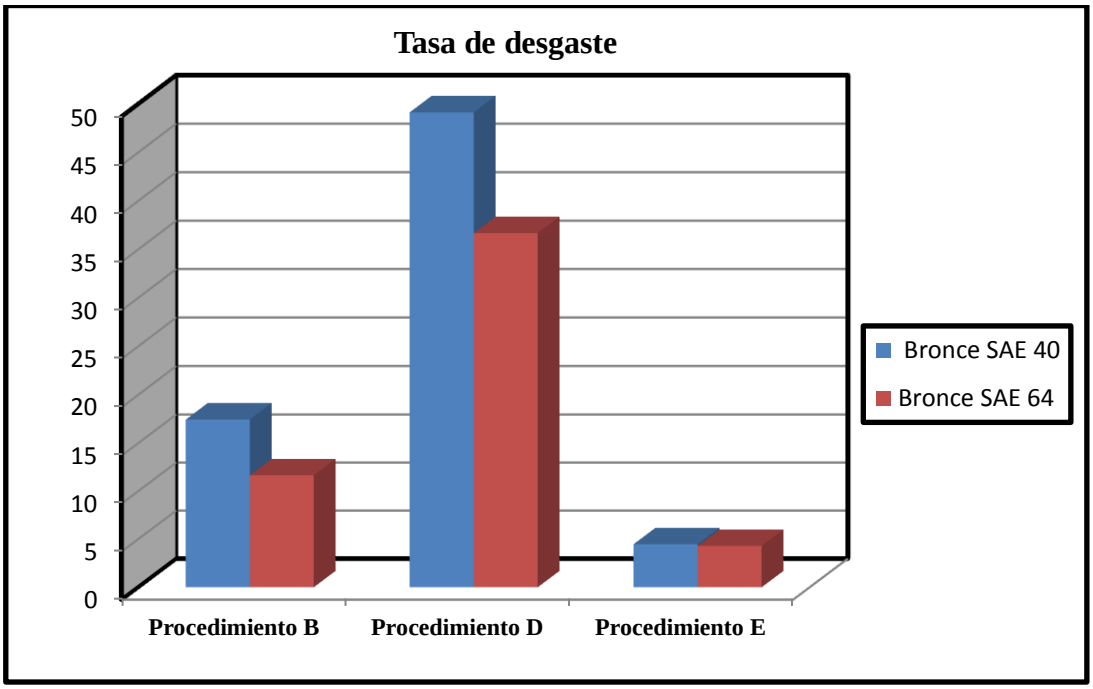


Figura 4.11 Tasa de desgaste

Fuente: Autor

En la figura 4.11 se observa la tasa de desgaste de los dos tipos de materiales, es decir; el Bronce SAE 40 y el Bronce SAE 64; la tasa de desgate del material es directamente proporcional a la distancia deslizada, por lo tanto, la máxima tasa de desgaste del material ocurre en el procediendo "D" debido a que las condiciones que dicta la norma para el número de revoluciones en este procedimiento es de 6000, por el contrario, el procedimiento "E" es el que presenta los valores mínimos debido a que este se efectúa a 1000 revoluciones.

4.2.4 Interpretación de los valores del Coeficiente de Desgaste.

La figura de 4.3 muestra un resumen de los coeficientes de desgaste de los dos materiales sometidos a los tres procedimientos que establece la norma ASTM G-65.

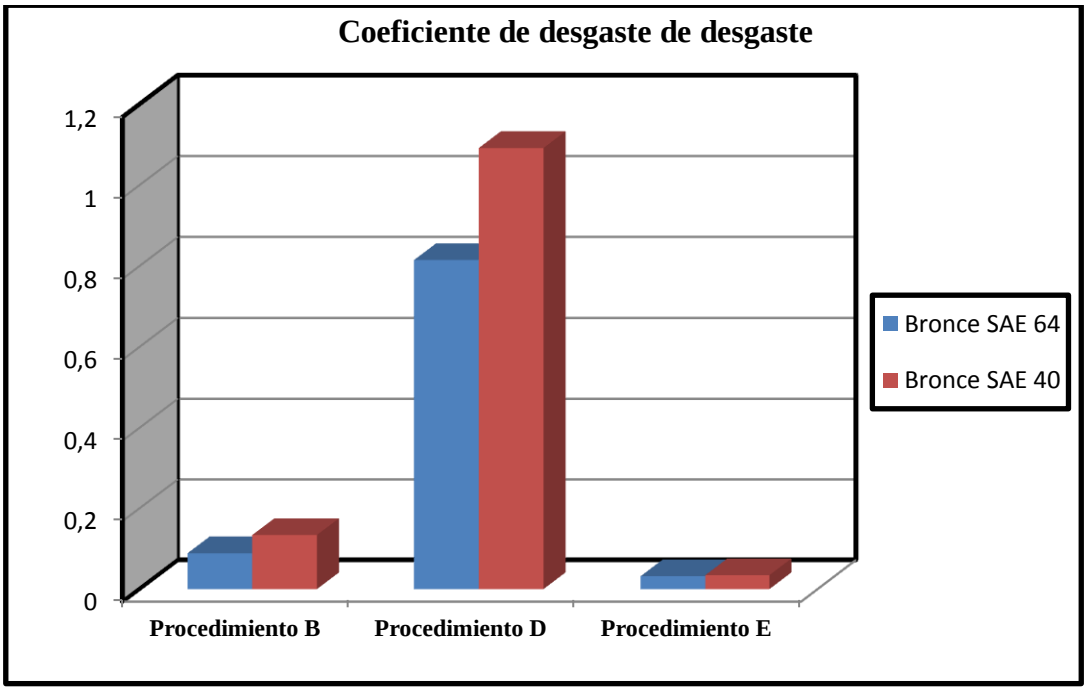


Figura 4.12 Coeficiente de desgaste

Fuente: Autor

En la figura 4.12 se observa el coeficiente de desgaste de los dos tipos de materiales, es decir: del Bronce SAE 40 y el Bronce SAE 64; el coeficiente de desgaste es directamente proporcional a la tasa de desgaste e inversamente proporcional a la carga aplicada, por lo tanto, el máximo coeficiente de desgaste del material ocurre en el procediendo "D" debido a que las condiciones en las que se realiza el ensayo, por el contrario, el procedimiento "E" es el que presenta los valores mínimos.

4.2.5 Interpretación de Dureza en el Bronce SAE 64 (Procedimiento B).

Tabla 4.17 Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 64 (Procedimiento B)

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

ENSAYO DE DUREZA

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Ensayo Nº:**	01
Tipo de material:	Bronce SAE 64		
Tipo de Procedimiento:	**B**	**Fecha:**	7-12-2013
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – F.I.C.M	
Realizado por:	Jacob Pérez	**Supervisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

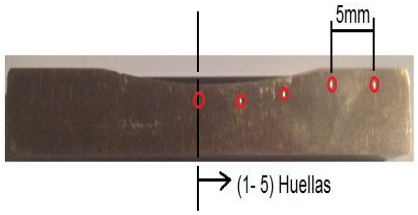
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

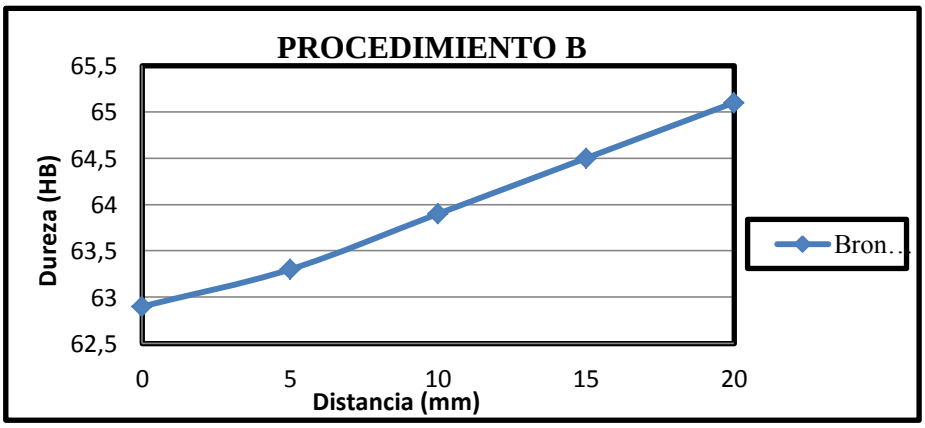
DESCRIPCIÓN:

Método:	HB	**Norma Aplicable:**	ASTM E 10-12
Tipo de penetrador:	Diámetro identador 2.5 mm.		
Carga aplicada:	613 N	**Tiempo de ensayo:**	15 min

RESULTADOS:

Huella N°	Zona de barrido	Distancia(cm)	Dureza (HB)
1	Intercara	0	62,9
2	Intercara	5	63,3
3	Intercara	10	63.9
4	Intercara	15	64,5
5	Intercara	20	65,1





INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La gráfica anterior permite interpretar que en la zona media se produce la menor dureza que es de 62,9 HB a diferencia que en la parte extrema del material se presenta la máxima que es de 65,1 HB.

4.2.6 Interpretación de la Dureza en el Bronce SAE 64 (Procedimiento D).

Tabla 4.18 Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 64 (Procedimiento D)

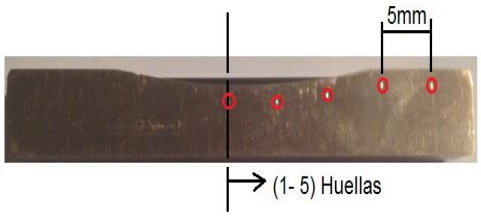
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

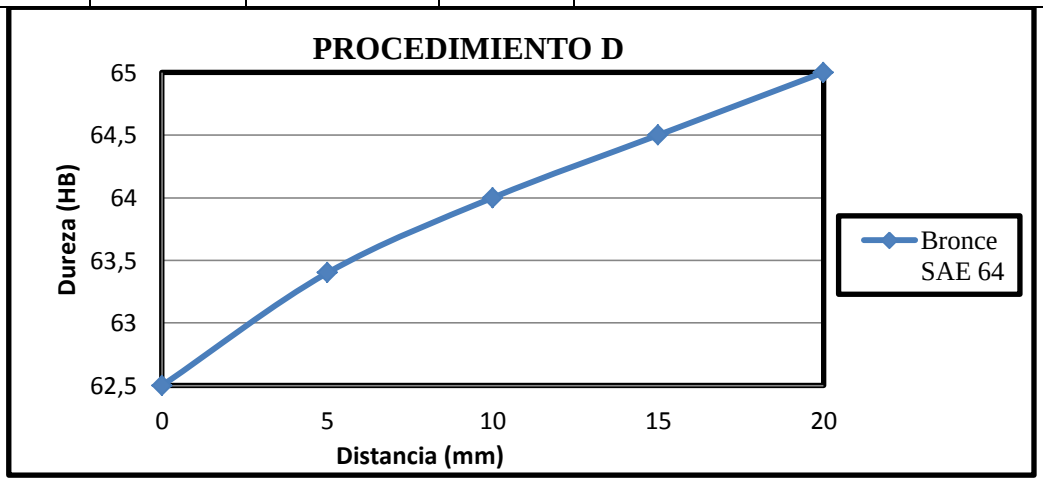
ENSAYO DE DUREZA			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	**Ensayo Nº:**	02
Tipo de material:	Bronce SAE 64		
Tipo de Procedimiento:	**D**	**Fecha:**	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – F.I.C.M	
Realizado por:	Jacob Pérez	**Supervisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
DESCRIPCIÓN:			
Método:	HB	**Norma Aplicable:**	ASTM E 10-12
Tipo de penetrador:	Diámetro identador 2.5 mm.		
Carga aplicada:	613 N	**Tiempo de ensayo:**	15 min

RESULTADOS:

Huella N°	Zona de barrido	Distancia(cm)	Dureza (HB)
1	Intercara	0	65
2	Intercara	5	64,5
3	Intercara	10	64
4	Intercara	15	63,4
5	Intercara	20	62,5





INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La gráfica anterior permite interpretar que en la zona media se produce la menor dureza que es de 62,5 HB a diferencia que en la parte extrema del material se presenta la máxima que es de 65 HB.

4.2.7 Interpretación de la Dureza en el Bronce SAE 64 (Procedimiento E).

Tabla 4.19 Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 64 (Procedimiento E)

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

ENSAYO DE DUREZA

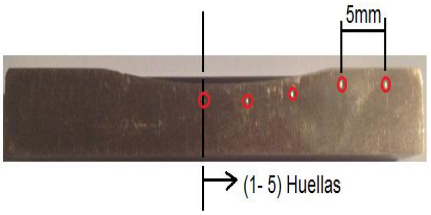
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	**Ensayo Nº:**	03
Tipo de material:	Bronce SAE 64		
Tipo de Procedimiento:	**E**	**Fecha:**	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – F.I.C.M	
Realizado por:	Jacob Pérez	**Supervisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

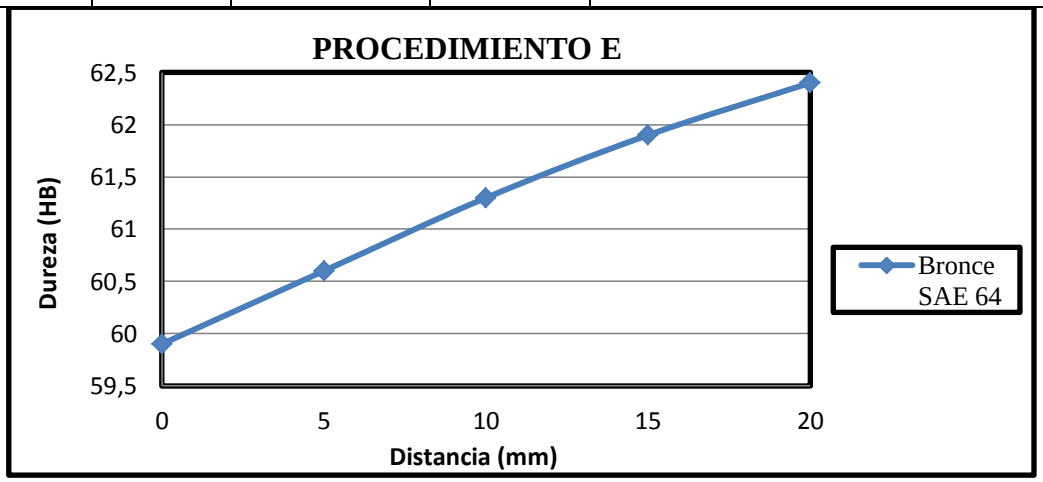
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

DESCRIPCIÓN:			
Método:	HB	**Norma Aplicable:**	ASTM E 10-12
Tipo de penetrador:	Diámetro identador 2.5 mm.		
Carga aplicada:	613 N	**Tiempo de ensayo:**	15 min

RESULTADOS:

Huella N°	Zona de barrido	Distancia(cm)	Dureza (HB)
1	Intercara	0	59,9
2	Intercara	5	60,6
3	Intercara	10	61,3
4	Intercara	15	61,9
5	Intercara	20	62,4





INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La gráfica anterior permite interpretar que en la zona media se produce la menor dureza que es de 59,9 HB a diferencia que en la parte extrema del material se presenta la máxima que es de 62,4 HB.

4.2.8 Interpretación de la Dureza en el Bronce SAE 40 (Procedimiento B).

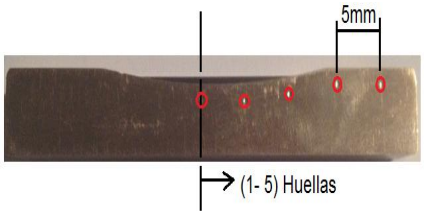
Tabla 4.20 Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 40 (Procedimiento B)

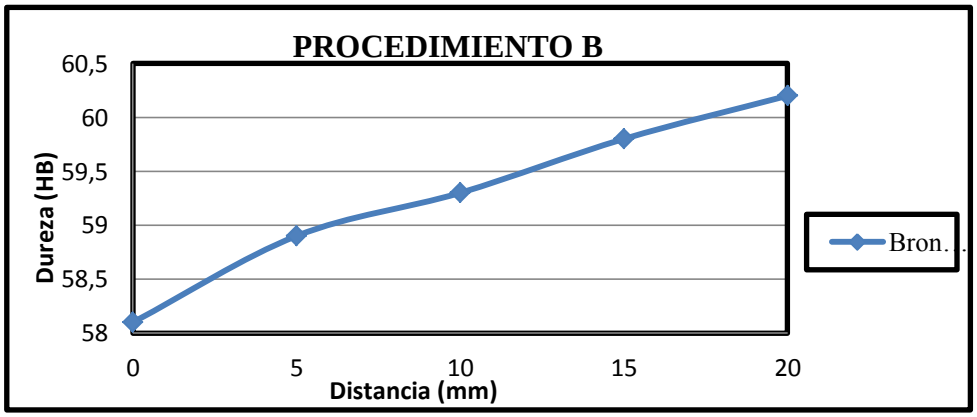
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ENSAYO DE DUREZA			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	**Ensayo Nº:**	04
Tipo de material:	Bronce SAE 40		
Tipo de Procedimiento:	**B**	**Fecha:**	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – F.I.C.M	
Realizado por:	Jacob Pérez	**Supervisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
DESCRIPCIÓN:			
Método:	HB	**Norma Aplicable:**	ASTM E 10-12
Tipo de penetrador:	Diámetro identador 2.5 mm.		
Carga aplicada:	613 N	**Tiempo de ensayo:**	15 min

RESULTADOS:

Huella N°	Zona de barrido	Distancia(cm)	Dureza (HB)
1	Intercara	0	58,1
2	Intercara	5	58,9
3	Intercara	10	59,3
4	Intercara	15	59,8
5	Intercara	20	60,2





INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La gráfica anterior permite interpretar que en la zona media se produce la menor dureza que es de 58,1 HB a diferencia que en la parte extrema del material se presenta la máxima que es de 60,2 HB.

4.2.9 Interpretación de la Dureza en el Bronce SAE 40 (Procedimiento D).

Tabla 4.21 Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 40 (Procedimiento D)

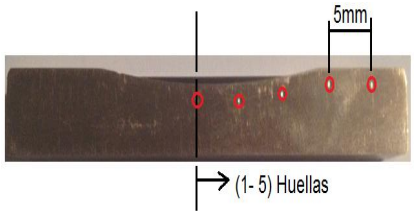
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

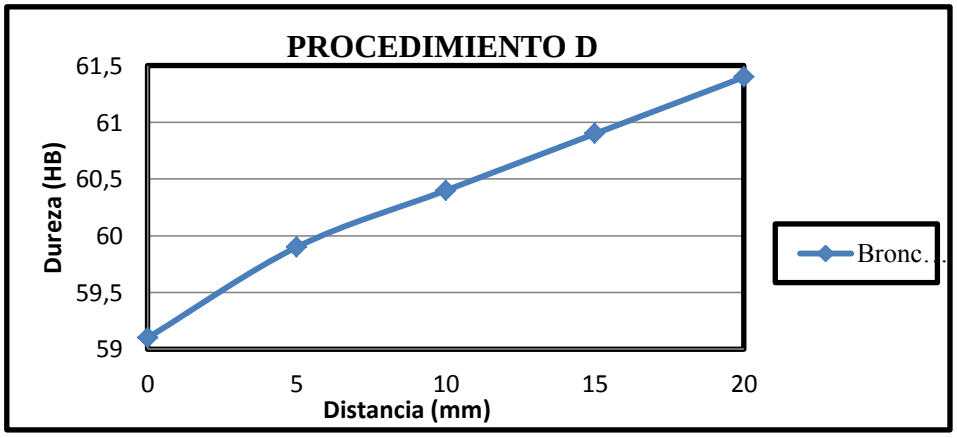
ENSAYO DE DUREZA			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	**Ensayo Nº:**	05
Tipo de material:	Bronce SAE 40		
Tipo de Procedimiento:	**D**	**Fecha:**	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – F.I.C.M	
Realizado por:	Jacob Pérez	**Supervisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
DESCRIPCIÓN:			
Método:	HB	**Norma Aplicable:**	ASTM E 10-12
Tipo de penetrador:	Diámetro identador 2.5 mm.		
Carga aplicada:	613 N	**Tiempo de ensayo:**	15 min

RESULTADOS:

Huella N°	Zona de barrido	Distancia(cm)	Dureza (HB)
1	Intercara	0	59,1
2	Intercara	5	59,9
3	Intercara	10	60,4
4	Intercara	15	60,9
5	Intercara	20	61,4





INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La gráfica anterior permite interpretar que en la zona media se produce la menor dureza que es de 59,1 HB a diferencia que en la parte extrema del material se presenta la máxima que es de 61,4 HB.

4.2.10 Interpretación de la Dureza en el Bronce SAE 40 (Procedimiento E).

Tabla 4.22 Ensayo de Dureza en el Bronce SAE 40 (Procedimiento E)

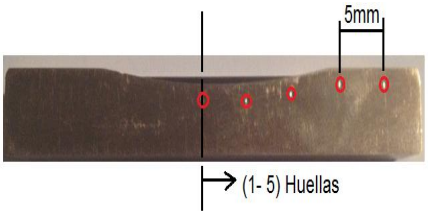
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

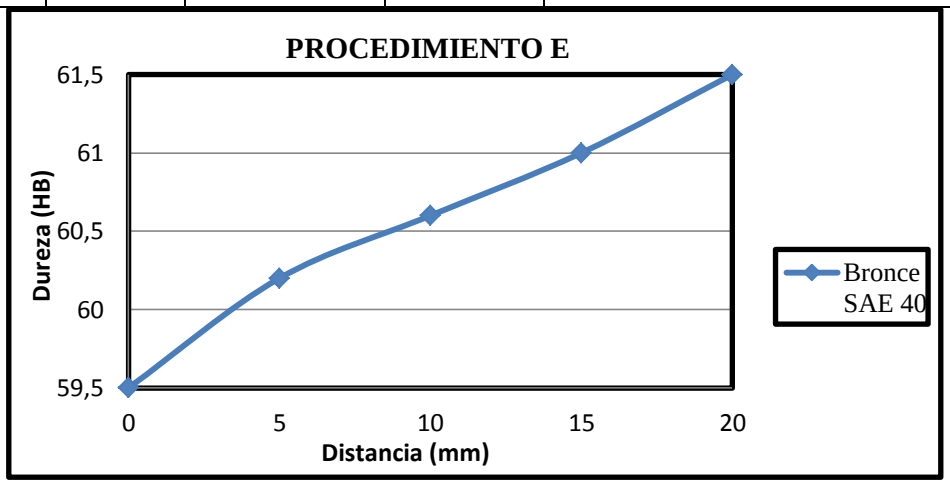
ENSAYO DE DUREZA			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	**Ensayo Nº:**	06
Tipo de material:	Bronce SAE 64		
Tipo de Procedimiento:	**E**	**Fecha:**	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – F.I.C.M	
Realizado por:	Jacob Pérez	**Supervisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
DESCRIPCIÓN:			
Método:	HB	**Norma Aplicable:**	ASTM E 10-12
Tipo de penetrador:	Diámetro identador 2.5 mm.		
Carga aplicada:	613 N	**Tiempo de ensayo:**	15 min

RESULTADOS:

Huella N°	Zona de barrido	Distancia(cm)	Dureza (HB)
1	Intercara	0	59,5
2	Intercara	5	60,2
3	Intercara	10	60,6
4	Intercara	15	61
5	Intercara	20	61,5





INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La gráfica anterior permite interpretar que en la zona media se produce la menor dureza que es de 59,5 HB a diferencia que en la parte extrema del material se presenta la máxima que es de 61,5 HB.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Ho HIPÓTESIS NULA:

La modificación de los parámetros de desgaste abrasivo aplicados en el Bronce SAE 64 y SAE 40 bajo la norma ASTM G-65 no disminuirá la perdida de volumen del material.

H1 HIPÓTESIS ALTERNA

La modificación de los parámetros de desgaste abrasivo aplicados en el Bronce SAE 64 y SAE 40 bajo la norma ASTM G-65 no disminuirá la perdida de volumen del material.

Comprobación:

Por medio del estudio de desgaste abrasivo realizado en los Bronces SAE 40 y SAE 64, se pudo determinar la pérdida de volumen del material, dependiendo de las variaciones de los diferentes procedimientos que establece la Norma ASTM G-65 (Procedimiento B, D y E), así como también, se determinó coeficientes tribológicos como son: pérdida de masa, perdida de volumen, tasa de desgaste y coeficiente de desgaste.

4.3.1 Efecto del tipo de Procedimiento (B, D y E) sobre la pérdida de masa.

Para evaluar el efecto que tiene cada tipo de procedimiento de desgaste abrasivo sobre los dos tipos de bronces: SAE 40 y SAE 64, se modificó los diferentes parámetros que establece la norma ASTM G-65 para evaluar la pérdida de masa del material; los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 4.23 Efecto del procedimiento sobre la pérdida de masa

HOJA DE RESULTADOS DE PÉRDIDA DE MASA (gramos)						
Material / Procedimiento	**Bronce SAE 64**		% de pérdida de masa	**Broce SAE 40**		% de pérdida de masa
B	173,814	165,692	**4,67**	177,734	165,56	**6,85**
D	176,11	167,472	**4,90**	176,642	165,232	**6,45**
E	177,422	171,656	**3,24**	179,762	173,508	**3,54**

Fuente: Autor

4.3.2 Efecto del tiempo de abrasión sobre la pérdida de volumen.

Es de mucha importancia conocer el efecto del tiempo de abrasión sobre la pérdida de volumen, se modificó el tiempo mientras se mantuvo constante los otros parámetros de abrasión (flujo de arena, fuerza aplicada, número de revoluciones por minuto). Se realizó cinco pruebas para diferentes intervalos de tiempos de acuerdo al tipo de procediendo que se esté aplicando (B, D, E), los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 4.24 Efecto del procedimiento sobre la pérdida de masa

HOJA DE RESULTADOS DE PÉRDIDA DE VOLUMEN (mm^3)					
Procedimiento B					
Tiempo(min) / Material	2	4	6	8	10
Bronce SAE 64	226,01	452,03	678,23	859,53	920,07
Bronce SAE 40	222,98	445,97	669,14	1063,91	1359,23
Procedimiento D					
Tiempo(min) / Material	6	12	18	24	30
Bronce SAE 64	226,01	452,03	674,73	863,60	964,52
Bronce SAE 40	226,01	452,03	787,26	1071,37	1291,95
Procedimiento E					
Tiempo(min) / Material	1	2	3	4	5
Bronce SAE 64	130,58	261,15	403,40	522,11	652,91
Bronce SAE 40	142,19	268,15	416,84	533,13	708,16

Fuente: Autor

Con los resultados anteriores se verifica que a medida que se aumenta el tiempo de abrasión la pérdida de volumen también aumenta, en el lapso de los diferentes tiempos de cada procedimiento, es decir, desde que se inicia hasta que se finaliza el ensayo se tiene tres etapas muy bien diferenciadas: en la primera el material empieza un periodo de asentamiento y se caracteriza por seguir una curva exponencial, el segundo periodo es el más largo este se caracteriza por seguir un régimen de desgaste lineal, en el último periodo se observa un desgaste catastrófico, es decir, el régimen de desgaste es incremental y constante, el material removido es en forma de partículas abrasivas.

4.3.3 Efecto de la Dureza sobre la pérdida de volumen del material.

Para evaluar el efecto el efecto de la Dureza del material sobre la pérdida de volumen, se ensayó el Bronce SAE 64 y el Bronce SAE 40 manteniendo los parámetros que establece la norma (flujo de arena, fuerza aplicada, número de revoluciones por minuto). Para cada probeta se tomaron cinco medidas de dureza obteniéndose los valores menores en la zona media de las probetas, los resultados obtenidos son los siguientes:

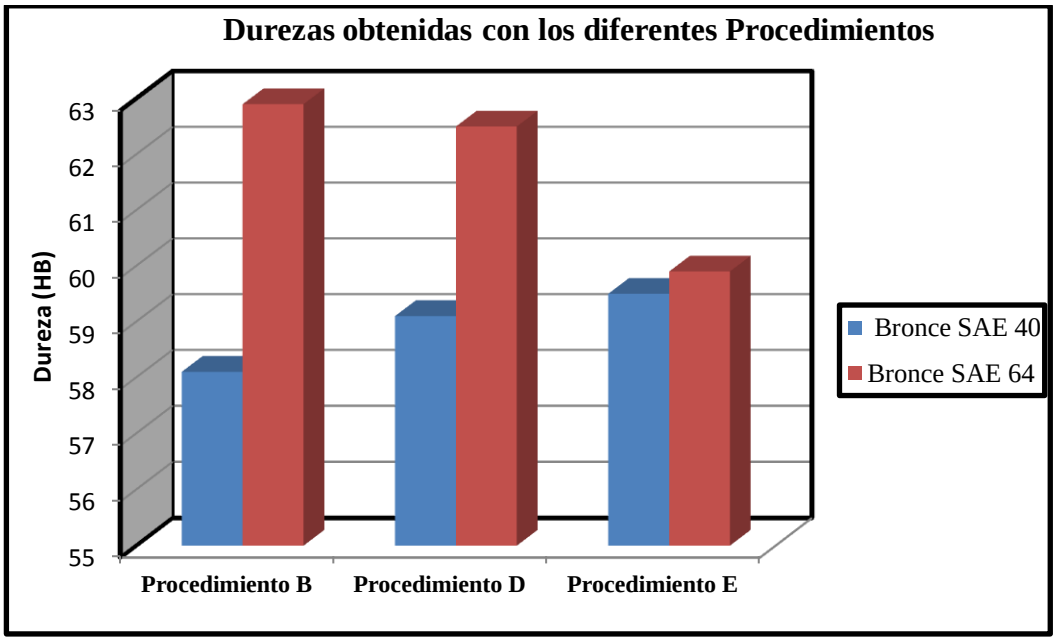


Figura 4.13 Durezas obtenidas mediante diferentes procedimientos

Fuente: Autor

4.3.4 Efecto de la Fuerza aplicada sobre la pérdida de volumen del material.

Para evaluar el efecto de la Fuerza aplicada sobre la pérdida de volumen se ensayó el Bronce SAE 64 y el Bronce SAE 40 manteniendo los parámetros que establece la norma. Las cargas que establecen los tres tipos de procedimientos son de: 45 y 130 Newton.

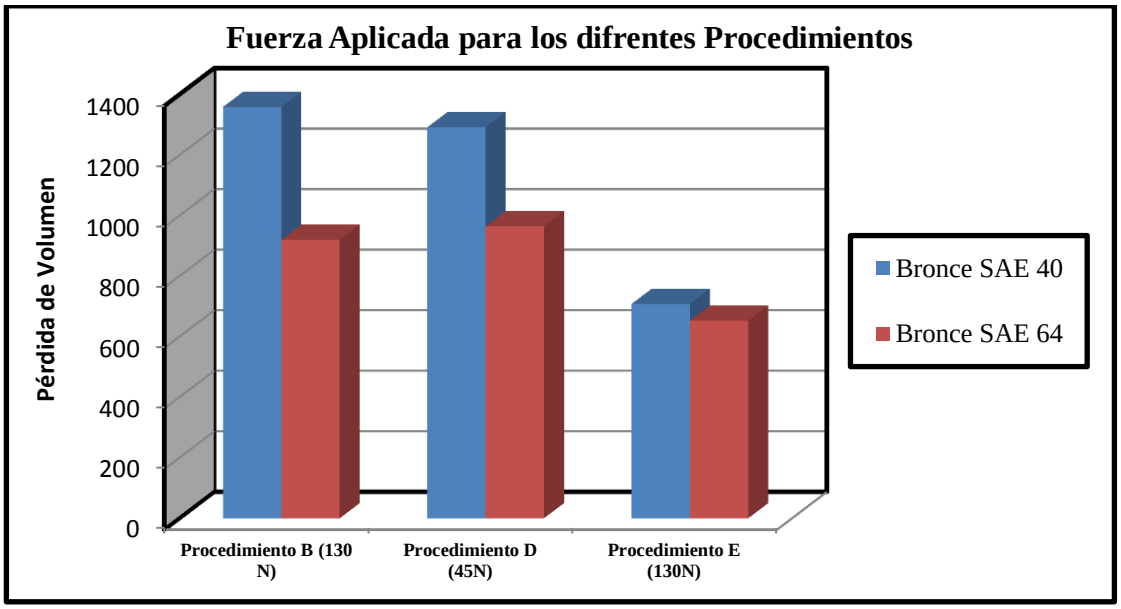


Figura 4.14 Fuerza aplicada para los diferentes Procedimientos

Fuente: Autor

Se puede decir que, evaluando los diferentes parámetros que establece la norma ASTM G-65 se obtiene distintos valores de pérdida de volumen, calificando de esta manera la hipótesis como positiva, dado que la correcta modificación de los parámetros de desgaste abrasivo aplicados en los Bronces SAE 40 y SAE 64 permitió evaluar la pérdida de volumen.

Tabla 4.25 Comparación de materiales SAE 40, SAE 64 con 30 lb. de fuerza y 2000 Rev. de la rueda o 1436 m de abrasión lineal

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

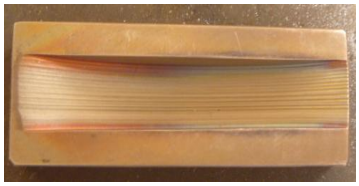
VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Ensayo Nº:**	01
Tipo de Procedimiento:	**B**	**Fecha:**	24/12/2013
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – F.I.C.M	
Realizado por:	Jacob Pérez	**Supervisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

RESULTADOS: PROCEDIMIENTO B

n.-	SAE 40	SAE 64	
1	12,839	7,8965	4,9425
2	12,0534	8,1526	3,9008
3	12,2941	7,992	4,3021
4	11,3177	8,0678	3,2499
5	12,3214	8,5125	3,8089
		Promedio	4,04084



Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	*Variable 2*
Media	12,16512	8,12428
Varianza	0,30644389	0,05602213
Observaciones	5	5
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	14,3755673	
P(T<=t) una cola	6,8036E-05	
Valor crítico de t (una cola)	2,13184679	
P(T<=t) dos colas	0,00013607	
Valor crítico de t (dos colas)	2,77644511	

Observaciones:

Fuente: Autor

Tabla 4.26: Comparación de materiales SAE 40, SAE 64 con 10.1 lb. de fuerza y 6000 Rev. de la rueda o 4309 m de abrasión lineal

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

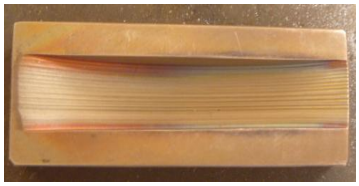
VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Ensayo Nº:**	01
Tipo de Procedimiento:	**D**	**Fecha:**	24/12/2013
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – F.I.C.M	
Realizado por:	Jacob Pérez	**Supervisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

RESULTADOS: PROCEDIMIENTO D

n.-	SAE 40	SAE 64	
1	11,7637	8,5672	3,1965
2	11,1148	8,2899	2,8249
3	11,5478	8,6458	2,902
4	11,2589	8,3354	2,9235
5	11,3548	8,7456	2,6092
		Promedio	2,89122



Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	*Variable 2*
Media	11,408	8,51678
Varianza	0,06427346	0,03898004
Observaciones	5	5
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	30,6221329	
P(T<=t) una cola	3,3876E-06	
Valor crítico de t (una cola)	2,13184679	
P(T<=t) dos colas	6,7753E-06	
Valor crítico de t (dos colas)	2,77644511	

Observaciones:

Fuente: Autor

Tabla 4.27: Comparación de materiales SAE 40, SAE 64 con 10.1 lb. de fuerza y 6000 Rev. de la rueda o 4309 m de abrasión lineal

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

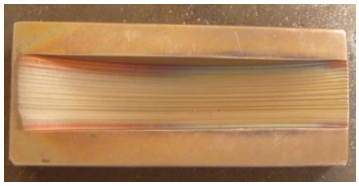
VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	**Ensayo Nº:**	01
Tipo de Procedimiento:	**E**	**Fecha:**	24/12/2013
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – F.I.C.M	
Realizado por:	Jacob Pérez	**Supervisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

RESULTADOS: PROCEDIMIENTO E

n.-	SAE 40	SAE 64	
1	6,3634	6,0024	0,361
2	6,2869	5,897	0,3899
3	6,1258	5,7894	0,3364
4	6,1031	5,6897	0,4134
5	6,3861	5,4478	0,9383
		Promedio	0,4878



Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	*Variable 2*
Media	5,76526	8,51678
Varianza	0,04516593	0,03898004
Observaciones	5	5
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
	-	
Estadístico t	17,6857562	
P(T<=t) una cola	3,0021E-05	
Valor crítico de t (una cola)	2,13184679	
P(T<=t) dos colas	6,0042E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2,77644511	

Observaciones:

Fuente: Autor

En la tabla 4.28, se resume los valores del *t de student* para cada uno de los casos estudiados. Los datos recogidos están agrupados en parejas de iguales condiciones de funcionamiento.

Tabla 4.28 Resultados del *t de student*, para los casos estudiados.

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

VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	**Ensayo Nº:**	01
Tipo de Procedimiento:	t-student	**Fecha:**	24/12/2013
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – F.I.C.M	
Realizado por:	Jacob Pérez	**Supervisado por:**	Ing. Mg. Juan Paredes

RESULTADOS: *t de student*, para los casos estudiados.

Casos estudiados (procedimientos)	**Estadístico t**	**Valor crítico de t**
B	14,3755673	2,77644511
D	30,6221329	2,77644511
E	17,6857562	2,77644511

Fuente: Autor

En todos los casos estudiados, el valor estadístico *t* es mayor que el valor crítico, lo que muestra que si existe diferencias significativas para las muestras emparejadas para el funcionamiento o parámetros. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

H1 HIPÓTESIS ALTERNA

La modificación de los parámetros de desgaste abrasivo aplicados en el bronce SAE 64 y SAE 40 bajo la norma ASTM G-65 disminuirá la pérdida de volumen del material.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Las conclusiones se basan en los resultados obtenidos en forma experimental y del análisis e interpretación de los mismos, así como también en el marco teórico en el cual se fundamenta dicha experimentación. De los estudios realizados se puede concluir lo siguiente:

- Se analizó y calibró los parámetros que influyen en el desgaste los Bronces SAE 40 y SAE 64, estos fueron: carga aplicada (depende de cada procedimiento requerido por la norma.), flujo de arena 334.5 g/min., velocidad del motor (depende de cada procedimiento) y diámetro de la rueda requerido (9 pulg).

- La velocidad específica de rotación debe ser de 200 rpm con una tolerancia de ± 10 rpm, esta velocidad debe permanecer constante durante la carga. Para la máquina se utilizó un motor de 0.75 caballos de fuerza con una reducción de 10:1 y velocidad de salida de 195 rpm.

- La pérdida de volumen depende del tipo de procedimiento que se aplique al material; en el procedimiento "E" se dan las menores pérdidas de volumen a

diferencia del procedimiento “B”, además, de los dos materiales ensayados el que presenta la menor pérdida de volumen es el Bronce SAE 64.

- La carga aplicada que se necesitó para el ensayo fue de 5.3 kg. y 1.8 kg respectivos para los procedimientos B, D y E. Primero se evaluó mediante la elongación de un resorte, ya que en la Norma afirma que no debe calcularse sino comprobarse mediante la prueba de elongación.

- La tasa de desgate del material es directamente proporcional a la distancia deslizada, por lo tanto, la máxima tasa de desgaste del material ocurre en el procediendo “D” debido a que las condiciones que dicta la norma para el número de revoluciones en este procedimiento es de 6000, por el contrario, el procedimiento “E” es el que presenta los valores mínimos debido a que este se efectúa a 1000 revoluciones.

- El tipo de arena que se utilizo es arena sílice o sílica con una granulometría de medida (50 o 300 μm) con tamices marca HUMBOLDT que están calificados con la norma ASTM- E10-12.

- Debido a la fricción y por siguiente el calor se altera la dureza del material, se obtuvo los valores de dureza menores en la zona media de las probetas, y los valores mayores en la zona que no fue afectada en el ensayo.

- El caucho que se utilizó tuvo una dureza de 65.5 shore A con la finalidad que partículas de arena sílica no se desintegren cuando entren en contacto con el material y la goma.

- Después de la aplicación del ensayo con el procedimiento "B", en el Bronce SAE 64 se obtuvo una pérdida de volumen de 920,07 mm^3 a diferencia del Bronce SAE 40 una de 1359,23 mm^3.

- Con la aplicación del procedimiento "D" el Bronce SAE 64 se obtuvo una pérdida de volumen de 964,52 mm^3 a diferencia del Bronce SAE 40 una de 1291,95 mm^3.

- Después de la aplicación del ensayo con el procedimiento "E", en el Bronce SAE 64 se obtuvo una pérdida de volumen de 652,91 mm^3 a diferencia del Bronce SAE 40 una de 708,16 mm^3.

- De todo el estudio realizado se concluye que bajo los mismos factores de desgaste abrasivo, el Bronce SAE 40 tiene una pérdida de volumen de 652,91mm^3 a diferencia del SAE 64 que tiene una de 708,16mm^3, por tanto, se puede aseverar que el Bronce SAE 40 es el que brinda mayor resistencia a la abrasión.

5.2 RECOMENDACIONES

Por los estudios realizados se puede formular las siguientes recomendaciones:

- Para garantizar medidas confiables en la máquina se recomienda seguir los pasos que establece la norma ASTM G-65 y tener en cuenta variables como: características de la arena, rueda vulcanizada, características de la probeta sobre la que se realiza la prueba y la fuerza aplicada. Cada uno de estos elementos debe estar de acuerdo a las especificaciones que se describen en la norma.

- El flujo de arena debe ser con un flujo laminar y constante para que el ensayo se cumpla de acuerdo a la norma.

- El desgaste abrasivo es un fenómeno muy difícil de repetir, ya que las condiciones en las situaciones de desgaste no son siempre las mismas. Es por esto que al realizar los ensayos de desgaste abrasivo, se deben controlar al máximo todos los parámetros involucrados dentro del proceso, tales como el tamaño, forma y dureza de la partícula, la distancia de deslizamiento (número de revoluciones del disco), la dureza del recubrimiento del caucho, el flujo de arena y la fuerza contra la probeta. Si alguno de estos parámetros no se controla de manera adecuada, el desgaste se presentara de forma irregular sobre la probeta, obteniendo un valor incorrecto para el volumen de desgaste del material. El

acabado superficial del material analizado puede modificar los resultados obtenidos en las pruebas de desgaste.

- La dureza del material también influye considerablemente sobre la resistencia al desgaste abrasivo, ya que esta propiedad está relacionada directamente con el grado de penetración de la partícula abrasiva sobre la superficie del cuerpo. De este modo, materiales con durezas superiores a la dureza de las partículas, experimentaran menor desgaste que los materiales cuya dureza es menor a la de los granos abrasivos.

- Una vez obtenido las masa de las probetas cada una de estas debe numerada o identificada para evitar la confusión de probetas el momento de realizar los ensayos.

- Es muy importante estar pendiente del avance del proceso de desgaste durante el ensayo para evitar que ocurra algún imprevisto entre las probetas.

- Por último se recomienda realizar un procedimiento para la evaluación del desgaste abrasivo utilizando la máquina diseñada de acuerdo a la Norma ASTM G-65, de forma que todas las personas que la utilicen sigan una metodología con la finalidad de obtener resultados satisfactorios.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESGASTE ABRASIVO DEL BRONCE SAE 64 BAJO NORMA ASTM G-65-04 MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO "E"

6.1 DATOS INFORMATIVOS

Luego de haber realizado el análisis de los factores de desgaste abrasivo de los bronces SAE 40 y SAE 64, se ha determinado que el bronce SAE 64 presenta mayor resistencia al desgaste abrasivo, además el procedimiento "E" es que reúne los parámetros que más se ajusta para evaluar el desgaste en Bronce. Dentro de los diferentes procedimientos están: "A" es una prueba relativamente severa que clasificará los materiales metálicos en una escala de pérdida de volumen a la abrasión extrema, es particularmente útil en la clasificación de los materiales de media resistencia a la abrasión extrema. El procedimiento B es una variación a corto plazo del Procedimiento A, se puede utilizar para materiales resistentes altamente abrasivos pero es particularmente útil en la clasificación de los materiales resistentes a la abrasión de media y baja. Procedimiento B debe utilizarse cuando los valores de volumen de pérdida desarrollado por el Procedimiento A superan 100 mm^3. El Procedimiento D es una variación de la carga más ligera del Procedimiento A, es

particularmente útil en la clasificación de materiales de baja resistencia a la abrasión, también se utiliza en materiales de clasificación de un tipo o de materiales que se acercarían a las tasas de pérdida de volumen como el desarrollado por el Procedimiento A. El procedimiento C no se utilizó porque sirve para evaluar revestimientos delgados.

El estudio del desgaste abrasivo constituye un aporte importante dentro del área de ingeniería de materiales debido a que se ha determinado la influencia del desgaste abrasivo de cada procedimiento sobre la pérdida de volumen de cada material bajo Norma ASTM G65-04, y con esto lograr evaluar de manera correcta los factores de desgaste abrasivo, constituyendo además una base fundamental para realizar estudios posteriores del fenómeno de desgaste abrasivo en diferentes materiales empleados en el diseño y selección de componentes de máquinas.

Los ensayos de desgaste abrasivo se realizaron en el Laboratorio de Materiales de Ingeniería Civil y Mecánica, Laboratorio de Química General de la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Cantón Ambato, Provincia del Tungurahua; entre los equipos necesarios para realizar los ensayos de desgaste abrasivo que dispone el Laboratorio de Ingeniería de Materiales se puede mencionar: equipos necesarios para ensayos metalográficos, durómetro para ensayos de dureza. Dentro del laboratorio de química general de la F.C.I.A.L. se encuentra la balanza analítica de precisión de 0,0001 gramos indispensable para el ensayo.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

La evolución de la tecnología y la necesidad de reducir los costos en la construcción de maquinarias ha llevado a determinar los requerimientos de estudios en tribología para cubrir estas deficiencias.

Actualmente, la falla de elementos mecánicos sometidos a fricción y posteriormente el desgaste de los mismos, trae consigo pérdidas considerables de energía y reducción de la vida útil, es por esto fundamental contar con un método para estudiar el comportamiento de materiales frente al desgaste.

El desgaste de los materiales ha sido un fenómeno que se ha evidenciado por siempre a nivel mundial, por lo que se ha buscado combatirlo y prevenirlo de muchas maneras, una de las formas de evitar que se presente es la determinación de las características mecánicas del material (resistencia al desgaste, resistencia mecánica, resistencia a la fricción, etc.) y su comportamiento en el momento en que entra en contacto con otro, esto debido a que no solo basta con que un material cumpla con los requerimientos de resistencia , sino que pueda cumplir con su función durante un período de tiempo razonable.

Existen pocas investigaciones anteriores a cerca del desgaste abrasivo en materiales metálicos, razón por la cual es muy difícil encontrar estudios específicos para ensayos como la presente investigación.

Según la norma ASTM G65-04 establece cuatro procedimientos recomendados que son apropiados para diferentes grados de resistencia al desgaste y pérdida de volumen del material:

Procedimiento A: Es una prueba relativamente severa que clasificará los materiales metálicos en una escala de pérdida de volumen a la abrasión extrema. Es particularmente útil en la clasificación de los materiales de media resistencia o la abrasión extrema.

Procedimiento B: Es una variación a corto plazo del Procedimiento A. Se puede utilizar para materiales resistentes altamente abrasivos, pero es particularmente útil en la clasificación de los materiales resistentes a la abrasión de media y baja. El Procedimiento B debe utilizarse cuando los valores de volumen de pérdida desarrollado por el Procedimiento A superan 100 mm^3.

Procedimiento C: Es una variación a corto plazo de Procedimiento A para uso en revestimientos delgados.

Procedimiento D: Esta es una variación de la carga más ligera del Procedimiento A, que es particularmente útil en la clasificación de materiales de baja resistencia a la abrasión. También se utiliza en materiales de clasificación de un tipo o de materiales que serían muy cerca en las tasas de pérdida de volumen como el desarrollado por el Procedimiento A.

Procedimiento E: Es una variación a corto plazo de Procedimiento B que es útil en la clasificación de los materiales con resistencia a la abrasión media o baja.

Tabla 6.1 Procedimientos que especifica la norma ASTM G65-04

Specified Procedure	Force against Specimen, N (lb.)	wheel revolution	Lineal Abrasion	
			M	(ft)
A	130 (30)	6000	4309	14138
B	130 (30)	2000	1436	4711
C	130 (30)	100	71.8	236
D	45 (10.1)	6000	4309	14138
E	130 (30)	1000	718	2360
N = Newton (SI metric term for force) 1 lbf = 4.44822 N 1 Kgf = 9.806650 N				

Fuente: Norma ASTM G65-04 Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus1

En los procedimientos establecidos podemos observar que varía la velocidad, el número de ciclos y la fuerza ejercida sobre la probeta, pero ni estudios anteriores ni tampoco la norma establece el procedimiento más óptimo que ayude a evaluar la pérdida de volumen en el material.

6.3 JUSTIFICACIÓN

La evaluación del desgaste abrasivo del bronce SAE 64 mediante el procedimiento "E" establecido por la Norma ASTM G65-04, permite obtener los datos de la pérdida de volumen de una manera más eficiente para así evitar el empleo de los demás procedimientos; los resultados tienen un mínimo rango de error, además, los datos permiten evaluar la resistencia de los materiales sometidos a abrasión lo cual es muy indispensable tomar en cuenta en la selección de materiales.

El desgaste y la fricción son propiedades que no son tomadas en cuenta al momento de seleccionar materiales, por eso la industria en general padece severas pérdidas por estos fenómenos, la productividad disminuye considerablemente por paros constantes de producción para el cambio de piezas desgastadas, aumentado costos de producción y así afectando directamente la calidad de vida de las personas, por ello es importante estudiar su comportamiento de los materiales cuando están sometidos a medios abrasivos, esto debido a una protección insuficiente y a la falta de lubricación o mantenimiento de las máquinas.

Por lo cual el estudio del desgaste abrasivo ayudará a disponer de una guía para realizar correctamente los ensayos mediante el procedimiento más adecuado y de ésta manera contribuir que los estudiantes de Ingeniería Mecánica realicen estudios posteriores con otros materiales ya sean estos pares tribológicos del mismo material o de diferentes materiales.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 Objetivo General

Realizar un procedimiento para la evaluación del desgaste abrasivo del Bronce SAE 64 bajo Norma ASTM G65 -04 mediante el procedimiento “E”.

6.4.2 Objetivos Específicos

- Efectuar el ensayo de dureza del bronce SAE 64 y comparar dichos valores con los del catálogo del proveedor.
- Realizar los procedimientos para el ensayo de desgaste abrasivo del bronce SAE 64.
- Efectuar el ensayo de dureza para el Bronce SAE 64 para determinar si la dureza del material se afecta por el calor que produce el ensayo.
- Determinar la pérdida de volumen de bronce SAE 64 bajo la Norma ASTM G65-04 mediante el procedimiento "E".

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

El presente proyecto de investigación es factible debido a que los materiales analizados se los puede conseguir en el mercado, y la máquina para el ensayo es fácil de construir pues la norma establece los parámetros más importantes de diseño lo que representa un costo considerable para realizar el estudio del desgaste abrasivo, la información necesaria para el ensayo proporciona la norma ASTM G65-04.

Los instrumentos y equipos adecuados para poder realizar la presente propuesta fueron facilitados por la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y también por la Facultad de Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato.

En el Laboratorio de Ingeniería de Materiales se encuentran en perfecto estado los equipos necesarios para realizar el análisis metalográfico, se utilizó el durómetro de la

E.S.P.O.C.H. para el ensayo de dureza mientras que en el Laboratorio de Química General de la F.I.C.A.L. posee una balanza de precisión de 0,0001 gramos que fue indispensable para los ensayos y por estas razones fue factible realizar la investigación

6.5.1 Análisis Económico

Con el fin de brindar información completa sobre la evaluación del desgaste abrasivo del Bronce SAE 64 se debe realizar el análisis económico del proyecto de investigación, para dar a conocer los costos que están relacionados directamente con el desarrollo del proyecto de investigación.

6.5.2 Análisis Tecnológico

Para la realización del procedimiento de evaluación del desgaste abrasivo del Bronce SAE 64 bajo Norma ASTM G65-04 mediante el procedimiento "E" se debe utilizar equipos de última tecnología como son:

Equipos para realizar el Análisis Metalográfico tales como:

- Bancos de lijas
- Pulidora de paño
- Sistema de microscopio metalográfico
- Reactivos de aleaciones de Cobre
- Computadora.

Para el ensayo de dureza:

- Durómetro
- Banco de lijas 240, 300 y 400.
- Balanza analítica de presión de 0,1 miligramos
- Máquina de ensayos abrasivos bajo la Norma ASTM G-65-04.

Todos estos equipos deben estar adecuadamente calibrados con el fin de obtener resultados fiables como establece la norma.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

Los cálculos se realizaron fundamentados en la teoría del Capítulo II, donde se puede apreciar los cálculos estadísticos como son la desviación estándar y la pérdida de volumen para ensayo de desgaste abrasivo y los datos de la norma ASTM G65-04.

Las probetas se maquinaron (fresadora) para dar las dimensiones requeridas para el ensayo y que se pueda adaptar en el porta probetas para una sujeción óptima y segura, se dio un acabado superficial fino rectificado o lijado como es en el caso del bronce ya que este no es magnético y no se puede montar en la rectificadora plana.

Las probetas fueron pesadas en una balanza marca CITECEN modelo CX 220 de precisión 0.0001gr. con una capacidad máxima de 220 gr. que cuenta la Universidad Técnica de Ambato en la facultad de Ingeniería en Alimentos en el laboratorio de bioquímica.

A continuación se presentan los cálculos realizados para la Evaluación del desgaste abrasivo del Bronce SAE 40 bajo Norma ASTM G65-04 mediante el procedimiento "E".

6.7 METODOLOGÍA

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA Procedimiento para la evaluación del ensayos de desgaste abrasivo del bronce SAE 40 bajo la norma ASTM G65-04 con procedimiento "E".	

1. OBJETO:

Realizar la evaluación del desgaste abrasivo del Bronce SAE 40 bajo Norma ASTM G65 -04 mediante el procedimiento "E".

2. ALCANCE:

Este método de ensayo cubre los procedimientos de laboratorio para la determinación de la resistencia de los materiales metálicos a la abrasión por medio de la prueba de la arena / rueda de goma seca. La intención de este método de ensayo es producir datos que se ubicarán a los materiales en base a la resistencia al rayado abrasivo bajo un conjunto específico de condiciones.

3. DOCUMENTACIÓN Y REFERENCIA: El desarrollo del presente procedimiento se encuentra sustentado en la investigación realizada en el capítulo II y IV.

4. GENERALIZACIÓN: Es la degradación física (pérdida o ganancia de material, aparición de grietas, deformación plástica, cambios estructurales como transformación de fase o recristalización, fenómenos de corrosión, etc.) debido al movimiento entre la superficie de un material sólido y uno o varios elementos de contacto.

Elaborado por:	Jacob Pérez	Fecha:	01/12/2012
Aprobado por	Ing. Mg. Juan Paredes	Observaciones:	

El desgaste sobre una superficie se puede cuantificar midiendo la pérdida de material según su desplazamiento relativo, y éste aumenta cuando existe presión y movimiento entre superficies.

Para evaluar el desgaste de materiales se utilizó la Norma ASTM G-65, en primera instancia se verificó que todos los parámetros estén correctamente calibrados para obtener resultados verdaderos, en general, los procedimientos consisten en someter el bronce a un abrasivo (arena sílice) con una velocidad de 200 r.p.m. de entrada a la rueda vulcanizada (goma de clorobutilo), en la norma se menciona diferentes tipos de procedimientos para evaluar los materiales metálicos como son: A,B,C,D,E en mi caso trabajé con los procedimientos B, D y E, ya que los demás parámetros evalúan a situaciones muy drásticas y en desgaste obtenido en el bronce fue excesivo.

5. REALIZACIÓN

El proceso para realizar la soldadura SMAW en el hierro fundido gris clase 30 comprende los siguientes pasos:

5.1 Caracterización del material.

5.2 Preparación de las probetas para el ensayo

5.3 Pesaje de las probetas.

5.4 Verificación de parámetros.

5.5 Selección del procedimiento.

5.6 Pesaje de las probetas ensayadas

5.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL.

La determinación de la clase del bronce SAE 64 que se va a ensayar es muy importante, debido a las diferentes características y propiedades que puedan presentar las clases de bronces y se desconoce su clase o grado y se tiene una ficha técnica proporcionada por el fabricante, es posible determinar su grado mediante un análisis de sus propiedades mecánicas mediante ensayo; para el presente procedimiento se realizó los ensayos: metalográfico, dureza.

5.1.1 ANÁLISIS METALOGRÁFICO.

La metalografía es esencialmente, el estudio de las características estructurales o de constitución de un metal o una aleación para relacionar ésta con las propiedades físicas y mecánicas.

El análisis metalográfico se lo realizó en el Laboratorio de Materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato mediante el siguiente procedimiento:

1. Obtención de la muestra.
2. Desbaste manual de probetas.
3. Pulido metalográfico.
4. Ataque químico.
5. Evaluación.

1. Obtención de la muestra. Las probetas seleccionadas deben ser parte del metal estudiado que brinde la máxima información. La obtención de la muestra se la realiza cortando un pedazo que nos facilite su manipulación

Figura 6.1 Corte de probetas
Fuente: Autor

2. Desbaste manual de probetas. Se procede a realizar el desbaste en un banco de probetas utilizando lijas de 240, 320, 400, 600 (gr/plug2), el proceso se lo realiza en dirección de un solo sentido, sin aplicar excesiva presión; el objetivo de desbaste es eliminar las asperezas y deformaciones provocadas en la obtención de las probetas.

Figura 6.2 Lijadora de desbaste
Fuente: Autor

3. Pulido metalográfico. El objetivo es eliminar de la superficie las rayas finas producidas en el desbaste, se utiliza una pulidora con discos giratorios con paño aplicando medio abrasivo para el pulido metalográfico que es alúmina (oxido de aluminio) disuelto en agua, el pulido se lo hace en una sola dirección hasta obtener una superficie "espejo" libre de rayones.

Figura 6.3 Pulido metalográfico
Fuente: Autor

4. Ataque químico. La probeta debe ser lavada y secada antes de realizar el ataque químico para el cual se utiliza reactivo (aleación de cobre) recomendado para bronces, que permiten observar las características microestructurales de la superficie atacada; el tiempo de ataque químico para el bronce será de 4 segundos. Se rocía con agua para detener el ataque y se seca con flujo de aire.

Figura 6.4 Ataque Químico y secado de probetas
Fuente: Autor

Elaborado por:	Jacob Pérez	Fecha:	01/12/2012
Aprobado por	Ing. Mg. Juan Paredes	Observaciones:	

5. Evaluación. Con la ayuda del microscopio y el circuito cerrado evaluamos la estructura de hierro fundido gris, los resultados obtenidos nos permitirá realizar una comparación visual con las fotografías del libro Metal HandBook, Volumen 6 y la composición de la microestructura.

Figura 6.5 Evaluación de la microestructura
Fuente: Autor

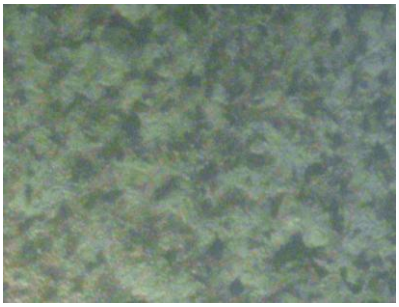


Figura 6.6 Microestructura del bronce SAE 40
Fuente: Autor

5.1.2 ENSAYO DE DUREZA

Medir la resistencia del material a la penetración del indentador sobre la superficie del material es el objetivo de este ensayo. Para medir la dureza se realizará mediante el método de Dureza Brinell mediante el siguiente proceso.

1. Preparación de la probeta.

2. Calibración de la máquina (Durómetro).

3. Ejecución del ensayo de dureza.

4. Evaluación de resultados.

1. Preparación de la probeta. Se corta y se obtiene un pedazo a analizar, posteriormente la superficie a ser analizada es pulida, eliminando así defectos de la superficie

Figura 6.7: Banco de lijas
Fuente: Autor

2. Calibración de la máquina (Durómetro). La calibración del durómetro se la realiza en función al material que se va analizar, identificando así la carga, el identador, y la escala asignada. La carga asignada para bronces es 980 N y utilizaremos el penetrador de 1/16" (in)

3. Ejecución del ensayo de dureza. Colocamos la probeta sobre la superficie de ensayo del durómetro, ajustamos la máquina hasta que haga contacto, seguido aplicamos la precarga, una vez estabilizada aplicamos la carga de 980 N y observamos la medición que indica el durómetro.

Figura6.8: Durómetro
Fuente: Autor

4. Evaluación de resultados. Los resultados obtenidos de las durezas en diferentes puntos de la probeta se los registra para obtener una dureza promedio y evaluar la probeta.

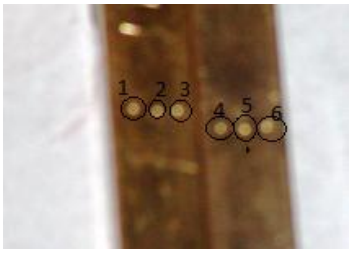


Figura6.9: Probeta ensayada en el durómetro
Fuente: Autor

Elaborado por:	Jacob Pérez	Fecha:	01/12/2012
Aprobado por	Ing. Mg. Juan Paredes	Observaciones:	

5.2 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS PARA EL ENSAYO.

1.- Maquinar las probetas, es importante tener cuidado de no calentar la superficie del material, maquinar con refrigerante para no alterar sus propiedades microestructurales dejando de las siguientes dimensiones.

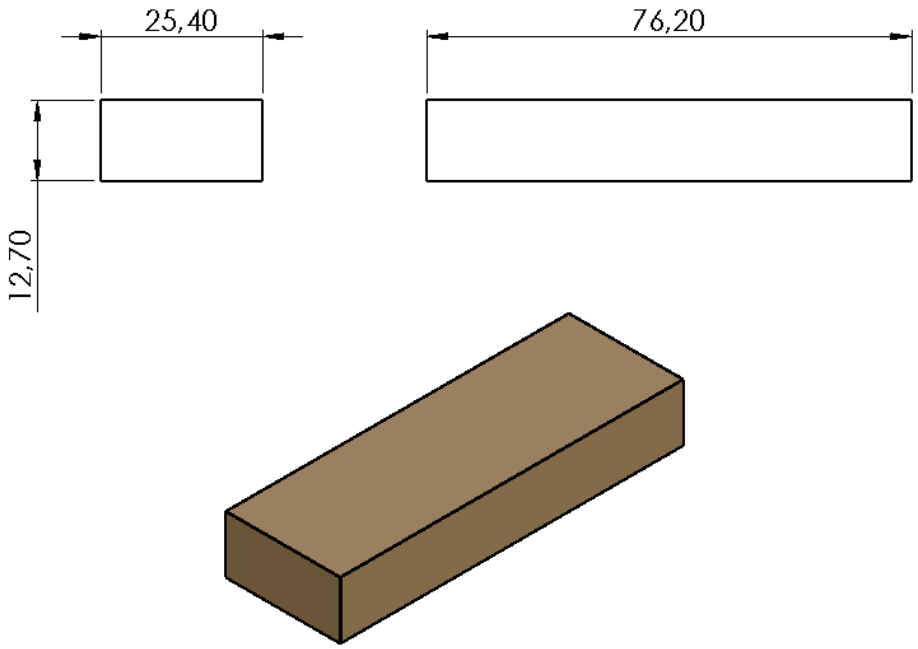


Figura 6.10 Probetas fresadas de 76.20*25.4*12.7 [mm]

Fuente: Autor

Elaborado por:	Jacob Pérez	Fecha:	01/12/2012
Aprobado por	Ing. Mg. Juan Paredes	Observaciones:	

Figura 6.11 Probetas fresadas para dar las dimensiones requeridas
Fuente: Autor

2.- Dar un acabado superficial rectificado para que tenga una superficie la más liza posible para que no tenga variaciones en el ensayo.

Figura 6.12 Rectificadora vertical (para superficies planas)
Fuente: Autor

Elaborado por:	Jacob Pérez	Fecha:	01/12/2012
Aprobado por	Ing. Mg. Juan Paredes	Observaciones:	

5.3 PESAJE DE LAS PROBETAS.

La toma de datos se las debe hacer en una balanza analítica de precisión de 0.1 mg. de marca CITIZON CX220 con la que cuenta la Universidad Técnica de Ambato en la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos (F.I.C.A.L.) requerimiento exigido por la Norma para obtener exactitud en los resultados.

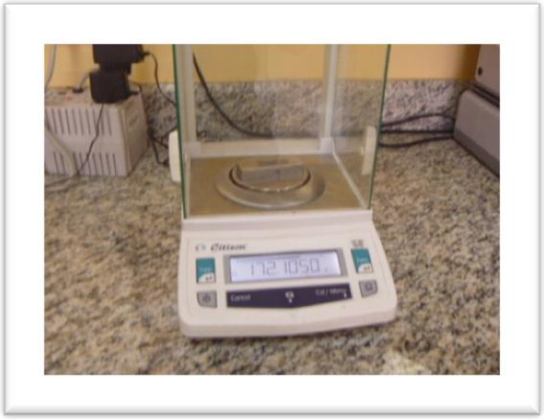


Figura 6.13 Balanza analítica de 0.1 mg.

Fuente: Autor

5.4 VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS.

Antes de realizar los ensayo de desgate abrasivo se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros para su correcta utilización.

1. Procedimiento de instalación de la máquina de ensayos abrasivos
2. Revisión sentido de giro de la rueda
3. Revisión de Flujo laminar y constante de la arena.

5.4.1 PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS ABRASIVOS.

- Revisar que se instale en una superficie recta y uniforme para evitar la vibración en la máquina.
- Nivelar la máquina.
- Procurar instalar la máquina en lugares ventilados
- Utilizar mascarilla para evitar entrar en contacto directamente.

5.4.2 REVISIÓN DE SENTIDO DE GIRO DE LA RUEDA

- El sentido de giro de la rueda vulcanizada es esencial debido a que está conectada a una fuente de corriente alterna trifásica el sentido de giro puede variar según la conexión y si no se verifica el sentido de giro se puede dañar la rueda vulcanizada.

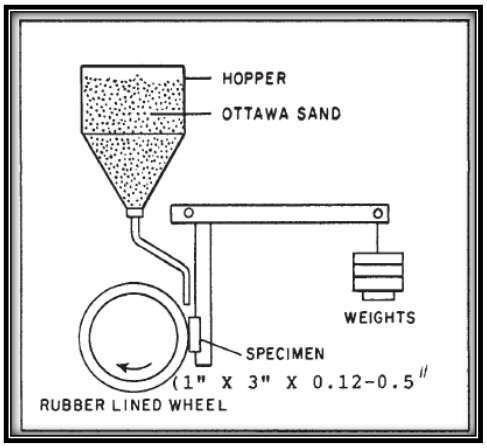


Figura 6.14 Diagrama básico de la máquina

Fuente: norma ASTM G65-04 Pg.2

5.4.3 REVISIÓN DE FLUJO LAMINAR Y CONSTANTE DE LA ARENA

- Es importante revisar el flujo de la arena antes de empezar a realizar los ensayos porque depende de esto el ensayo para la precisión de los resultados.

Figura 6.15 Flujo de arena por la tobera
Fuente: Autor

5.5 REALIZACIÓN DEL ENSAYO ABRASIVO.

- Para realizar el ensayo abrasivo se debe revisar la norma y el procedimiento con el que se trabajará para programar el contador de vueltas.

Figura 6.16 Tablero de control de la máquina
Fuente: Autor

Elaborado por:	Jacob Pérez	Fecha:	01/12/2012
Aprobado por	Ing. Mg. Juan Paredes	Observaciones:	

- La máquina consta de un tablero semiautomático que indica si está listo encendiéndose una luz verde en el tablero que indica que la probeta está lista para ser retirada y proceder a su pesaje.

5.6 PESAJE DE LAS PROBETAS ENSAYADAS

- Una vez realizado el ensayo se debe que proceder a pesar cada una de las probetas para comprobar la pérdida de volumen que tuvo el material.

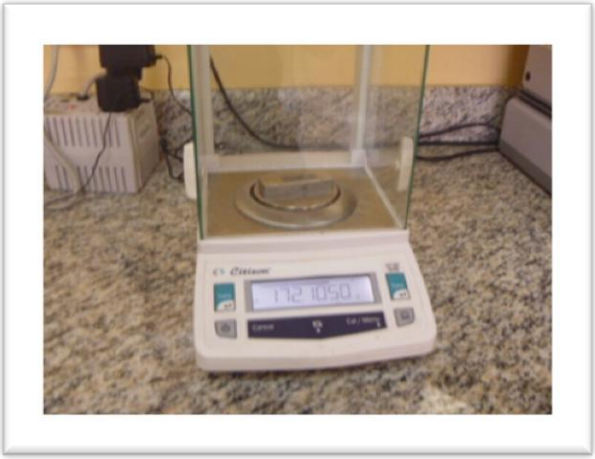


Figura 6.17 Balanza analítica de 0.1 mg.
Fuente: Autor

6.8 ADMINISTRACIÓN

6.8.1 Costos de Investigación

El análisis económico de la investigación y propuesta se presenta en la Tabla 6.6 en donde se desglosan detalladamente los materiales y recursos utilizados:

Tabla 6.2 Desglose del costo de la investigación.

Ítem	Cantidad	Unidad de medida	Descripción (proceso)	Costo unitario	Costo total
COSTOS DE RECURSOS MATERIALES					
1	58.4	Kg.	Vulcanizado de la rueda	60	60
2	1	u	Motor CA trifásico	250	250
3	4	u	Tubos cuadrados (38.1*38.1*2)mm	18.15	72.60
4	1	u	Plancha galvanizada(grosor1.2mm)	25.35	25.35
5	2	u	Chumaceras (25.4mm)	32.60	65.20
6	1	u	Eje (Ø228.6*25.4) mm.	35.65	35.60
7	1	u	Eje (Ø25.4*300) mm.	38.28	76.56
8	1	u	Contactor trifásico	22.68	22.68
9	1	u	Contador de revoluciones	60.25	60.25
10	1	u	Sensor de proximidad	65.24	65.24
11	1	u	Relé térmico trifásico	30.25	30.25
12	1	u	Breker trifásico	15.64	15.64
13	2	u	Pulsadores N/A	5.25	10.50
14	30	u	Ejes bronce SAE 40 SAE 64 (Ø25.4mm)	15	450
15	2	u	Pliego de lijas # 240	0,20	0,40
16	2	u	Pliego de lijas # 320	0.20	0.40
17	2	u	Pliego de lijas # 400	0.20	0.40
18	2	u	Pliego de lijas # 600	0.20	0.40
19	1	Frasco	Reactivo aleaciones de cobre	12	12
20	1/2	libra	Alúmina	160	160
21	1	u	Maquinado de probetas	250	250
22	3	u	Probetas acero 4340	16	48
23	3	u	Sacos de arena sílica	40	120
Costo total de recursos materiales					**1350.40**
Costos de recursos humanos					
24	1	u	Recolección de información	60	60
25	1	u	Fresador	80	80
26	1	u	Soldador	60	60
27	1	u	Ayudante	40	40
Costo total de recursos humanos					**240**
Costos de recursos varios					
28	3	u	Resmas de hojas	5	15
29	200	horas	Internet	0.80	160

30	1	u	Impresiones	150	150
31	3	u	Anillados	0.75	2.25
32	1	u	Transporte	80	80
33	1	u	Empastado	10	10
Costos totales de recursos varios					417.25
			Subtotal		2007.65
			10% imprevistos		200.77
			Costo total		**2208.42**

Fuente: Jacob Pérez

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Una vez culminado el presente proyecto de investigación se pudo determinar que de los cinco procedimientos establecidos por la norma ASTM G65-04, el más óptimo para realizar los ensayos de desgaste abrasivo es el procedimiento "E" mediante el cual se puede evaluar las propiedades abrasivas del material.

La presente investigación contribuye un aporte muy importante para el área de Materiales, debido a que mediante el proceso más óptimo de la norma ASTM G65-04 se ha logrado determinar la pérdida del material sometido a la abrasión.

Es muy importante destacar que los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería de Materiales de la Universidad Técnica de Ambato, con ayuda de equipos debidamente calibrados para la obtener datos reales, veraces y confiables.

La presente investigación deja abierto un gran número de investigaciones posteriores, pues el fenómeno de desgaste se presenta en todos los materiales:

- Para recubrimientos duros o pinturas.

El recargue antidesgaste en la capa superficial tiene por objeto, no solamente reconstruir la pieza usada, sino también aumentar su resistencia a la abrasión, a la compresión, al rozamiento, al impacto y a la corrosión dependiendo de las solicitaciones extremas que esté sometida la pieza a recargar.

- Tratamientos químico-térmicos a las superficies de materiales.
- Tratamiento térmico de los materiales.

Se conoce como tratamiento térmico al conjunto de operaciones de calentamiento y enfriamiento bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo de permanencia, velocidad, presión, etc., de los metales o las aleaciones en estado sólido, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y la elasticidad.

- Recubrimientos galvánicos.
- Metalización con polvos.
- Recubrimientos en piezas mecánicas para determinar si el recubrimiento va a resistir sometidos a medios abrasivos.

Bibliografía

[1] Askenland, D. R. (1998). Ciencia e Ingeniería de Materiales, cuarta Edición. International Thomson Editores.

[2] Días del Castillo, F. (2007) tribología fricción y desgaste de la facultad de estudios superiores, Cuautitlán México. http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf

[3] Paredes, J. H. (2012) "Estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en Guardachoques para Buses." (Tesis de Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico. Ecuador)

[4] Rodríguez, D.F (2007)" construcción y montaje de una máquina para realizar pruebas de desgaste abrasivo según la norma técnica ASTM G 65." proyecto de grado para optar al título de ingeniero mecánico universidad de los andes Colombia

[5] López, E. J.(2004) estudio experimental del desgaste abrasivo en aceros AISI 8620,D2 y H 13 con y sin tratamiento térmico (tesis de ingeniería Instituto Politécnico Nacional, México).

[6] Stolarqui, T.A.(1991) tribology in machine design, edit industrial press Inc. USA

[7] Peña B.A. (2002) Caracterización mecánica tribológica del al 606116t y del al 6061t651 con recubrimiento de fosfato de cromo, tesis maestrías, SEPI ESIME IPN, MEXICO.

[8] Raymond G.(1994) Bayer mechanical wear prediction and prevention Edit Marcel Dekker USA

[9] Ochoa, R. R (2009) Aspectos teóricos sobre el desgaste abrasivo en los elementos http://site.ebrary.com/lib/utasp/docDetail.action?docID=10311955&p00=desgaste%20abrasivo.

[10] Coronado, J. J (2006) Estudio tribológico en chumaceras y ejes de molino de caña de azúcar http://site.ebrary.com/lib/utasp/docDetail.action?docID=10127270&p00=desgaste+abrasivo.

[11] Márquez, M. A. L. (2002). Diseño de una máquina tribológica para pruebas de desgaste abrasivo severo (Doctoral dissertation, Tesis de Maestría, SEPI ESIME IPN, México).

[12] Holguin, C. (1998)Estudio del desgaste por deslizamiento en bronces. http://search.scielo.org/?q=desgaste%20de%20bronces&where=ORG

[13] Enthoven, J. C. (2008) Temperature and scuffing http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10402009308983157#.Uq-KkvTuJZ8

[14] Bailey, M. W. (2008). The effects of temperature and metal pairs on scuffing. http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/05698197308982713#.Uq-L4_TuJZ8

[15] Pérez, J. A. (2011) Influencia de la microestructura en el comportamiento a desgaste abrasivo evaluado bajo norma ASTM G-65 de depósitos de soldadura antidesgaste aplicados sobre sustratos de acero de baja aleación y bajo carbono**.** (Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica Bogotá D.C. Colombia)

[16] HUTCHINGS I. M. (2002)"Tribology Friction and wear of Engineering materials. Ed Edward Arnold.

[17] V.H. Guerrero, J. Dávila, S. Gales, P. Ponton, N Rosas. Quito 2011. Nuevos Materiales: Aplicaciones estructurales e industriales, Primera Edición, ISBN**:** 978-9978-383-20-9

[18] Ferreiro, L. (1998) Técnicas de ensayo de desgaste. Universidad de Coruña. España.

[19] Marulanda, A. (2009) Construcción de una máquina para ensayos de desgaste abrasivo, según Norma Técnica ASTM G-65. Colombia.

[20] Niebles, E. (2009) Metodología para el diseño y construcción de una máquina para medición de desgaste abrasivo basado en la norma ASTM G-65. Ediciones Uninorte. Barranquilla.

ANEXOS

Anexo A.

Norma ASTMG-65

Designation: G 65 – 04

Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus[1]

This standard is issued under the fixed designation G 65; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers laboratory procedures for determining the resistance of metallic materials to scratching abrasion by means of the dry sand/rubber wheel test. It is the intent of this test method to produce 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 millimetres for the particular test procedure specified. Materials of higher abrasion resistance will have a lower volume loss.

NOTE 1—In order to attain uniformity among laboratories, it is the intent of this test method to require that volume loss due to abrasion be reported only in the metric system as cubic millimetres. 1 mm^3 = 6.102×10^{-5} in^3.

1.3 This test method covers five recommended procedures which are appropriate for specific degrees of wear resistance or thicknesses of the test material.

1.3.1 *Procedure A*—This is a relatively severe test which will rank metallic materials on a wide volume loss scale from low to extreme abrasion resistance. It is particularly useful in ranking materials of medium to extreme abrasion resistance.

1.3.2 *Procedure B*—A short-term variation of Procedure A. It may be used for highly abrasive resistant materials but is particularly useful in the ranking of medium- and low-abrasive-resistant materials. Procedure B should be used when the volume–loss values developed by Procedure A exceeds 100 mm^3.

1.3.3 *Procedure C*—A short-term variation of Procedure A for use on thin coatings.

1.3.4 *Procedure D*—This is a lighter load variation of Procedure A which is particularly useful in ranking materials of low-abrasion resistance. It is also used in ranking materials of a specific generic type or materials which would be very close in the volume loss rates as developed by Procedure A.

1.3.5 *Procedure E*—A short-term variation of Procedure B that is useful in the ranking of materials with medium- or low-abrasion resistance.

1.4 *This standard does not purport to address 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:* [2]

D 2240 Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness

E 11 Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes

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

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

G 40 Terminology Relating to Wear and Erosion

2.2 *American Foundrymen's Society Standards:*

AFS Foundry Sand Handbook, 7th Edition[3]

3. Terminology

3.1 *Definition:*

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

NOTE 2—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 6).[4]

[1] 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 1, 2004. Published November 2004. Originally approved in 1980. Last previous edition approved in 2000 as G 65 – 00$^{\varepsilon 1}$.

[2] For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

[3] Available from American Foundrymen's Society, Golf and Wolf Roads, Des Plaines, IL 60016.

[4] The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this test method.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, P.O. box G-700 West Conshohocken, Pennsylvania 19428-2959, United States

Anexo A1. Esquema para construcción de la máquina de ensayos abrasivos

4. Summary of Test Method

4.1 The dry sand/rubber wheel abrasion test (Fig. 1) involves the abrading of a standard test specimen with a grit of controlled size and composition. The abrasive is introduced between the test specimen and a rotating wheel with a chlorobutyl rubber tire or rim of a specified hardness. This test specimen is pressed against the rotating wheel at a specified force by means of a lever arm while a controlled flow of grit abrades the test surface. The rotation of the wheel is such that its contact face moves in the direction of the sand flow. Note that the pivot axis of the lever arm lies within a plane which is approximately tangent to the rubber wheel surface, and normal to the horizontal diameter along which the load is applied. The test duration and force applied by the lever arm is varied as noted in Procedure A through E. Specimens are weighed before and after the test and the loss in mass recorded. It is necessary to convert the mass loss to volume loss in cubic millimetres, due to the wide differences in the density of materials. Abrasion is reported as volume loss per specified procedure.

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 practice these conditions are standardized to develop a uniform condition of wear which has been referred to as scratching abrasion (1 and 2). The value of the practice lies in predicting the relative ranking of various materials of construction in an abrasive environment. Since the practice 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. Its value 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.

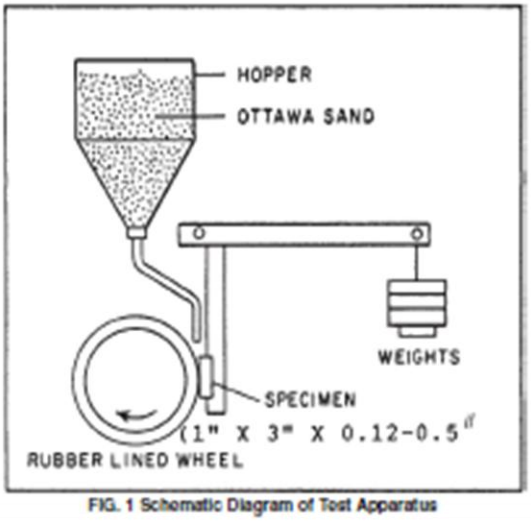


FIG. 1 Schematic Diagram of Test Apparatus

6. Apparatus and Material [5]

6.1 Fig. 2 shows a typical design and Fig. 3 and Fig. 4 are photographs of the test apparatus which may be constructed from readily available materials. Also, see Ref (2). 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 the shape, positioning and the size opening of the sand nozzle, and a suitable lever arm system to apply the required force.

6.2 *Rubber Wheel*—The wheel shown in Fig. 5 shall consist of a steel disk with an outer layer of chlorobutyl rubber molded to its periphery. Uncured rubber shall be bonded to the rim and fully cured in a steel mold. The optimum hardness of the cured rubber is Durometer A-60. A range from A58 to 62 is acceptable. At least four hardness readings shall be taken on the rubber approximately 90° apart around the periphery of the wheel using a Shore A Durometer tester in accordance with Test Method D 2240. The gage readings shall be taken after a dwell time of 5 s. The recommended composition of the rubber and a qualified molding source is noted in Table 1. (See 9.9 for preparation and care of the rubber wheel before and after use and see Fig. 2 and Fig. 5.)

6.3 *Abrasive*—The type of abrasive shall be a rounded quartz grain sand as typified by AFS 50/70 Test Sand (Fig. 6).[6] The moisture content shall not exceed 0.5 weight %. Sand that has been subjected to dampness or to continued high relative humidity may take on moisture, which will affect test results. Moisture content may be determined by measuring the weight loss after heating a sample to approximately 120°C (250°F) for 1 h minimum. If test sand contains moisture in excess of 0.5 % it shall be dried by heating to 100°C (212°F) for 1 h minimum and the moisture test repeated. In high-humidity areas sand may be effectively stored in constant temperature and humidity rooms or in an enclosed steel storage bin equipped with a 100-W electric bulb. Welding electrode drying ovens, available from welding equipment suppliers are also suitable. Multiple use of the sand may affect test results and is not recommended. AFS 50/70 Test Sand is controlled to the following size range using U.S. sieves (Specification E 11).

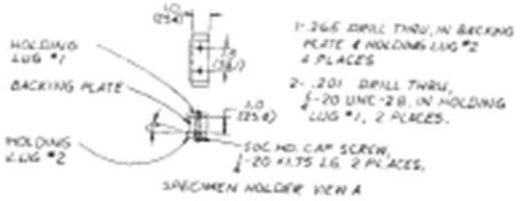
U.S. Sieve Size	Sieve Opening	% Retained on Sieve
40	425 μm (0.0165 in.)	none
50	300 μm (0.0117 in.)	5 max
70	212 μm (0.0083 in.)	95 min
100	150 μm (0.0059 in.)	none passing

6.4 *Sand Nozzle*—Fig. 7 shows the fabricated nozzle design which was developed to produce an accurate sand flow rate and

[5] Original users of this test method fabricated their own apparatus. Machines are available commercially from several manufacturers of abrasion testing equipment.

[6] Available from U.S. Silica Co., P.O. Box 577, Ottawa, IL 61350. Sand from other sources was not used in the development of this test method and may give different results.

Anexo A2. Aparato de prueba de arena seca de goma de la rueda a la abrasión



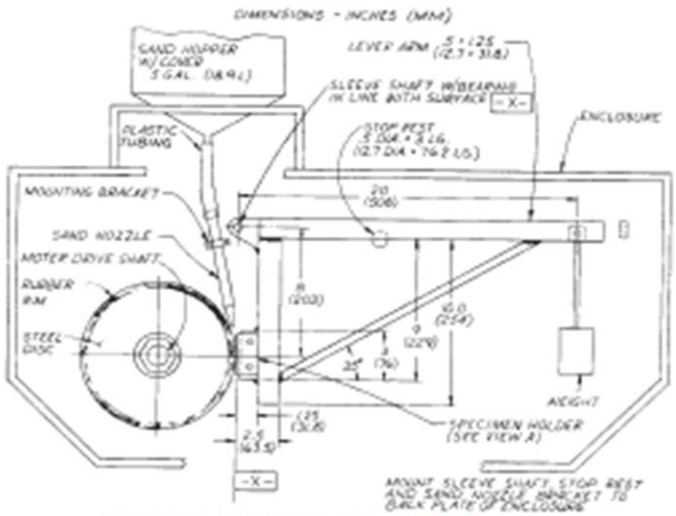


FIG. 2 Dry Sand/Rubber Wheel Abrasion Test Apparatus

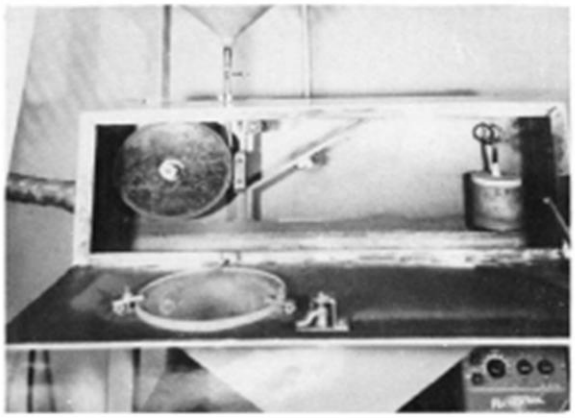


FIG. 3 Wheel and Lever Arm

proper shape of sand curtain for test procedures. The nozzle may be of any convenient length that will allow for connection to the sand hopper using plastic tubing. In new nozzles, the r of sand flow is adjusted by grinding the orifice of the nozzle

Anexo A3. Rueda de goma

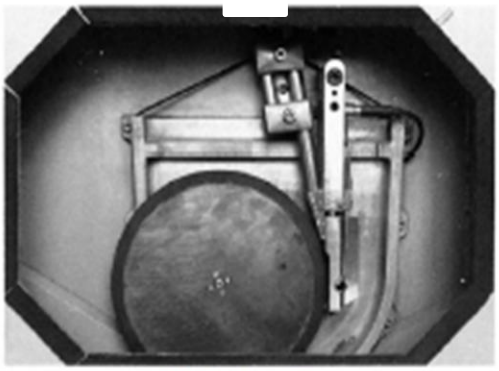


FIG. 4 Enclosure Frame

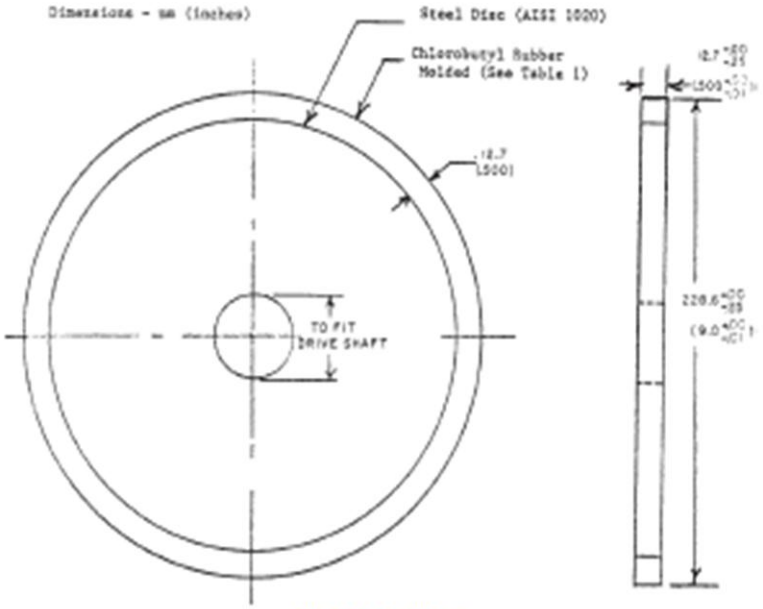


FIG. 5 Rubber Wheel

increase the width of the opening to develop a sand flow rate of 300 to 400 g/min. During use, the nozzle opening must be positioned as close to the junction of the test specimen and the rubber wheel as the design will allow. (See Fig. 8.)

6.4.1 Any convenient material of construction that is available as welded or seamless pipe may be used for the construction of the fabricated nozzle. Stainless steel is preferred because of its corrosion resistance and ease of welding. Copper and steel are also used successfully.

6.4.2 *Formed Nozzle*—Nozzles formed from tubing may be used only when they duplicate the size and shape (rectangular orifice and taper), and the sand flow characteristics (flow rate and streamlined flow) of the fabricated nozzle. (See Fig. 7 and Fig. 9.)

6.4.3 *Sand Flow*—The nozzle must produce a sand flow rate of 300 to 400 g/min (0.66 to 0.88 lb/min).

6.4.4 *Sand Curtain*—Fig. 9 shows the proper stream-lined flow and the narrow shape of the sand curtain as it exits from the sand nozzle. A turbulent sand flow as depicted in Fig. 10 will tend to produce low and inconsistent test results. It is intended that the sand flows in a streamlined manner and passes between the specimen and rubber wheel.

Anexo A4. Preparación de la muestra

TABLE 1 Formula for Chlorobutyl Rubber[A]

NOTE—Specific gravity of mix: 1.15. Pressure cure: 20 min at 160°C (320°F).

Materials	Proportions by Weight
Chlorobutyl No. HT 10-66 (Enjay Chemical)	100
Agerite Stalite-S	1
HAF black	60
Circolight oil	5
Stearic acid	1
Zinc oxide	5
Ledate	2

[A] The sole source of supply known to the committee at this time is Action Rubber Co., Inc., 601 Fame Rd., Dayton, OH 45449. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend.

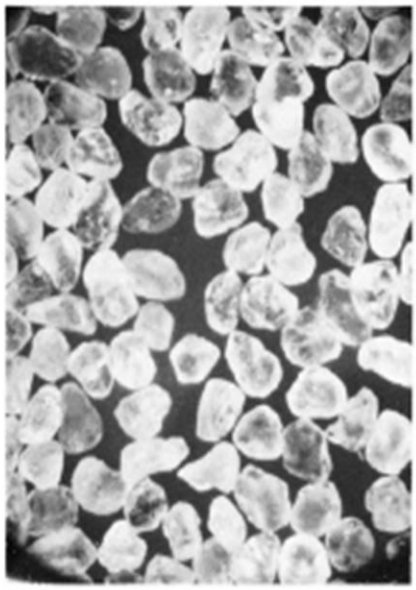


FIG. 6 25X Magnification AFS 50/70 Test Sand Ottawa Silica Co.

6.5 *Motor Drive*—The wheel is driven by a nominally 0.7-kW (1-hp) dc motor through a 10/1 gear box to ensure that full torque is delivered during the test. The rate of revolution (200 ± 10 rpm) must remain constant under load. Other drives producing 200 rpm under load are suitable.

6.6 *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 (Section 9). 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 12 000 revolutions is attained.

6.7 *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 number of weights must be available to apply the appropriate force (Table 2) between the test specimen and the wheel. The actual weight required should not be calculated, but rather should be determined by direct measurement by noting the load required to pull the specimen holder away from the wheel. A convenient weight system is a can filled with sand (see Fig. 2).

6.8 *Analytical Balance*—The balance used to measure the loss in mass of the test specimen shall have a sensitivity of 0.001 g. Procedure C requires a sensitivity of 0.0001 g.

6.9 *Enclosure, Frame, and Abrasive Hopper*—Fig. 3 and Fig. 4 are photographs of a typical test apparatus. The size and shape of the support elements, enclosure, and hopper may be varied according to the user's needs.

7. Specimen Preparation and Sampling

7.1 *Materials*—It is the intent of this test method to allow for the abrasion testing of any material form, including wrought metals, castings, forgings, gas or electric weld overlays, plasma spray deposits, powder metals, metallizing, electroplates, cermets, ceramics and so forth. The type of material will, to some extent, determine the overall size of the test specimen.

7.2 *Typical Specimen*, a rectangular shape 25 by 76 mm (1.0 by 3.0 in.) and between 3.2 and 12.7 mm (0.12 and 0.50 in.) thick. The size may be varied according to the user's need with the restriction that the length and width be sufficient to show the full length of the wear scar as developed by the test. The test surface should be flat within 0.125 mm (0.005 in.) maximum.

7.3 *Wrought, Cast, and Forged Metal*—Specimens may be machined to size directly from the raw material.

7.4 *Electric or Gas 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. The heat of welding may distort the test specimen. When this occurs, the specimen may be mechanically straightened or ground, or both. In order to develop a suitable wear scar, the surface to be abraded must be ground flat to produce a smooth, level surface at least 63.4 mm (2.50 in.) long and 19.1 mm (0.75 in.) for the test. (See 7.5.) Note that the welder technique, heat input of welds, and the flame adjustment of gas welds will have an effect on the abrasion resistance of a weld deposit.

7.5 *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. Typical suitable surfaces are mill-rolled surfaces such as are present on cold-rolled steel, electroplated and similar deposits, ground surfaces, and finely machined or milled surfaces. A ground surface finish of approximately 0.8 μm (32 μin.) or less is acceptable. The type of surface or surface preparation shall be stated in the data sheet.

8. Test Parameters

8.1 Table 2 indicates the force applied against the test specimen and the number of wheel revolutions for test Procedures A through E.

Anexo A5. Fabricación de la boquilla de arena

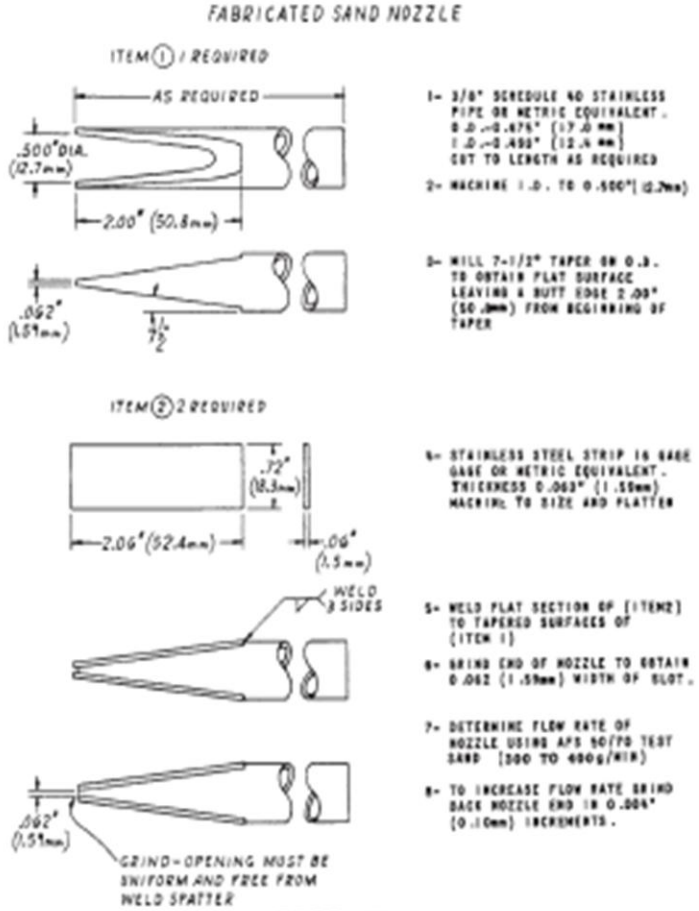


FIG. 7 Sand Nozzle

8.2 *Sand Flow*—The rate of sand flow shall be 300 to 400 g/min (0.66 to 0.88 lb/min).

8.3 *Time*—The time of the test will be about 30 min for Procedures A and D, 10 min for Procedure B, 5 min for Procedure E, and 30 s for Procedure C, depending upon the actual wheel speed. In all cases the number of wheel revolutions and not the time shall be the controlling parameter.

8.4 *Lineal Abrasion*—Table 2 shows the lineal distance of scratching abrasion developed using a 228.6-mm (9-in.) diameter wheel rotating for the specified number of revolutions. As the rubber wheel reduces in diameter the number of wheel revolutions shall be adjusted to equal the sliding distance of a new wheel (Table 2) or the reduced abrasion rate shall be taken into account by adjusting the volume loss produced by the worn wheel to the normalized volume loss of a new wheel. (See 10.2.)

9. Procedure

9.1 *Cleaning*—Immediately prior to weighing, clean the specimen with a solvent or cleaner and dry. Take care to remove all dirt or foreign matter or both from the specimen. Dry materials with open grains (some powder metals or ceramics) to remove all traces of the cleaning solvent, which may have been entrapped in the material. Steel specimens having residual magnetism should be demagnetized or not used.

9.2 Weigh the specimen to the nearest 0.001 g (0.0001 g for Procedure C).

9.3 Seat the specimen securely in the holder and add the proper weights to the lever arm to develop the proper force pressing the specimen against the wheel. This may be measured accurately by means of a spring scale which is hooked around the specimen and pulled back to lift the specimen away from the wheel. A wedge should be placed under the lever arm so that the specimen is held away from the wheel prior to start of test. (See Fig. 2.)

9.4 Set the revolution counter to the prescribed number of wheel revolutions.

9.5 *Sand Flow and Sand Curtain*—The rate of sand flow through the nozzles shall be between 300 g (0.66 lb)/min and

Anexo A6. Cálculos y notificación de resultados

FIG. 8 Position of Sand Nozzle

400 g (0.88 lb)/min. Do not start the wheel rotation until the proper uniform curtain of sand has been established (see Fig. 9 and Note 3).

9.5.1 The dwell time between tests shall be the time required for the temperature of the rubber wheel to return to room temperature. For Procedure B the dwell time shall be at least 30 min.

9.6 Start the wheel rotation and immediately lower the lever arm carefully to allow the specimen to contact the wheel.

9.7 When the test has run the desired number of wheel revolutions, lift the specimen away from the wheel and stop the sand flow and wheel rotation. The sand flow rate should be measured before and after a test, unless a consistent flow rate has been established.

9.8 Remove the specimen and reweigh to the nearest 0.001 g (0.0001 g for Procedure C).

9.8.1 *Wear Scar*—Observe the wear scar and compare it to the photographs of uniform and nonuniform wear scars in Fig. 11. A nonuniform pattern indicates improper alignment of the rubber rim to the test specimen or an unevenly worn rubber wheel. This condition may reduce the accuracy of the test.

9.9 *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. Follow the same dressing procedure on used wheels that develop grooves or that wear unevenly so as to develop trapezoidal or uneven wear scars on the test specimen (Fig. 11). 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. The rubber wheel may be used until the diameter wears to 215.9 mm (8.50 in.). New rubber rims may be mounted on steel disks by the qualified source (6.2).

9.10 *Wheel Dressing Procedure*—The preferred dressing procedure for the periphery of the rubber rim is to mount a diamond-cut file[7] in place of the specimen in the holder and run the machine with load until the wheel is clean. Another dressing procedure for the periphery of the rubber rim is to mount the wheel on a lathe, and machine the surface with a tool bit especially ground for rubber applications. Grind a carbide or high-speed steel tool bit to very deep rake angles (Fig. 12). Feed the tool across the rubber surface in the opposite direction from that normally used for machining steel. This allows the angular surface of the tool bit to shear away thin layers of rubber without tearing or forming grooves in the rubber as would occur when using the pointed edges of the tool. The recommended machining parameters are: *Feed*—25 mm/min (1.0 in./min); *Speed*—200 rpm; *Depth of Cut*—0.254 mm (0.010 in.) to 0.762 mm (0.030 in.). The dressed wheel should be first used on a soft carbon steel test specimen (AISI 1020 or equivalent) using Procedure A. This results in a smooth, uniform, non-sticky surface. An alternative dressing method involves the use of a high-speed grinder on the tool post of a lathe. Take great care since grinding often tends to overheat and smear the rubber, leaving a sticky surface. Such a surface will pick up and hold sand particles during testing. If the grinding method is used, not more than 0.05 mm (0.002 in.) may be ground from the surface at one time so as to prevent overheating.

10. Calculating and Reporting Results

10.1 The abrasion test results should be reported as volume loss in cubic millimetres in accordance with the specified procedure used in the test. For example, ___mm^3 per ASTM__ Procedure ___. While mass loss results may be used internally in test laboratories to compare materials of equivalent densities, it is essential that all users of this test procedure report their results uniformly as volume loss in publications or reports so that there is no confusion caused by variations in density. Convert mass loss to volume loss as follows:

$$\text{Volume loss, mm}^3 = \frac{\text{mass loss (g)}}{\text{density (g/cm}^3\text{)}} \times 1000 \qquad (1)$$

10.2 *Adjusting the Volume Loss*—As the rubber wheel decreases in diameter the amount of scratching abrasion developed in a given practice will be reduced accordingly. The actual volume loss produced by these slightly smaller wheels will, therefore, be inaccurate. The "adjusted volume loss" value takes this into account and indicates the actual abrasion rate that would be produced by a 228.6-mm (9.00-in.) diameter wheel. Calculate the adjusted volume loss (AVL) as follows:

[7] The sole source of supply known to the committee at this time is Falex Corp., 1020 Airpark Dr., Sugar Grove, IL 60554. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend.

Anexo A7. Parámetros de las pruebas

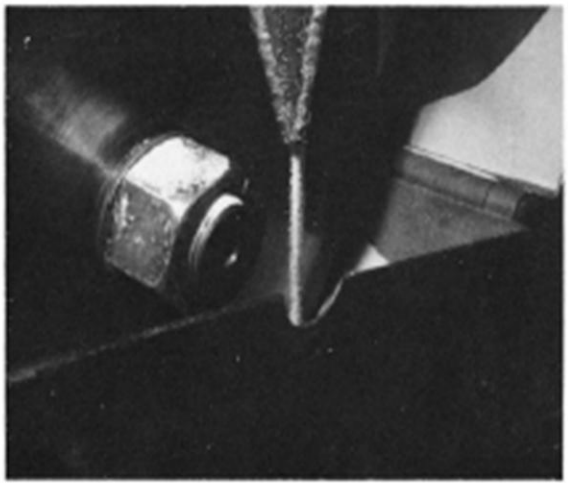


FIG. 9 Sand Flow—Streamlined

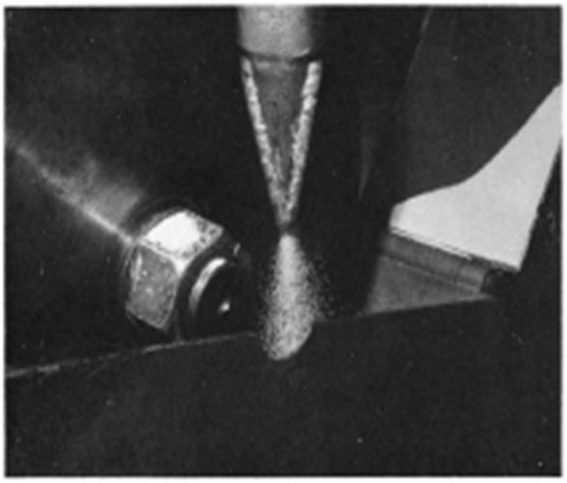


FIG. 10 Sand Flow—Turbulence

$$\text{AVL} = \text{measured volume loss} \times \frac{228.6\text{ mm (9.00 in.)}}{\text{wheel diameter after use}} \quad (2)$$

10.3 *Reporting Test Results*—All significant test parameters and test data as noted in Tables 2 and 3 shall be reported. Any variation from the recommended procedure must be noted in the comments. The report shall include a statement of the current precision and accuracy of the test apparatus as qualified by the testing of Reference Materials (11.6). The volume loss data developed by the initial qualification tests (11.4) or the volume loss data developed by the periodic re-qualification tests (11.4.3) should be listed on the data sheet (Table 3).

TABLE 2 Test Parameters

Specified Procedure	Force Against Specimen,[B] N (lb)	Wheel Revolutions	Lineal Abrasion[A] m	(ft)
A	130 (30)	6000	4309	(14 135)
B	130 (30)	2000	1436	(4 711)
C	130 (30)	100	71.8	(236)
D	45 (10.1)	6000	4309	(14 135)
E	130 (30)	1000	718	(2 260)

[A] See 8.4.

N = Newton (SI metric term for force)
1 lbf = 4.44822 N
1 Kgf = 9.806650 N
[B] Force tolerance is ±2 %.

Anexo A8. Probetas ensayadas

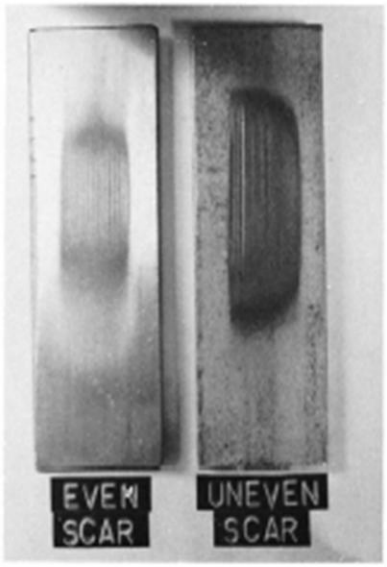


FIG. 11 Typical Wear Scars Uneven and Nonuniform Wear Scars Indicate Improper Alignment or Wear of Rubber Wheel

11. Precision and Bias

11.1 The precision and bias of the measurements obtained with this test method will depend upon strict adherence to the stated test parameters and maintenance of the proper sand flow rate and sand curtain throughout the duration of the test.

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, rubber wheel characteristics, and procedure will tend to reduce the accuracy of this test method as compared to the accuracy of such material property tests as hardness or density.

11.4 *Initial Machine Operation and Qualification*—The number of tests to establish precision and bias of the apparatus for initial machine operation shall be at least five. After initial qualification, a minimum of three tests may be used to periodically monitor precision and bias. These tests shall be made using Reference Materials (11.6) and the statistical caculations made, using formulas described in Practice E 122.

11.4.1 Tables X1.1 and X1.2 show representative coefficients of variation or standard deviations, or both, which were obtained in the interlaboratory tests. The coefficient of variation or the standard deviation, or both, for reference materials shall not exceed the values reported. If this value is exceeded, the machine operation shall be considered out of control and steps taken to eliminate erratic results.

11.4.2 The coefficient of variation tends to be higher for materials with volume losses in the range from 1 to 5 mm^3. In such cases, the coefficient of variation is about 20 %.

11.4.3 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.

11.4.4 *Re-Qualification of Apparatus*—After the test apparatus has been initially qualified, it is required that one or more standard reference materials be periodically tested to ensure the accuracy of the data generated by the apparatus. This is particularly necessary when new test operators are involved or when the apparatus is not used on a regular basis. Re-qualification is also required for interlaboratory testing and for the qualification of materials as specified in customer and vendor contracts.

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 in Practices E 122, E 177, and Manual MNL 7.[8]

11.6 *Reference Materials*—Reference materials[9] may be used for periodic monitoring of the test apparatus and procedures in individual laboratories.

11.6.1 While any of the four test procedures (Table 2) may be used on reference materials, it is recommended that Procedure A be used for the more abrasion-resistant materials such as AISI D-2 Tool Steel. When Procedure A volume loss values exceed 100 mm^3 in materials such as annealed low-carbon steel, greater accuracy in material ranking can be obtained by using Procedures B or D.

11.6.2 *Three Types of Reference Materials*:

11.6.2.1 *AISI D-2 Tool Steel (Nonfree-Machining Type)*—This is Reference Material No. 1 for Procedure A.[10]

(a) Harden 1010°C (1850°F)—25 min at temperature.

(b) Air cool to room temperature.

(c) Temper as required to acheive a final hardness of 58.5–60.5 HRC.

(d) Procedure A, qualifying volume loss range—36 ± 5 mm^3.

11.6.2.2 *AISI H-13 Tool Steel*—This is Reference Material No. 2 for Procedure B.[11]

(a) Harden 1010/1024°C (1850/1875°F) in neutral salt bath 25 min at temperature.

(b) Air cool to room temperature.

(c) Double temper at 593°C (1100°F) for 2 h and 2 h. Air cool between tempers. Hardness 47–48 HRC.

---

[8] *Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis, ASTM MNL 7*, ASTM.

[9] Contact the Office of Standard Reference Materials, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, or ASTM Headquarters.

[10] For information on D02 Tool Steel, Standard Reference Material No. 1857, contact the Office of Standard Reference Materials, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899.

[11] For information on H–13 Tool Steel and 4340 steel contact ASTM Headquarters, Subcommittee G02.30. A qualified source for test specimen is 1020 Airpark Dr., Sugar Grove, IL 60554.

Anexo A9. Ficha de datos y herramienta de la rueda

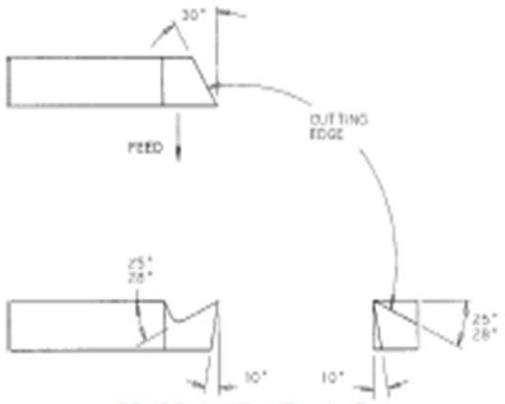


FIG. 12 Typical Wheel Dressing Tool

TABLE 3 Data Sheet

Dry Sand/Rubber Wheel Test
ASTM G-65 Procedure ____

Qualification of Apparatus (11.4): Date
Reference Materials: Quantity
Adjusted Volume Loss (avg) ____ mm³ Coefficient of Variation ____ %

Test Data

Material Description: Wheel diameter:
Heat Treatment: Wheel width:
Hardness: Wheel hardness:
Surface Preparation

Test No.						
Test load						
Wheel revolutions						
Sand flow, g/min						
Initial mass, g						
Final mass, g						
Mass loss, g						
Density, g/cm³[A]						
Volume loss, mm³ (mass loss/density) × 1000						
Adjusted volume loss, mm³						

Comments:

Company Name Tested by Date

[A] Density of materials may be obtained from *ASM Metals Handbook*, Vol 1, 8th ed. or suppliers of materials.

(d) Procedure B, qualifying volume loss range—56 ± 4 mm³.

11.6.2.3 *AISI 4340 Steel*—This is Reference Material No. 3 for Procedures B or E.

(a) Normalizing heat treatment.

(b) Hardness 31-33 HRC.

(c) Procedure E, qualifying volume loss range—49 ± 3 mm³.

(d) Procedure B, qualifying volume loss range—91 ± 5 mm³.

11.6.3 Volume loss values for reference materials are developed in interlaboratory testing by the Abrasive Wear Task Group of ASTM Subcommittee G02.30.[12] (See X1.3 for typical volume loss values of other materials.) It is the intent of Subcommittee G02.30 to develop several reference materials for abrasive wear testing.

[12] Supporting data available from ASTM Headquarters. Request RR:G02-1006.

Anexo A10. Algunas consideraciones estadísticas en las pruebas de abrasión

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SOME STATISTICAL CONSIDERATIONS IN ABRASION TESTING

X1.1 Background

X1.1.1 The Dry Sand/Rubber and Wheel Abrasion Test as developed and described by Haworth, Avery, and others (1-7) has been in various stages of evolution and use since 1960. 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 hard surfacing 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, Subcommittee G02.30 formed a task group to study the effect of each test parameter on the overall results within individual laboratories and among all laboratories as a group. While standardization of test parameters was attained, it became evident that the variability or experimental error inherent in each laboratory was a factor that must be considered. Not only must the test method, apparatus, and individual operator generate repeatable results, but the test results must be consistently reproducible within an acceptable range. Another important consideration in establishing repeatable and reproducible test results was the selection of an 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 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, MNL 7, and in the references.

X1.2 Statistical Equations

X1.2.1 Several equations for the calculation of standard deviation and coefficient of variation are used in the statistical analysis of data shown in Table X1.1. To ensure uniformity among laboratories using the dry sand/rubber wheel test, the standard deviation and coefficient of variation of results produced from a series of tests should be calculated by the following equations:

$$S_r = \sqrt{\frac{1}{p}(\Sigma\, S_j^2)} \qquad \text{(X1.1)}$$

d = deviations from average, $(x_j - \bar{x})$

S_x = $\sqrt{\Sigma(d^2)/p - 1}$

S_L = $\sqrt{(S_x^2) - (S_r^2)}$; S_L = 0 if the quantity under the root sign is negative.

S_R = $\sqrt{(S_r^2) + (S_L^2)}$, is the reproducibility standard deviation of the test method for the parameter measured.

$V_r(\%)$ = $100(S_r)/(\bar{x})$, the estimated relative standard deviation or coefficient of variation within a laboratory for the parameter measured (repeatability).

$V_L(\%)$ = $100(S_L)/(\bar{x})$, the estimated relative standard deviation or coefficient of variation between laboratories for the parameter measured (reproducibility).

where:

p = number of laboratories,

n = number of replicate tests,

x_j = average of n number of replicate tests of each, laboratory of parameter j,

S_j = standard deviation,

$\bar{x}$ = average of x_j's for all laboratories of each parameter,

S_r = estimated repeatability standard deviation within, and a laboratory for each parameter measured.

X1.3 Typical Volume Loss Values

X1.3.1 Procedure A of the Dry Sand/Rubber Wheel Test will produce volume losses in metallic materials ranging from 0.25 to 250 mm^3. The more abrasion-resistant materials will develop the least volume loss. Table X1.2 shows typical volume loss ranges that may be expected in the metals listed. They are offered as guidelines only and not as purchasing specifications or as standard reference specimens. Any material

TABLE X1.1 Statistical Analyses of Interlaboratory Test Results

Round-Robin Test Conditions	Specified Procedure	Number of Samples	Average, mm^3	Standard Deviation Within, mm^3	Standard Deviation Between, mm^3	Coefficient of Variation Within, %	Coefficient of Variation Between, %	Coefficient of Variation Total, %	Standard Deviation Total, mm^3
RR No. 15 4340 steel	E	3	51.63	1.67	0.75	3.2	1.5	3.5	1.83
RR No. 14A and 14B 4340 steel	E	3	47.74	1.54	2.46	3.9	5.2	6.04	3.07
RR No. 14A and 14B 4340 steel	B	3	91.08	2.18	4.96	2.4	3.5	6	5.44
RR No. 12 WC-14 weight % CO 0.010 in. thick	A	4	2.18	0.14	0.42	6.4	19.3	20.4	0.44
RR No. 14 hard-chrome plating 0.010 in. thick	C	3	1.23	0.1	0.25	7.4	19.1	20.5	0.27

Anexo A11. Algunas consideraciones estadísticas en las pruebas de abrasión

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SOME STATISTICAL CONSIDERATIONS IN ABRASION TESTING

X1.1 Background

X1.1.1 The Dry Sand/Rubber and Wheel Abrasion Test as developed and described by Haworth, Avery, and others (1-7) has been in various stages of evolution and use since 1960. 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 hard surfacing 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, Subcommittee G02.30 formed a task group to study the effect of each test parameter on the overall results within individual laboratories and among all laboratories as a group. While standardization of test parameters was attained, it became evident that the variability or experimental error inherent in each laboratory was a factor that must be considered. Not only must the test method, apparatus, and individual operator generate repeatable results, but the test results must be consistently reproducible within an acceptable range. Another important consideration in establishing repeatable and reproducible test results was the selection of an 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 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, MNL 7, and in the references.

X1.2 Statistical Equations

X1.2.1 Several equations for the calculation of standard deviation and coefficient of variation are used in the statistical analysis of data shown in Table X1.1. To ensure uniformity among laboratories using the dry sand/rubber wheel test, the standard deviation and coefficient of variation of results produced from a series of tests should be calculated by the following equations:

$$S_r = \sqrt{\frac{1}{p}(\Sigma\, S_j^2)} \qquad \text{(X1.1)}$$

d = deviations from average, $(x_j - \bar{x})$

S_x = $\sqrt{\Sigma(d^2)/p - 1}$

S_L = $\sqrt{(S_x^2) - (S_r^2)}$; S_L = 0 if the quantity under the root sign is negative.

S_R = $\sqrt{(S_r^2) + (S_L^2)}$, is the reproducibility standard deviation of the test method for the parameter measured.

$V_r(\%)$ = $100(S_r)/(\bar{x})$, the estimated relative standard deviation or coefficient of variation within a laboratory for the parameter measured (repeatability).

$V_L(\%)$ = $100(S_L)/(\bar{x})$, the estimated relative standard deviation or coefficient of variation between laboratories for the parameter measured (reproducibility).

where:

p = number of laboratories,

n = number of replicate tests,

x_j = average of n number of replicate tests of each, laboratory of parameter j,

S_j = standard deviation,

$\bar{x}$ = average of x_j's for all laboratories of each parameter,

S_r = estimated repeatability standard deviation within, and a laboratory for each parameter measured.

X1.3 Typical Volume Loss Values

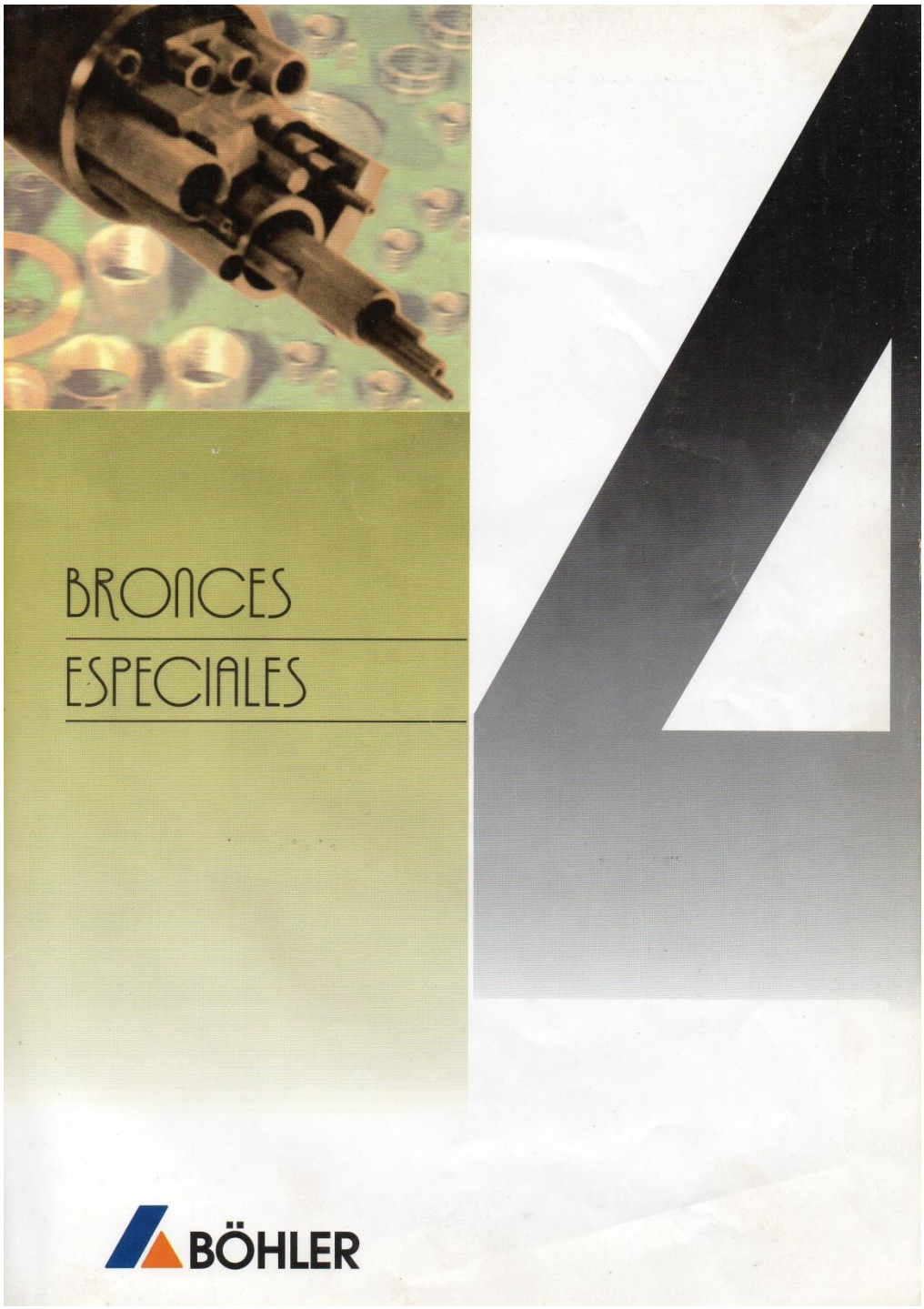
X1.3.1 Procedure A of the Dry Sand/Rubber Wheel Test will produce volume losses in metallic materials ranging from 0.25 to 250 mm^3. The more abrasion-resistant materials will develop the least volume loss. Table X1.2 shows typical volume loss ranges that may be expected in the metals listed. They are offered as guidelines only and not as purchasing specifications or as standard reference specimens. Any material

TABLE X1.1 Statistical Analyses of Interlaboratory Test Results

Round-Robin Test Conditions	Specified Procedure	Number of Samples	Average, mm^3	Standard Deviation Within, mm^3	Standard Deviation Between, mm^3	Coefficient of Variation Within, %	Coefficient of Variation Between, %	Coefficient of Variation Total, %	Standard Deviation Total, mm^3
RR No. 15 4340 steel	E	3	51.63	1.67	0.75	3.2	1.5	3.5	1.83
RR No. 14A and 14B 4340 steel	E	3	47.74	1.84	2.46	3.9	5.2	6.04	3.07
RR No. 14A and 14B 4340 steel	B	3	91.06	2.18	4.98	2.4	3.5	6	5.44
RR No. 12 WC-14 weight % CO 0.010 in. thick	A	4	2.18	0.14	0.42	6.4	19.3	20.4	0.44
RR No. 14 hard-chrome plating 0.010 in. thick	C	3	1.33	0.1	0.25	7.4	19.1	20.5	0.27

Anexo 2

Característica de los materiales ensayados.



SAE 64

Bronce al Estaño Plomo
(rojo – blanco)
ASTM B505
UNS C 93700
Cu80 Sn10 Pb10

Aplicaciones:

Bronce al estaño plomado que le confiere una excelente resistencia al desgaste, al ser el plomo un lubricante sólido. Para la construcción de cojinetes, bujes y bocines para altas velocidades y fuertes presiones, bombas, impulsores, aplicaciones donde se requiera alta resistencia a la corrosión, fundiciones a presión, bujes para molinos, hornos de cemento, troqueladoras, laminadoras, compresores, bujes con babbit.

Propiedades Mecánicas:

Resistencia a la tracción:		35.000 psi (240 MPa)
Resistencia a la deformación permanente:		18.000 psi (125 MPa)
Elongación:		20% en 50 mm
Dureza:		65 HB
Módulo elástico en tensión a 20 °C:		11.6 x 106 psi (82 GPa)
Resistencia al impacto, Izod, 7 J:		5 ft-lb
Resistencia a la fatiga:	13.000 psi (90 MPa) a	108 ciclos

Otras características:

Densidad a 20 °C:	8.95 g/cm3
Cambio de volumen por enfriamiento:	7.3%
Contracción en el modelo:	11 mm/m
Maquinabilidad:	80% del C36000
Temperatura de alivio de tensiones:	260 °C

SAE 64

MEDIDAS EN STOCK:

Redondo macizo mm	Peso aprox. Kg/plancha
12,70	1,14
15,90	1,79
19,10	2,58
22,20	3,48
25,40	4,56
31,80	7,15
38,10	10,26
44,40	13,93
50,80	18,24
76,20	41,04
101,60	72,97

SAE 40

Metal cañon al plomo (rojo)
ASTM B30, B62
B271, B505, B584
UNS C 83600 Cu85 Sn5 Zn5 Pb5

Aplicaciones:

Bronce conocido como fosfórico, aunque en realidad es un bronce al estaño, excelente para piezas de usos generales, para piezas que requieren una resistencia mecánica moderada y buena maquinabilidad, tales como: piñones pequeños, cuerpos de válvulas para baja presión, accesorios para tubería, accesorios para tubería de gasolina y aceite, accesorios para equipos de incendio, pequeñas partes de bombas, herrajes para instalaciones sanitarias. Es un bronce de corte fácil.

Propiedades Mecánicas:

Resistencia a la tracción:	37.000 psi (255 MPa)
Resistencia a la deformación permanente:	17.000 psi (117 MPa)
Elongación:	30% en 50 mm
Dureza:	60 HB
Módulo elástico en tensión a 20 °C:	12 x 106 psi (83 GPa)
Resistencia al impacto, Izod, 14 J:	10 ft-lb
Charpy V-notch, 15 J:	11 ft-lb
Resistencia a la fatiga:	11.000 psi (73 MPa) a 108 ciclos
Resistencia a alta temperatura:	A 180 °C: 12.5 ksi (86 MPa) A 290 °C: 7 ksi (48 MPa)

Otras características:

Densidad a 20 °C: 8.83 g/cm3
Cambio de volumen por enfriamiento: 10.6%
Contracción en el modelo: 13 a 16 mm/m
Maquinabilidad: 84% del C36000

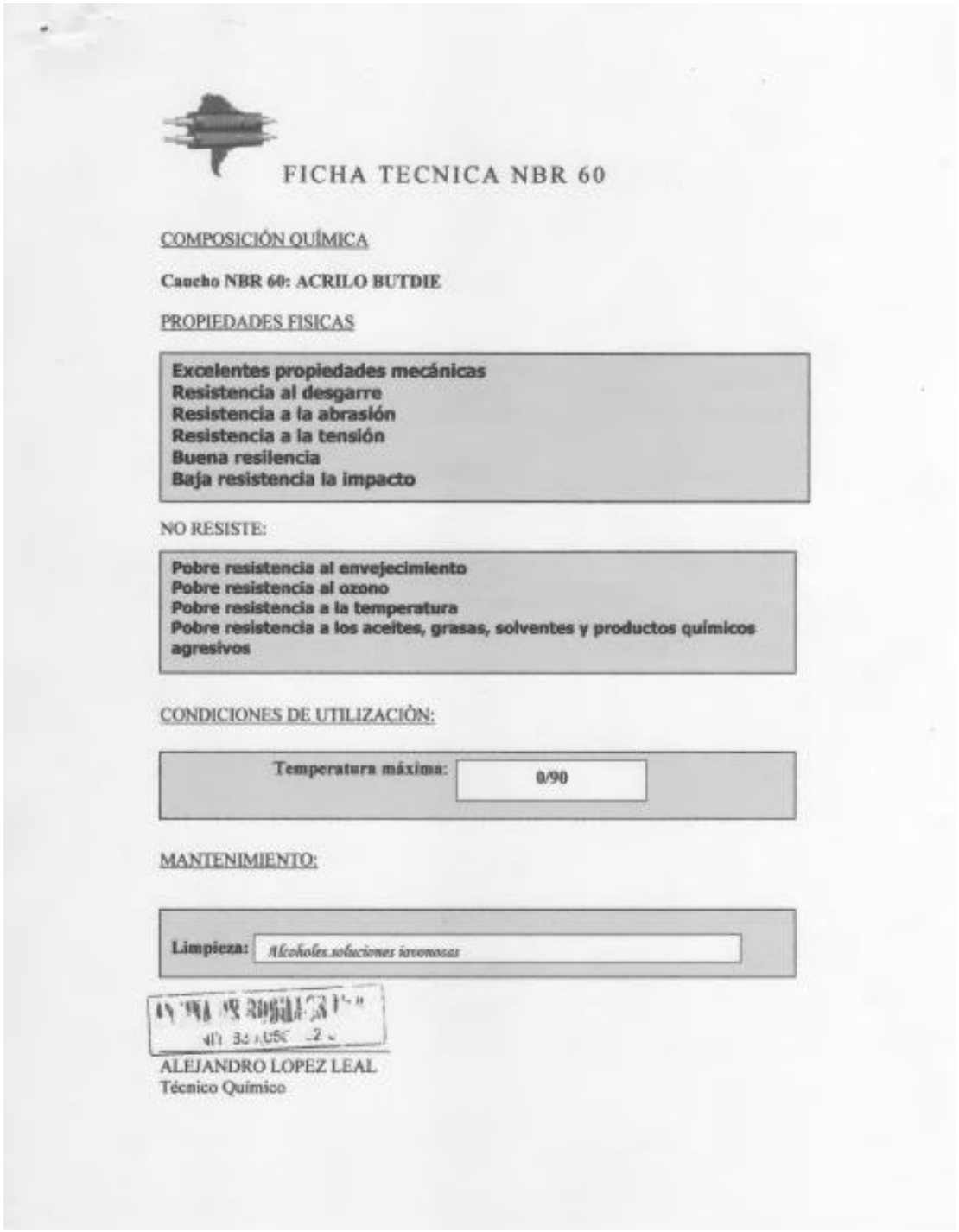
SAE 40

MEDIDAS EN STOCK:

Diámetro exterior mm	Diámetro interior mm	Peso aprox. Kg/m	Redondo macizo mm	Peso aprox. Kg/m
25,40	12,70	3,36	12,70	1,12
31,80	19,10	4,49	15,90	1,76
38,10	19,10	7,55	19,10	2,54
38,10	25,40	5,61	22,20	3,43
44,50	25,40	9,28	25,40	4,48
50,80	31,80	10,91	31,80	7,03
63,50	31,80	21,00	38,10	10,09
63,50	38,10	17,94	50,80	17,94
76,20	38,10	30,27	63,50	28,03

Anexo 3

Ficha Técnica del caucho de clorobutilo



FICHA TECNICA NBR 60

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Caucho NBR 60: ACRILO BUTDIE

PROPIEDADES FISICAS

Excelentes propiedades mecánicas
Resistencia al desgarre
Resistencia a la abrasión
Resistencia a la tensión
Buena resilencia
Baja resistencia la impacto

NO RESISTE:

Pobre resistencia al envejecimiento
Pobre resistencia al ozono
Pobre resistencia a la temperatura
Pobre resistencia a los aceites, grasas, solventes y productos químicos agresivos

CONDICIONES DE UTILIZACIÓN:

Temperatura máxima: 0/90

MANTENIMIENTO:

Limpieza: *Alcoholes soluciones iavonosas*

ALEJANDRO LOPEZ LEAL
Técnico Químico

Anexo 4

Propiedades físicas del caucho

TABLA DE LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS MATERIAS PRIMAS

ISO 1629 Elastómero base	NR Goma Natural	SBR Estireno–butadieno	EPDM Etileno–propileno	CR Cloropreno	NBR Nitrilo–butadieno	ACM Acrilato	VMQ Silicona	HNBR Nitrilo hidrogenado	FPM Fluoroelastómero	FVMQ Fluorosilicona
Dureza Shore A	30 – 95	40 – 95	30 – 85	30 – 80	40 – 90	50 – 85	40 – 80	50 – 90	50 – 90	40 – 80
Color	Negro	Negro	Gama amplia	Negro	Gama amplia	Negro	Gama amplia	Gama amplia	Gama amplia	Gama amplia
Resistencia al calor										
Continuo	75ºC	85ºC	130ºC	95ºC	100ºC	150ºC	160ºC	125ºC	205ºC	170ºC
En punta	105ºC	115ºC	150ºC	125ºC	130ºC	180ºC	180ºC	160ºC	220ºC	220ºC
Resistencia a las bajas temperaturas	–60ºC	–55ºC	–50ºC	–35ºC	–20ºC	–20ºC	–60ºC	–30ºC	–20ºC	–60ºC
Oxidación	Aceptable	Aceptable	Excelente	Muy Buena	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Ozono / Agentes atmosféricos	Baja	Baja	Excelente	Muy Buena	Aceptable	Excelente	Excelente	Muy Buena	Excelente	Excelente
Envejecimiento en Aceite										
ASTM #1 20ºC	Baja	Baja	Aceptable	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
ASTM #1 100ºC	Insatisfactoria	Insatisfactoria	Insatisfactoria	Buena	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Excelente	Excelente
ASTM #3 20ºC	Insatisfactoria	Insatisfactoria	Insatisfactoria	Buena	Excelente	Excelente	Buena	Aceptable	Excelente	Excelente
ASTM #3 100ºC	Insatisfactoria	Insatisfactoria	Insatisfactoria	Aceptable	Buena	Excelente	Aceptable	Aceptable	Excelente	Excelente
Resistencia a l carburante ASTM B a 40ºC:	Insatisfactoria	Insatisfactoria	Insatisfactoria	Baja	Aceptable	Baja	Muy Baja	–	Excelente	Aceptable
Resistencia a los solventes a 20ºC:										
Alcohol	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena
Acetona	Aceptable	Aceptable	Buena	Aceptable	Insatisfactoria	Insatisfactoria	Aceptable	Buena	Muy Baja	Muy Baja
Benzina	Buena	Buena	Buena	Aceptable	Aceptable	Baja	Aceptable	Buena	Buena	Aceptable
Resistencia a los productos químicos:										
Acidos	Aceptable	Aceptable	Buena	Buena	Buena	Baja	Aceptable	Buena	Excelente	Buena
Bases	Buena	Buena	Buena	Aceptable	Aceptable	Baja	Aceptable	Buena	Buena	Aceptable
Fuerza física	Excelente	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Baja	Buena	Buena	Baja
Compresion Set	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Resistencia al desgarro y a la abrasión	Excelente	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Baja	Muy Buena	Buena	Baja
Resiliencia	Excelente	Buena	Muy Buena	Muy Buena	Buena	Baja	Buena	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Permeabilidad al gas	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Baja	Baja	Muy Baja	Buena	Muy Baja	Muy Baja
Fuerza eléctrica	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Baja	Aceptable	Excelente	Baja	Buena	Excelente
Resistencia a la llama	Baja	Baja	Baja	Autoextinguible	Baja	Baja	Buena	Baja	Autoextinguible	Autoextinguible
Resistencia al agua	Muy Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Baja	Buena	Muy Buena	Buena	Buena

Otros materias primas como FFKM, TFEP, ECO, IIR, AU, PTFE, por favor consulten.

DIPAC®
PRODUCTOS DE ACERO

PLANCHAS GALVANIZADAS

Especificaciones Generales

Acero base : Calidad Comercial
o según tabla de Laminado al frío
Norma : ASTM A 653 (Norma de recubrimiento)
Espesores : 0,30 a 2,90
Rollos : X 1219 y flejes
Planchas : 4 X 8 y medidas especiales
Flor : Regular
Mínima
Zero

RECUBRIMIENTO	(TOTAL AMBAS CARAS)	
TIPO	oz / pie ^{2}	gr / m ^{2}
G-40	40	120
G-60	60	180
G-90	90	270

PRODUCTO/ MERCADO	COMERCIAL/CONSTRUCCION	INDUSTRIAL	LINEA BLANCA	AUTOMOTRIZ
Lámina Galvanizada	Techos y paredes, perfilería y tubería en general, polines, soportes de cielo falso, ductos de aire, silos para almacenar granos, accesorios para construcción, cortinas metálicas, señalizaciones de carretera, estructuras, techos y soportes de establecimientos.	Aire acondicionado, ventiladores de techo y ventana, tapas, extractores de humo, casas móviles, ductos, bisagras, recipientes, cajas eléctricas, pizarrones electrónicos, motores, latas, etc.	Respaldo de refrigeradores, estufas y lavadoras, soportes, bases, uniones, esquineros y accesorios de fijación y otras partes no expuestas.	Moflers, uniones, soportes, pisos, carter, guantera, portaestéreos, cielitos y otras partes no expuestas, etc.

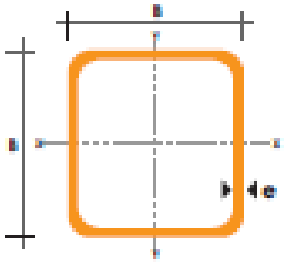
DIPAC®
PRODUCTOS DE ACERO

TUBO ESTRUCTURAL
CUADRADO

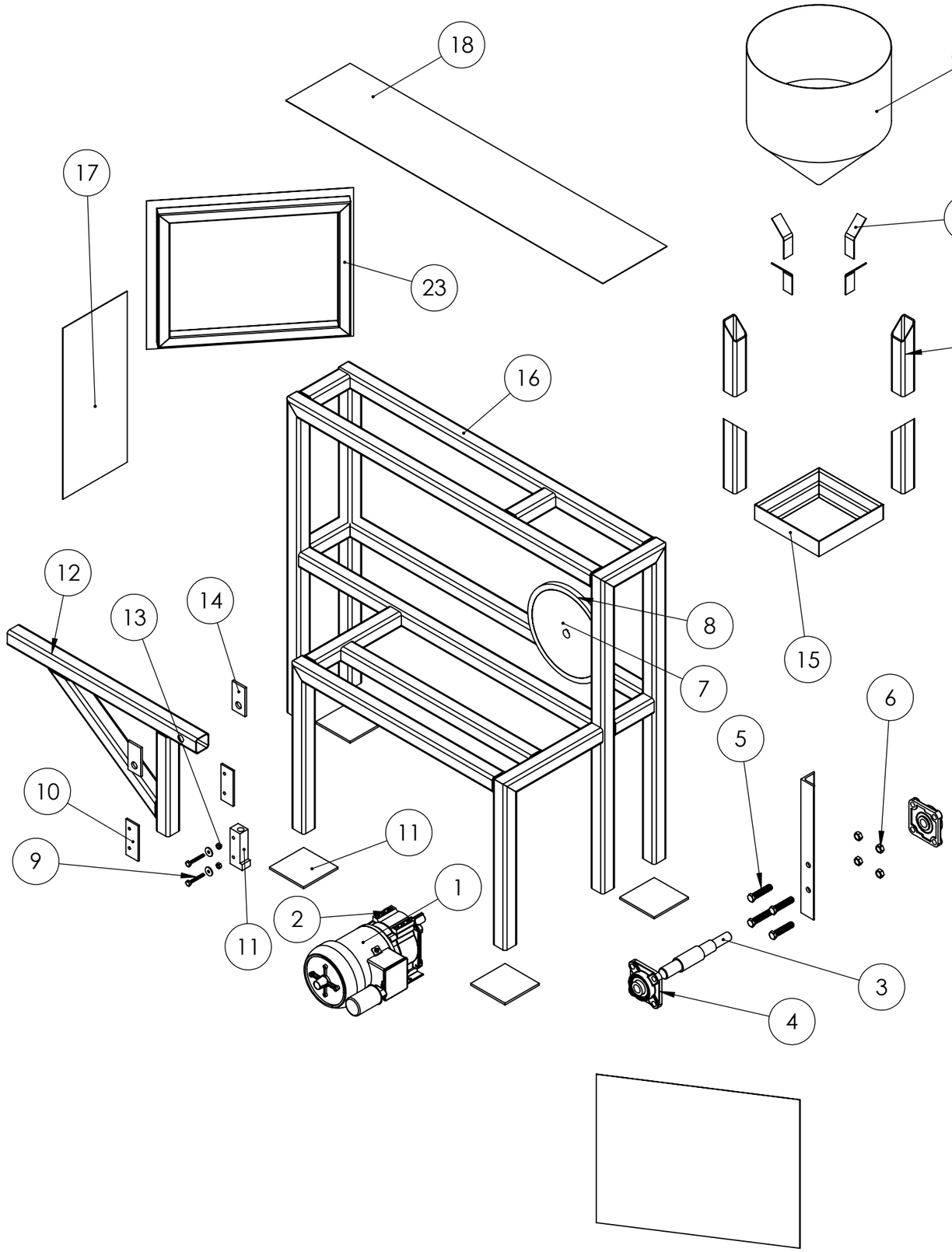
Especificaciones Generales

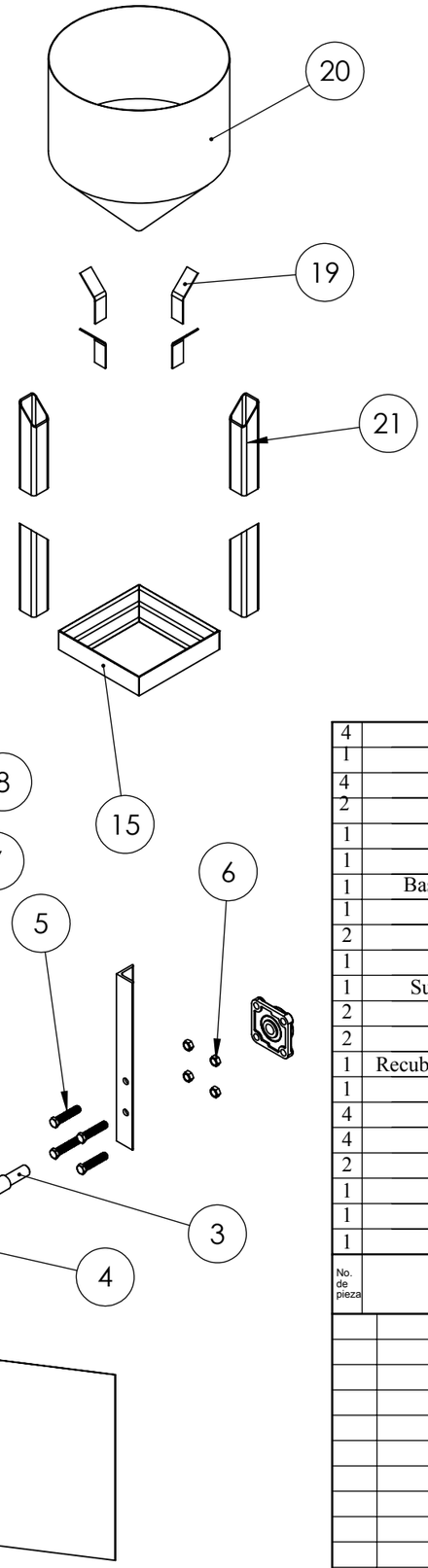
Norma	ASTM. A-500
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Largo normal	6 mts.
Otros largos	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 20mm a 100mm
Espesor	Desde 1,0mm a 3,0mm

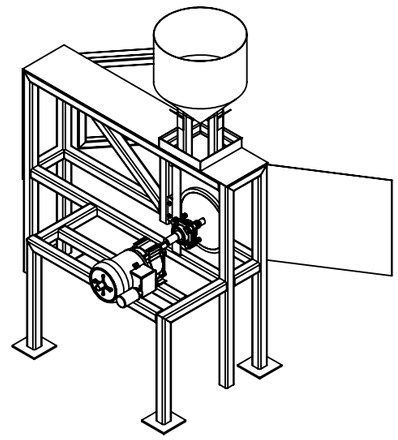
DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm2	I cm4	W cm3	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,13	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,76	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,36	2,19	1,55
40	1,5	1,82	2,25	5,46	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,20	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,81	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,96	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	178,95	35,79	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,35	270,57	54,11	3,84



PLANOS







No. de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	Codigo de dibujo	Peso Kg/pieza	Observaciones
4	Soporte tolva	36x24x912mm	ASTM A 755	21	Plancha	------	Adquirido
1	Tolva	Tol 1.5mm.	ASTM A 755	20	TPA-G-65	------	Adquirido
4	Soporte tolva	50x25x3 mm	ASTM A 36	19	STA-G-65	------	Adquirido
2	Tapa superior	espesor1.5mm.	ASTM A755	18	TSP-G-65	---	Adquirido
1	Tapa posterior	espesor 1.5 mm.	ASTM A755	17	TPP-G-65	------	Adquirido
1	Estructura	1.5x1.5 Pulg.	ASTM A500	16	EST-G-65	18	soldado
1	Base sujetador de tolva	3/16*11/2 pulg.	Ac. A36	15	BST-G-65	0.40	Soldado
1	Sujetador de brazo	3/16*11/2 pulg.	Ac. A36	14	SBP-G-65	0,35	Fresado
2	Tuercas	M6	SAE 8	13	TSP-G-65	------	Adquirido
1	Brazo porta probetas	pef. cuadrado 11/2"	ASTM A 500	12	BPP-G-65	------	Adquirido
1	Sujetador de probeta	36x24x912 mm.	ASTM A36	11	SPP-G-65	0.35	Fresado
2	Acople sujetador	36x24x912 mm.	ASTM A500	10	ASP-G-65	1.3	Rectificado
2	Perno	M6 x 38mm	SAE 8	9	PSP-G-65	-----	Adquirido
1	Recubrimiento chlorobutyl	20mm espesor	caucho	8	RCB-G-65	----	Adquirido
1	Disco	∅200x30 mm.	AISI 1020	7	DMC-G-65	3.21	Cilindrado
4	Tuercas	M 12	SAE 8	6	TMM-G-65	------	Adquirido
4	Perno	M 12 X60 mm.	SAE 8	5	PMM-G-65	------	Adquirido
2	Chumacera	∅20mm	Ac. A36	4	CHM-G-65	-----	Adquirido
1	Eje motriz	∅32 mm	AISI 1018	3	EJM-G-65	0.4	Cilindrado
1	caja reductora	10:1	------	2	PMR2- G-65	-----	Adquirido
1	motor	1 hp.	----	1	PMP1-G-65	---	Adquirido

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia: ±0,1

(Peso): 45.8

Materiales: VARIOS

	Fecha	Nombre
Dib.	07/06/13	Jacob Pérez
Rev.	07/06/13	Ing. Paredes J.
Apro.	07/06/13	Ing. Paredes J.

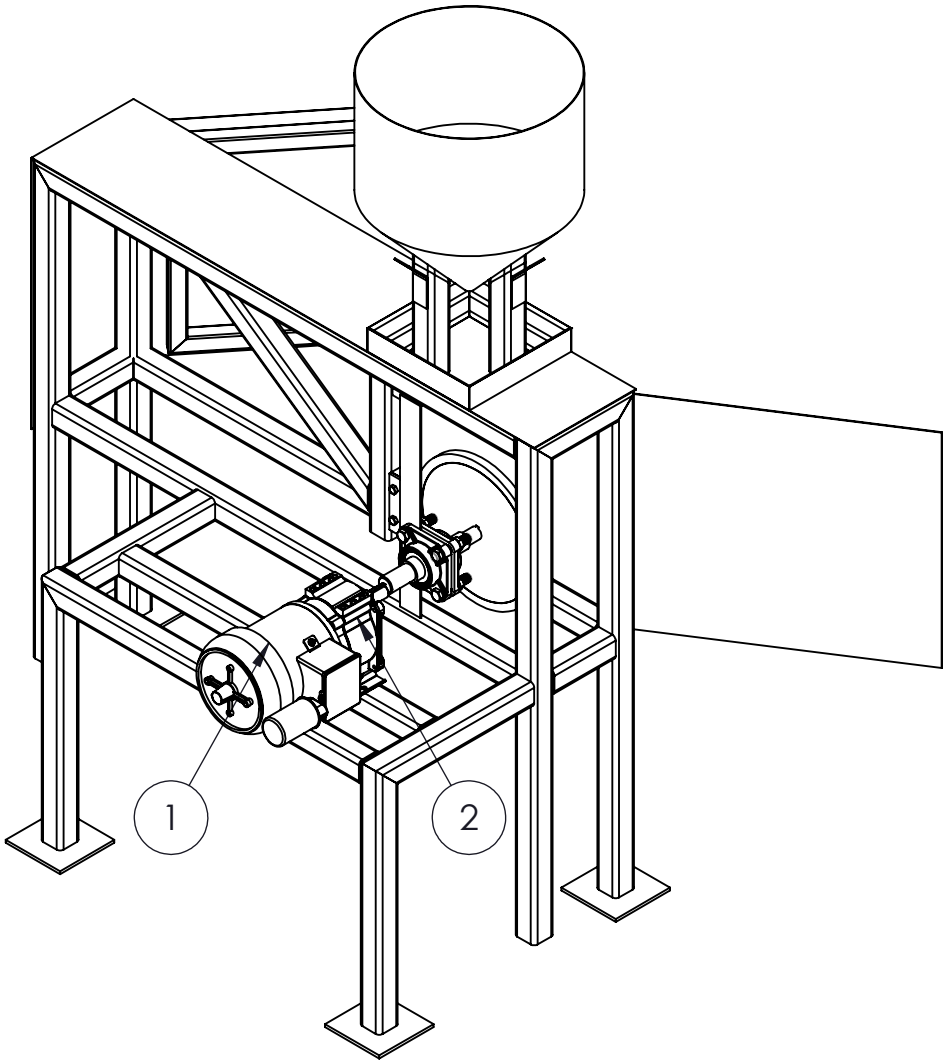
UTA
Ing. Mecánica

Denominación:
MAQUINA DE ENSAYO ABRASIVO MEA-G-65-FICM

Escala: 1:10

Número del dibujo: 01 de 18

(Sustitución)



n° de pieza	Denominación	N° de norma/ dibujo	Material	N° de orden	Código de dibujo	Peso Kg/pieza	Observaciones
2	Caja reductora	10:1	------	2	PMR2-G-65	-------	Adquirido
1	Motor	1 hp.	------	1	PMP1-G-65	-------	Adquirido

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia: ±0,3

(Peso): -----

Materiales: Varios

	Fecha	Nombre
Dibujó:	22/05/11	Jacob Pérez
Revisó:	22/05/11	Ing. Paredes J.
Aprobó:	22/05/11	Ing. Paredes J.

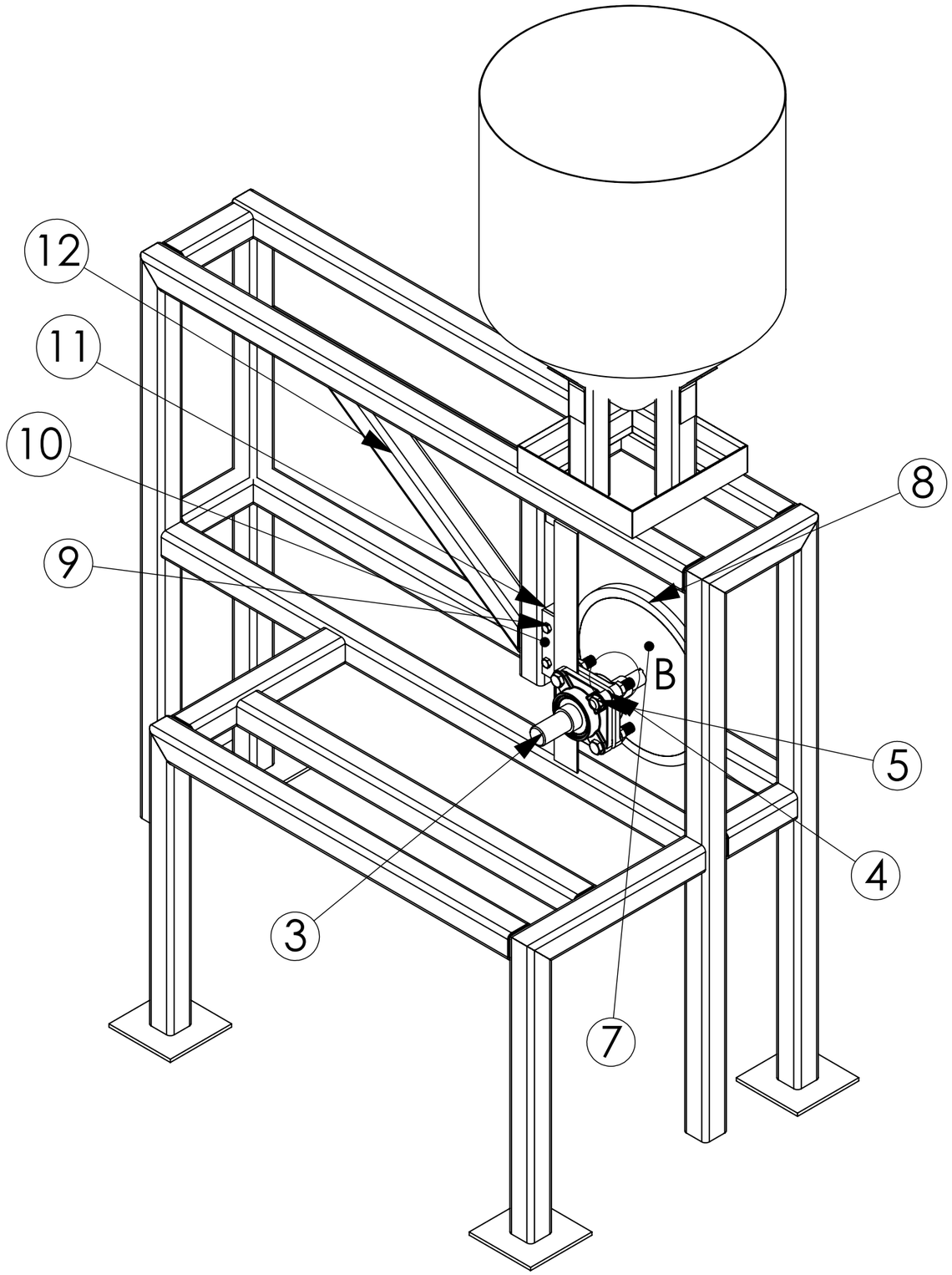
UTA
Ing. Mecánica

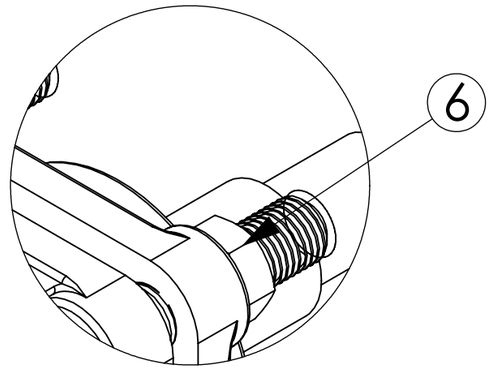
Denominación:
COMPONENTE DE POTENCIA - PM/G65/FICM

Escala: 1:10

Número del dibujo: 02 de 18

(Sustitución)





DETALLE B
ESCALA 1 : 1

NO.de pieza	Denominación	No. de norma/dibujo	MATERIAL	N.° de orden	Codigo de dibujo	peso Kg/pieza	obserbaciones
1	Brazo porta probetas	perfil estructural cuadrado 1 1/2"	ASTM A 500	12	BPP-G-65		Adquirido
1	sujetador de probeta	36x24x912 mm.	ASTM A36	11	SPP-G-65	0.35	Fresado
2	Acople sujetador	36x24x912 mm.	ASTM A500	10	ASP-G-65	45.8	Rectificado
2	Perno	M6 x 38mm	SAE 8	9	PSP-G-65	--	Adquirido
1	Recubrimiento chlorobutyl	20mm espesor	caucho	8	RCB-G-65	--	Adquirido
1	Disco	∅200x30 mm.	AISI 1020	7	DMC-G-65	3.21	Cilindrado
4	Tuercas	M12	SAE 8	6	TMM-G-65	--	Adquirido
4	Perno	M 12 X60 mm.	SAE 8	5	PMM-G-65	--	Adquirido
2	Chumacera	∅20 mm.	---	4	CHM-G-65	--	Adquirido
1	Eje motriz	∅32 mm.	AISI 1018	3	EJM-G-65	0.4	Cilindrado

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia: ±0,3

(Peso): 45.3 Kg

Materiales: VARIOS

	Fecha	Nombre
Dibujó:	07/06/13	Perez Jacob
Revisó:	07/06/13	Ing. Paredes J.
Aprobó:	07/06/13	Ing.Paredes J.

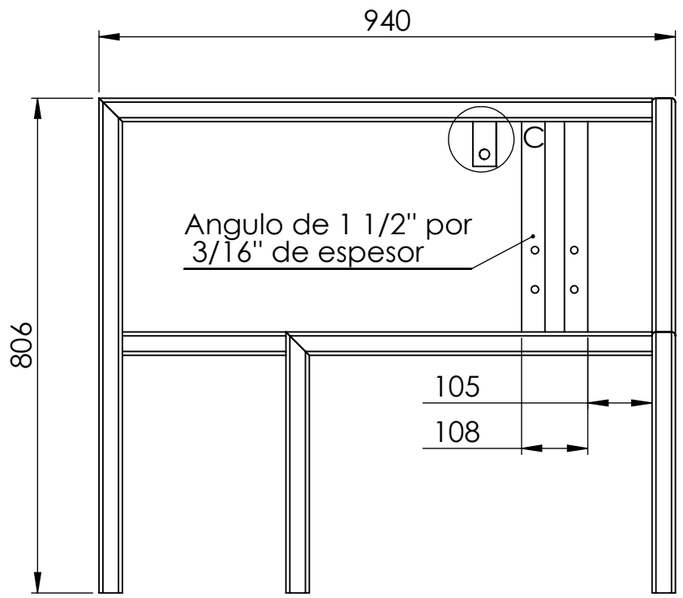
UTA
Ing. Mecánica

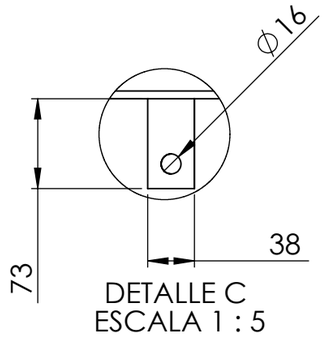
Denominación: COMPONENTE DE TRANSMICION Y CONSUMO CTC/G-65/FICM

Escala: 1:5

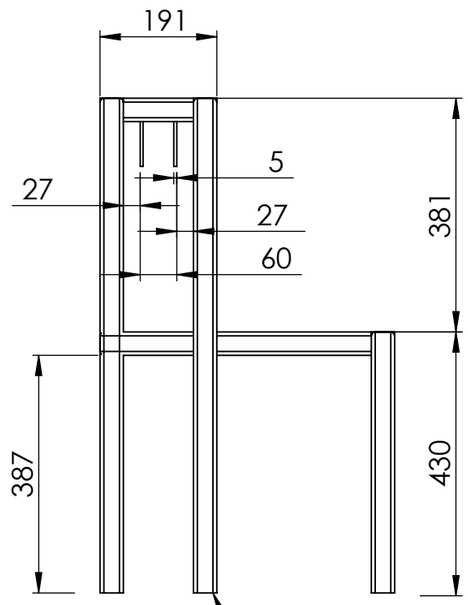
Número del dibujo: 03 de 18

(Sustitución)

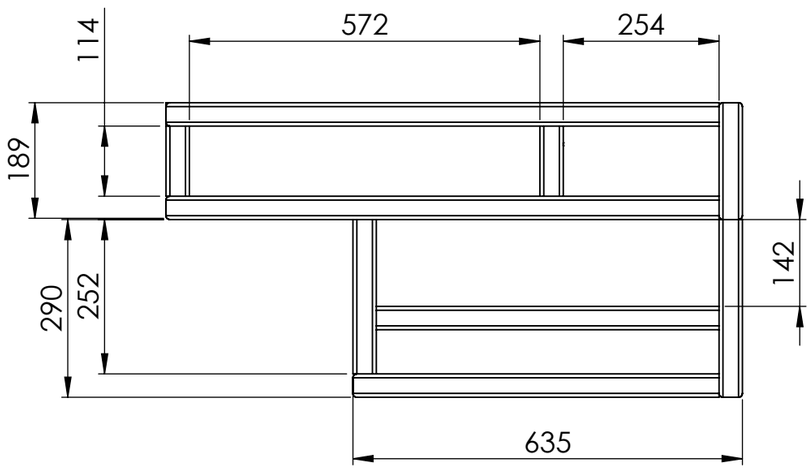




DETALLE C
ESCALA 1 : 5



Todos los perfiles son cuadrados de
1 1/2" en tuberia estructural de 2 mm



Edición	Modificación	Fecha	Nombre

	Fecha	Nombre
Dib.	07/06/13	Peréz J.
Rev.	07/06/13	Ing. Paredes J.
Apro.	07/06/13	Ing. Paredes J.

Tolerancia: ±0,1

(Peso): 28.5 Kg.

Materiales: ASTM A 500

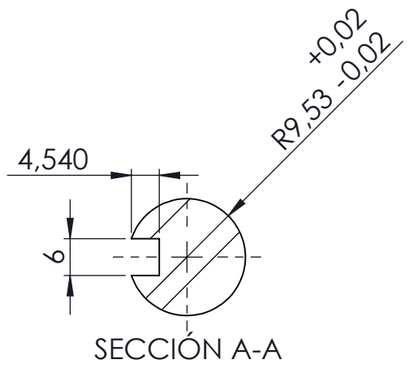
UTA
Ing. Mecánica

Denominación:
ESTRUCTURA

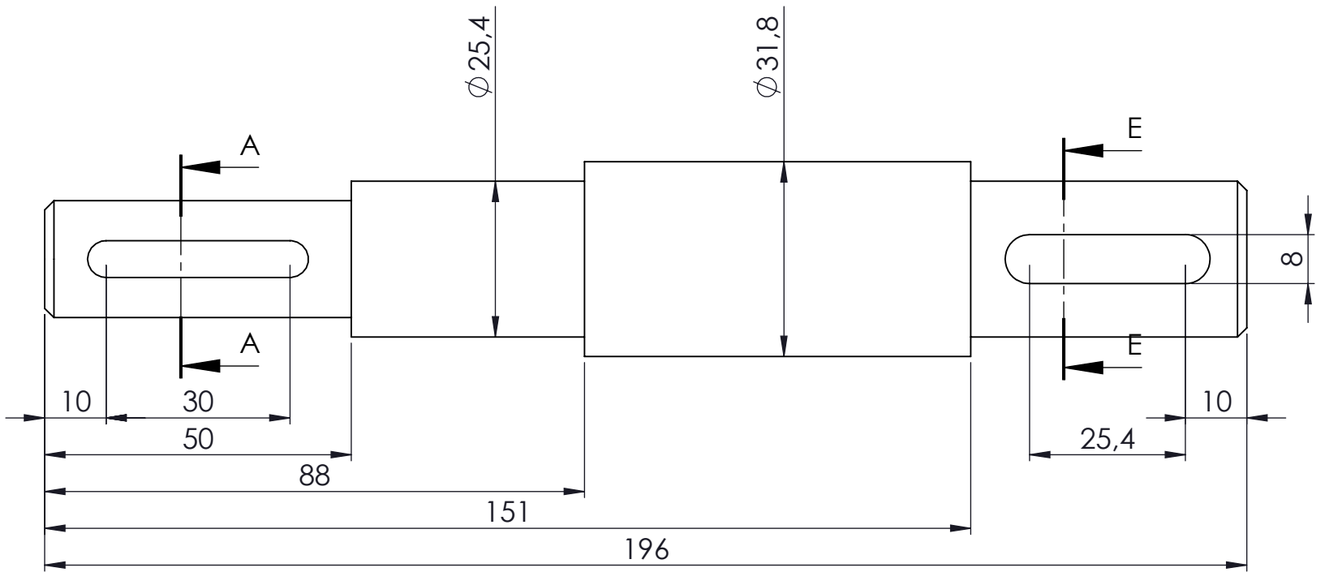
Escala: 1:10

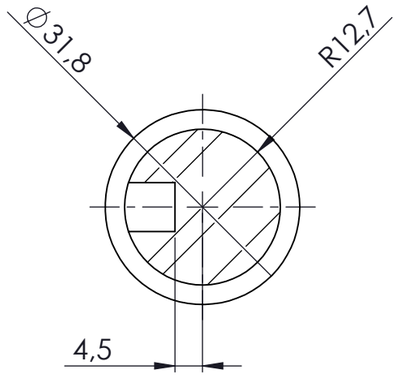
Número del dibujo: 04 de 18

(Sustitución)



SECCIÓN A-A





SECCIÓN E-E

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia	(Peso)	Materiales: AISI 1020
±0,2	813.16 g	

	Fecha	Nombre
Dibujó:	28/04/13	Jacob Pérez
Revisó:	28/04/13	Ing. Paredes J.
Aprobó:	28/04/13	Ing. Paredes J.

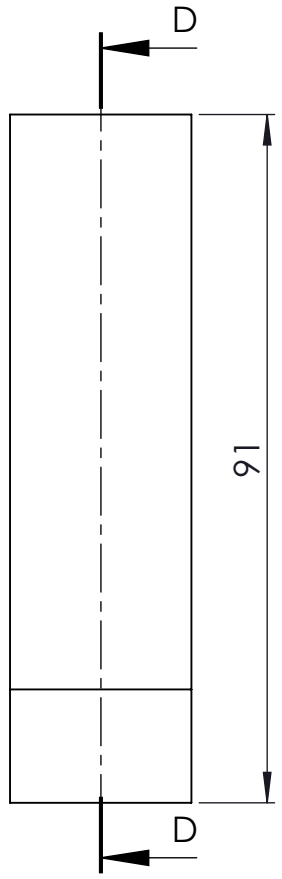
UTA
Ing. Mecánica

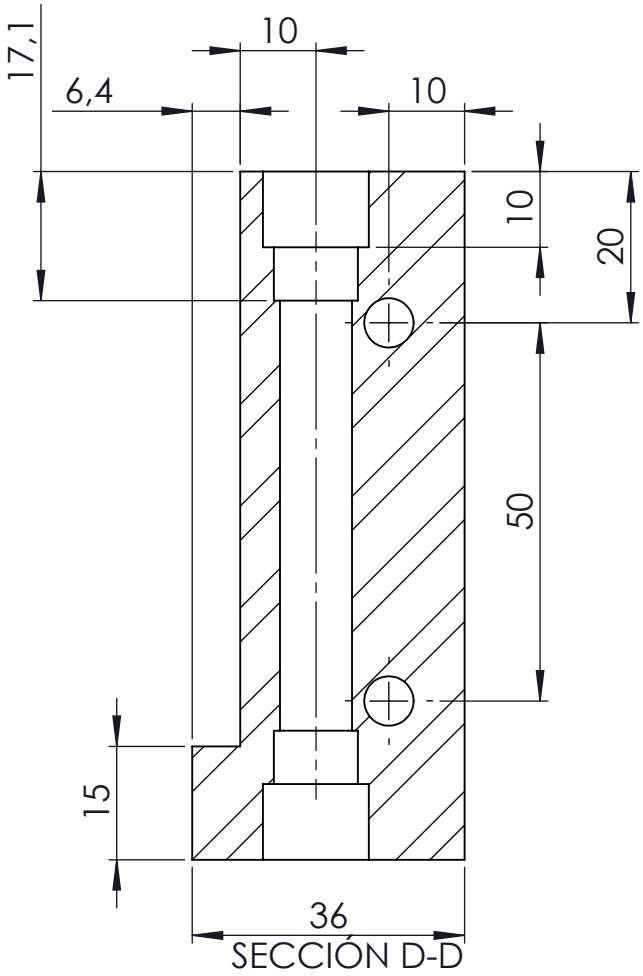
Denominación:
EJE DE TRANSMICION DE POTENCIA

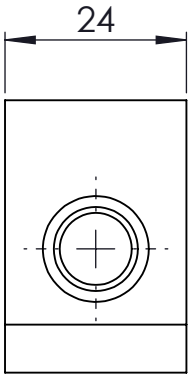
Escala: 1:1

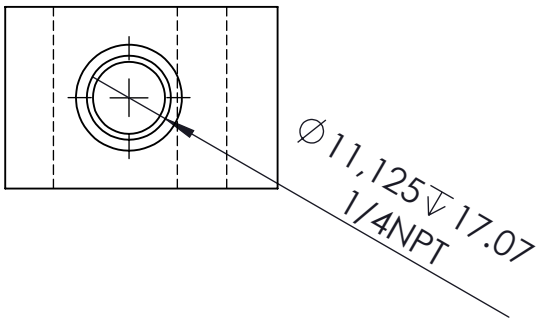
Número del dibujo: 05 de 18

(Sustitución)

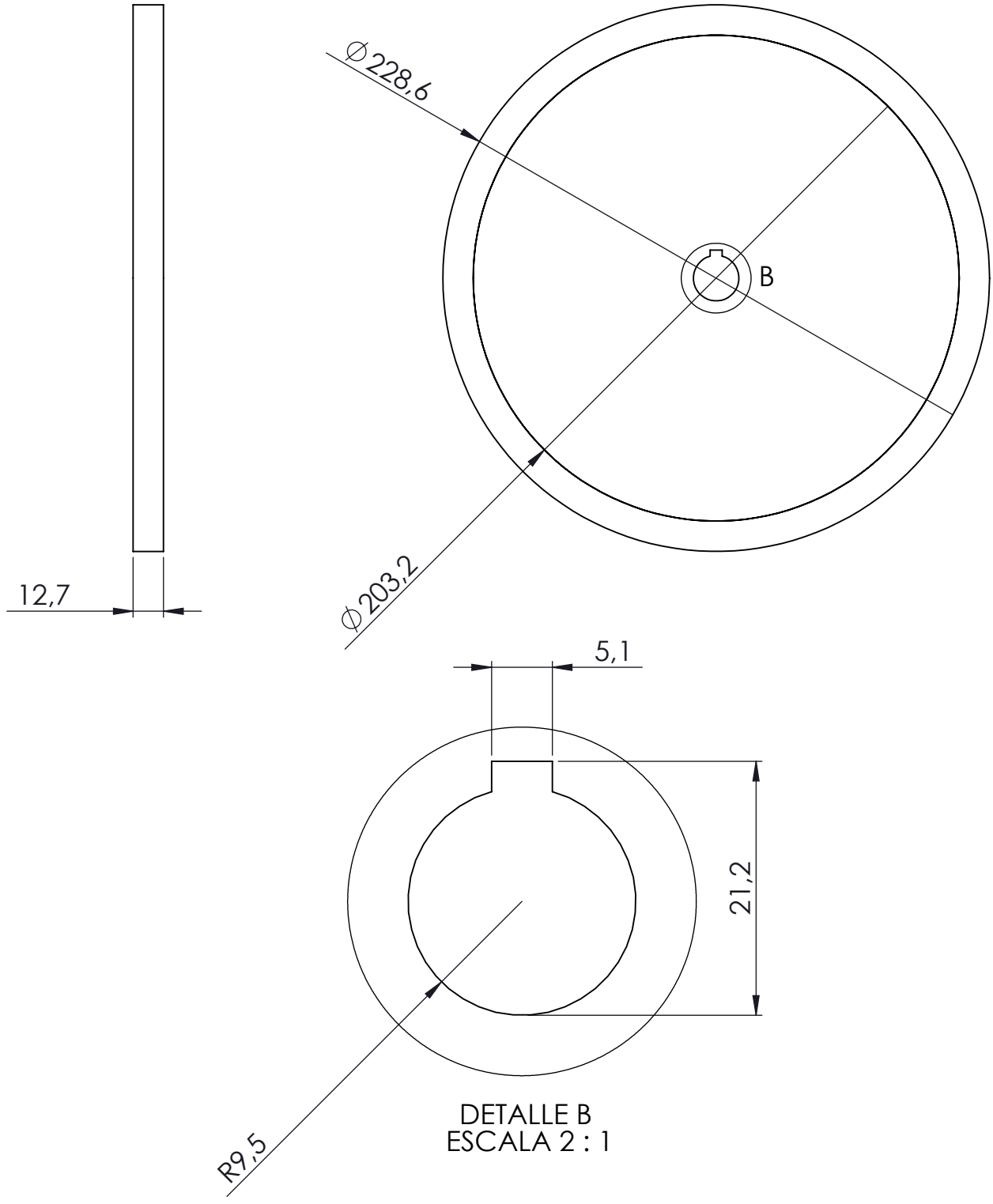






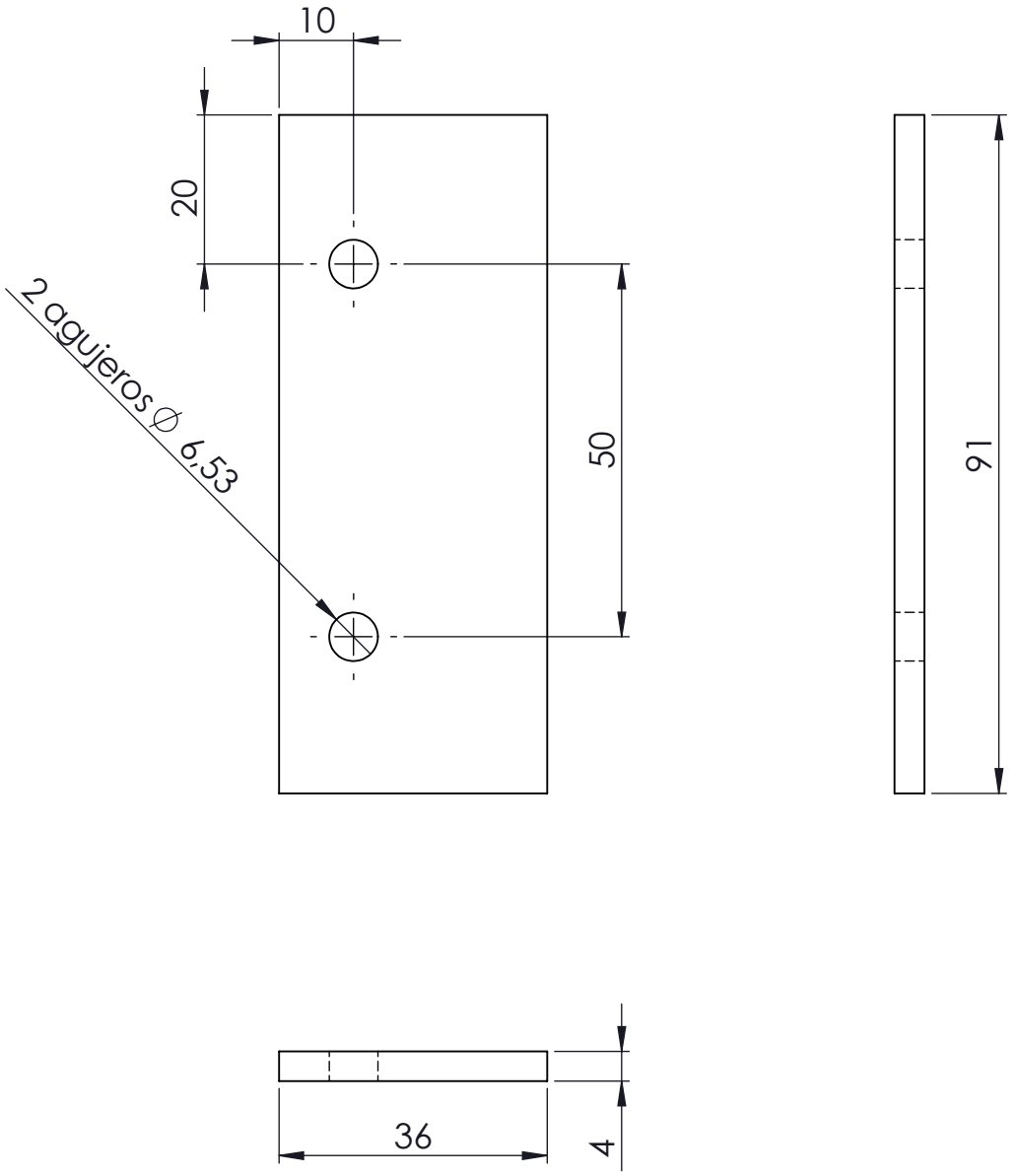


				Tolerancia		(Peso)	Materiales: Acero AISI 1020
				±0,2		448.04g.	
					Fecha	Nombre	Denominación: SISTEMA DE SUJECIÓN PROBETAS — Escala: 1:1
				Dibujó:	22/05/11	Peréz J.	
				Revisó:	22/05/11	Ing. Paredes J.	
				Aprobó:	22/05/11	Ing. Paredes J.	
				UTA Ing. Mecánica			Número del dibujo: 06 de 18
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)

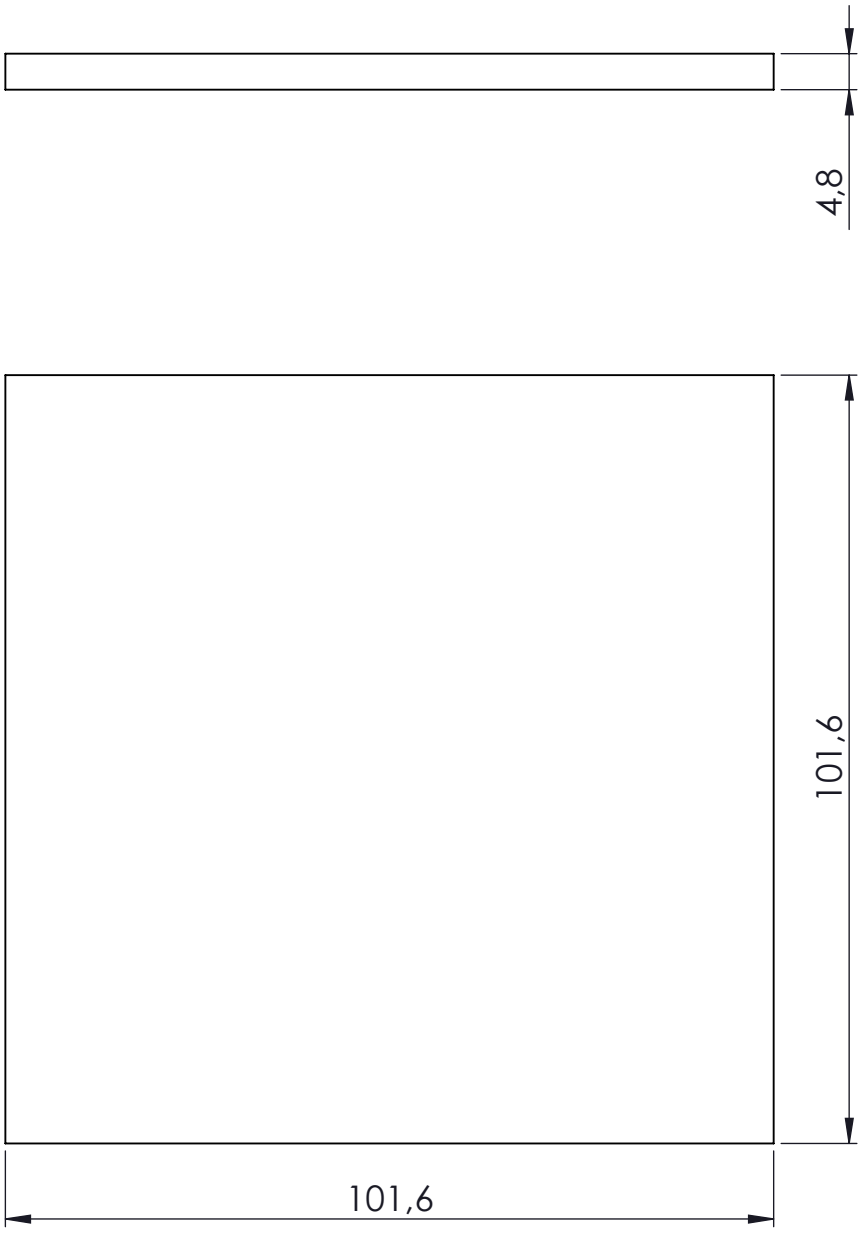


DETALLE B
ESCALA 2 : 1

				Tolerancia		(Peso)	Materiales: AISI 1020
				±0,2		3.39 Kg.	
					Fecha	Nombre	Denominación: RUEDA
				Dibujó:	28/04/13	Peréz J.	Escala: 1:2.5
				Revisó:	28/04/13	Ing. Paredes J.	
				Aprobó:	28/04/13	Ing. paredes J.	
				UTA Ing. Mecánica			Número del dibujo: 07 de 18
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)



				Tolerancia ±0,2	(Peso) 100.76 gr.	Materiales: ACERO ASTM A36
					Fecha / Nombre	Denominación: ACOPLE SUJETADOR — Escala: 1:1
				Dib.	28/04/13 Peréz J.	
				Rev.	28/04/13 Ing. Paredes J.	
				Apro.	28/04/13 Ing. Paredes J.	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 08 de 18 — (Sustitución)



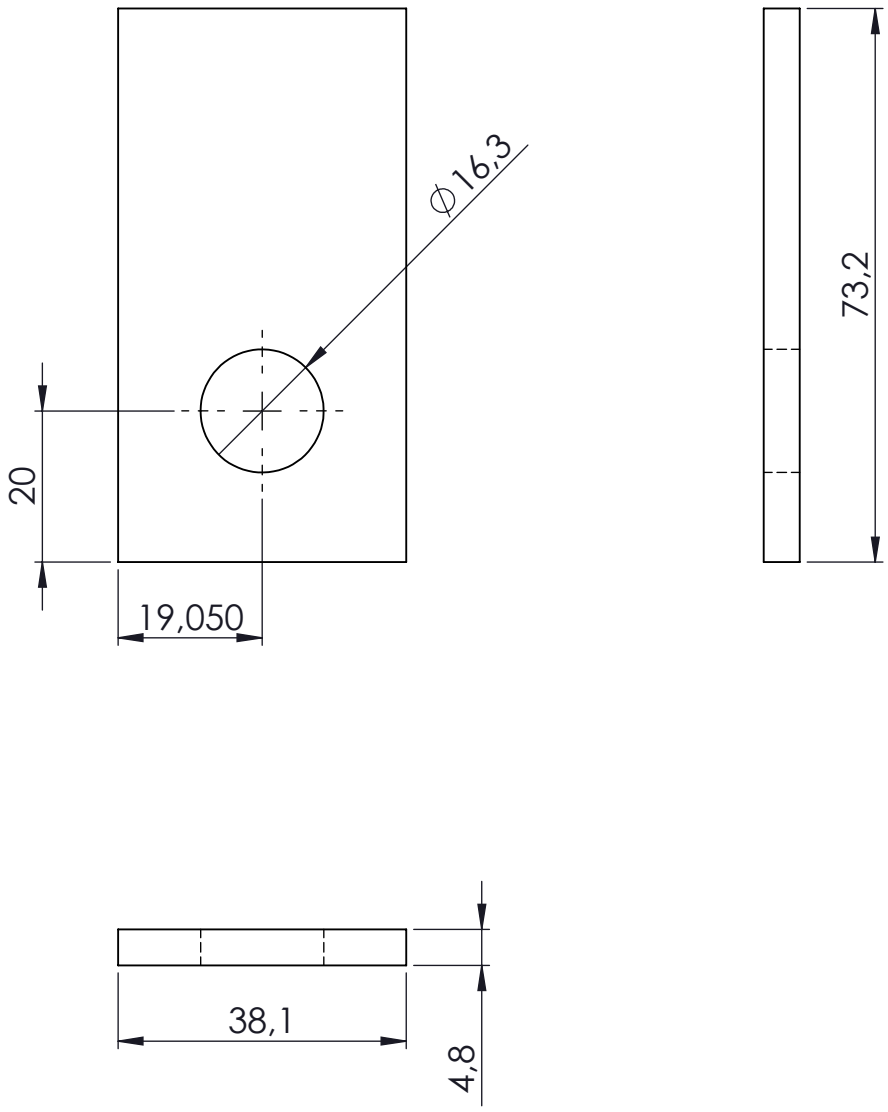
				Tolerancia ±0,2	(Peso) 0.385 Kg.	Materiales: ACERO ASTM A36
					Fecha	Nombre
				Dib.	28/04/13	Peréz J.
				Rev.	28/04/13	Ing. Paredes J.
				Apro.	28/04/13	Ing. Paredes J.
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ing. Mecánica		

Denominación: ACOPLE TUBO

Escala: 1:1

Número del dibujo: 09 de 18

(Sustitución)



				Tolerancia		(Peso)
				±0,2		4.3 gr.
					Fecha	Nombre
				Dib.	28/04/13	Peréz J.
				Rev.	28/04/13	Ing. Paredes J.
				Apro.	28/04/13	Ing. Paredes J.
Edi-ción	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ing. Mecánica		

Materiales: ACERO ASTM A 36

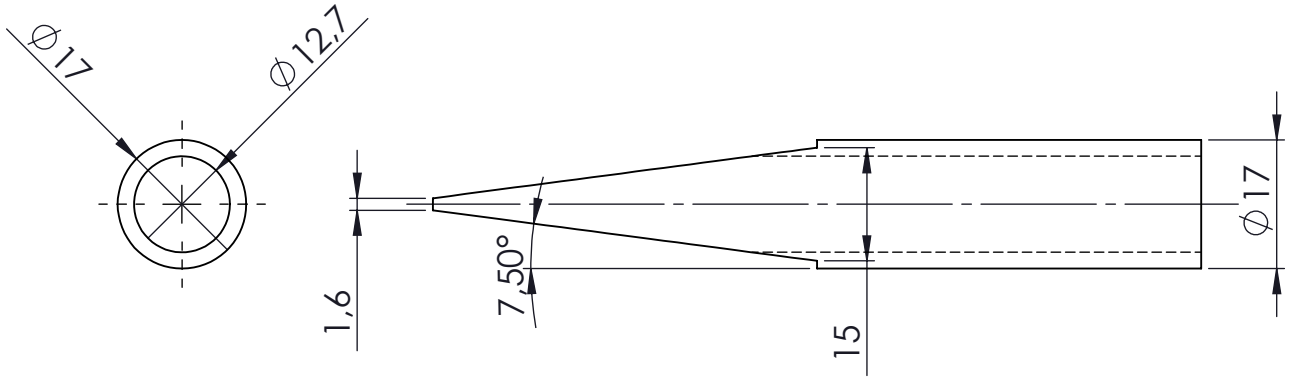
Denominación:

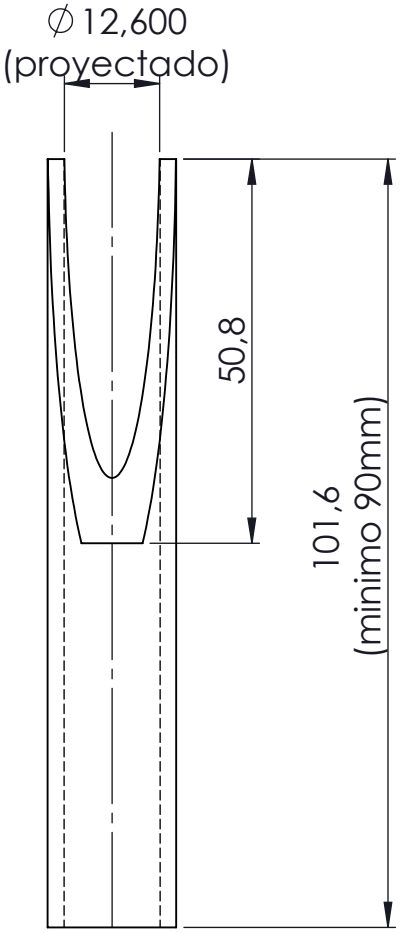
ACOPLE BRAZO

Escala: 1:1

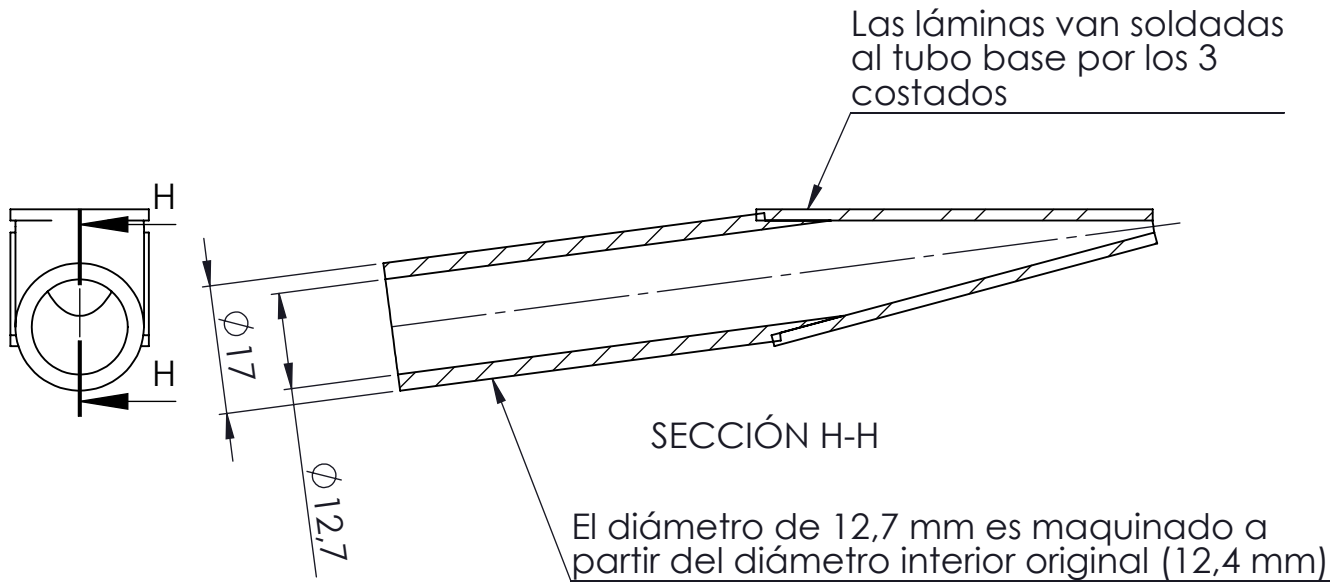
Número del dibujo: 10 de 18

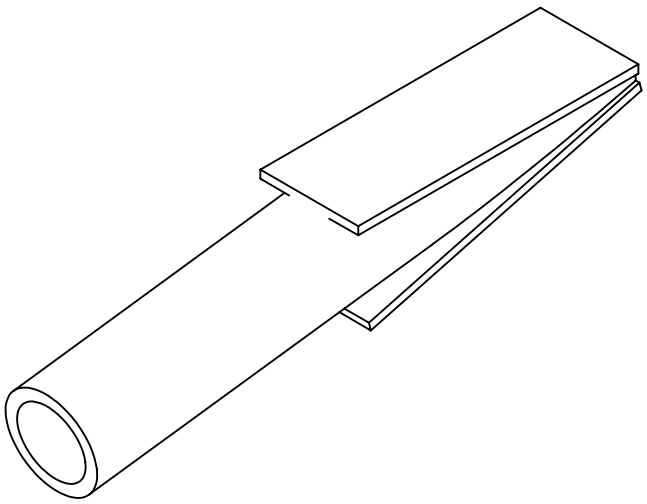
(Sustitución)



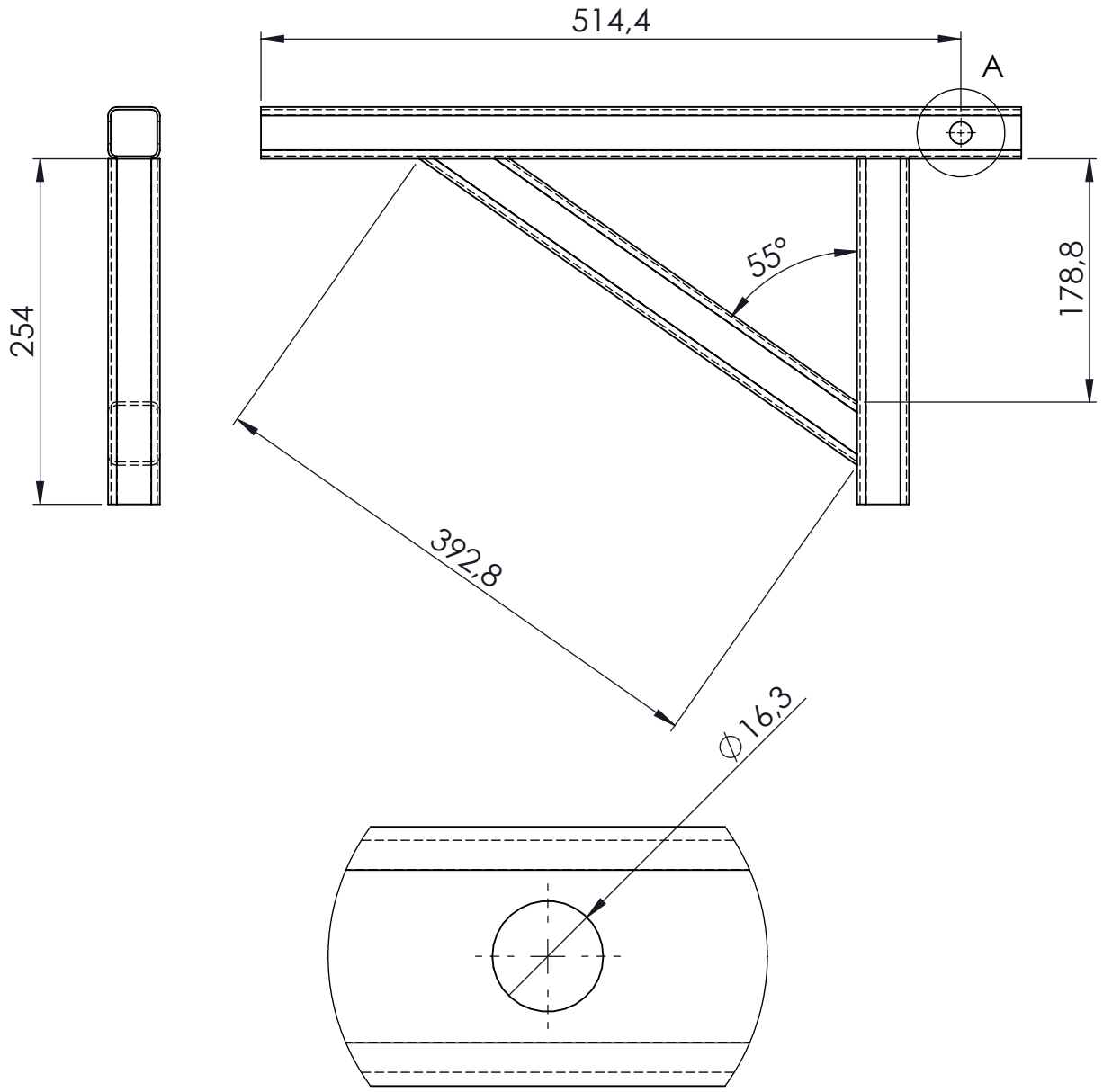


				Tolerancia		(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A36
				±0,2		38.3 gr.	
					Fecha	Nombre	Denominación: BOQUILLA — Escala: 1:1
				Dib.	28/04/13	Peréz J.	
				Rev.	28/04/13	Ing. Paredes J.	
				Apro.	28/04/13	Ing. Paredes J.	
				UTA Ing. Mecánica			Número del dibujo: 11 de 18
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)



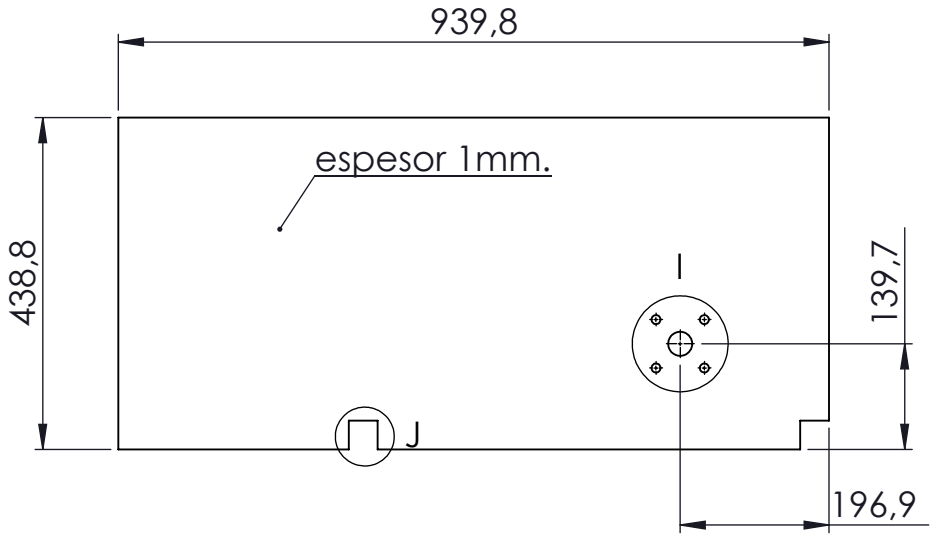


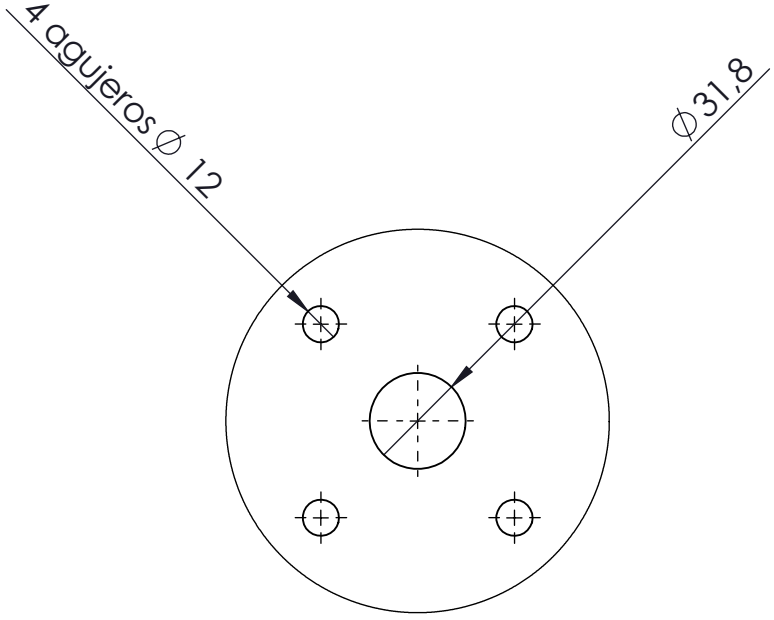
				Tolerancia		(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A 36		
				±0,2		40.2 gr.			
					Fecha	Nombre	Denominación:		Escala:
				Dib.	28/04/13	Peréz J.	BOQUILLA ENSAMBLADA		1:1
				Rev.	28/04/13	Ing. Paredes J.			
				Apro.	28/04/13	Ing. Paredes J.			
				UTA Ing. Mecánica			Número del dibujo: 12 de 18		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)		



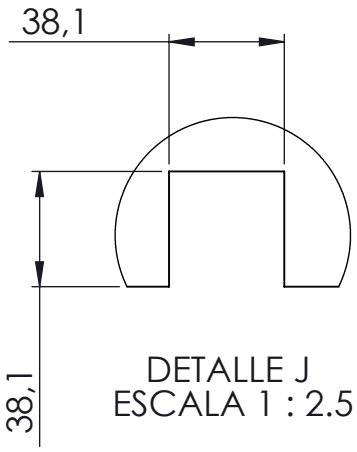
DETALLE A
ESCALA 1 : 1

				Tolerancia ±0,2	(Peso) 458.58 gr.	Materiales: ACERO ASTM A500
					Fecha / Nombre	Denominación: BRAZO / Escala: 1:5
				Dib.	28/04/13	Peréz J.
				Rev.	28/04/13	Ing. Paredes J.
				Apro.	28/04/13	Ing. Paredes J.
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 13 de 18
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)



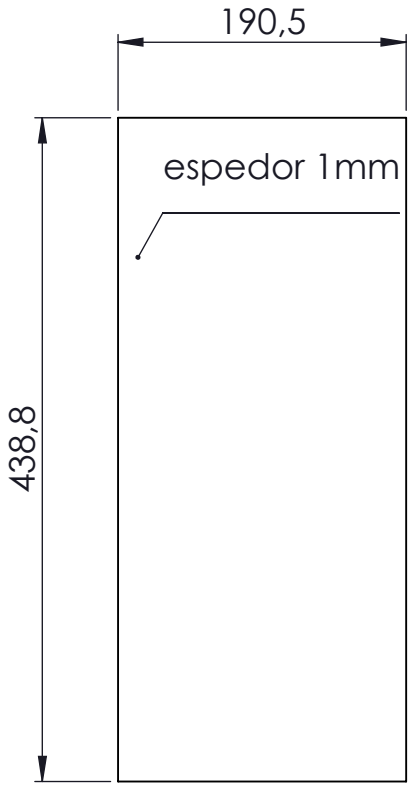


DETALLE I
ESCALA 1 : 2.5



DETALLE J
ESCALA 1 : 2.5

				Tolerancia		(Peso)	Materiales: ASTM A 653
				±0,2		3.21 kg.	
					Fecha	Nombre	Denominación: TAPA 1 — Escala: 1:10
				Dib.	28/04/13	Peréz J.	
				Rev.	28/04/13	Ing. Paredes J.	
				Apro.	28/04/13	Ing. Paredes J.	
				UTA Ing. Mecánica			Número del dibujo: 14 de 18
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)



Edición	Modificación	Fecha	Nombre

	Fecha	Nombre
Dib.	28/04/13	Peréz J.
Rev.	28/04/13	Ing. Paredes J.
Apro.	28/04/13	Ing. Paredes J.

Tolerancia: ±0,2

(Peso): 0.66 Kg.

Materiales: ASTM A 653

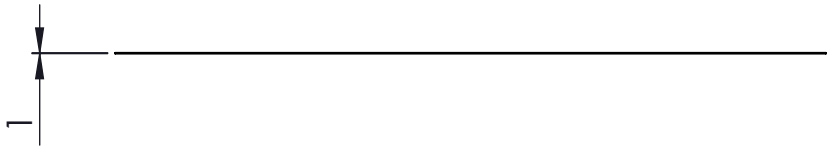
UTA
Ing. Mecánica

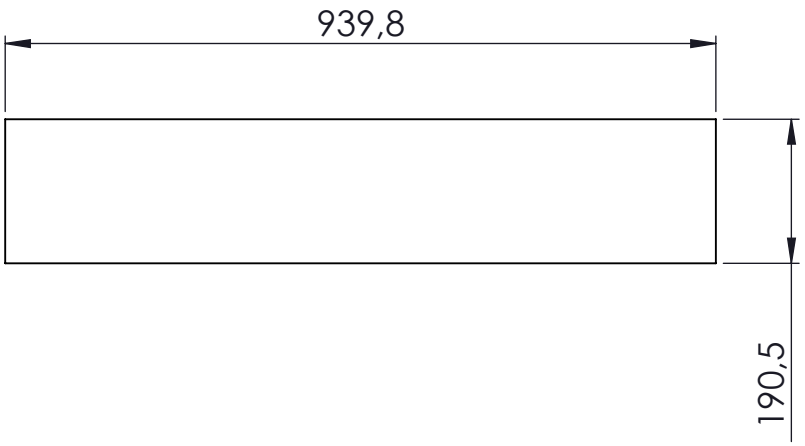
Denominación: TAPA 2

Escala: 1:5

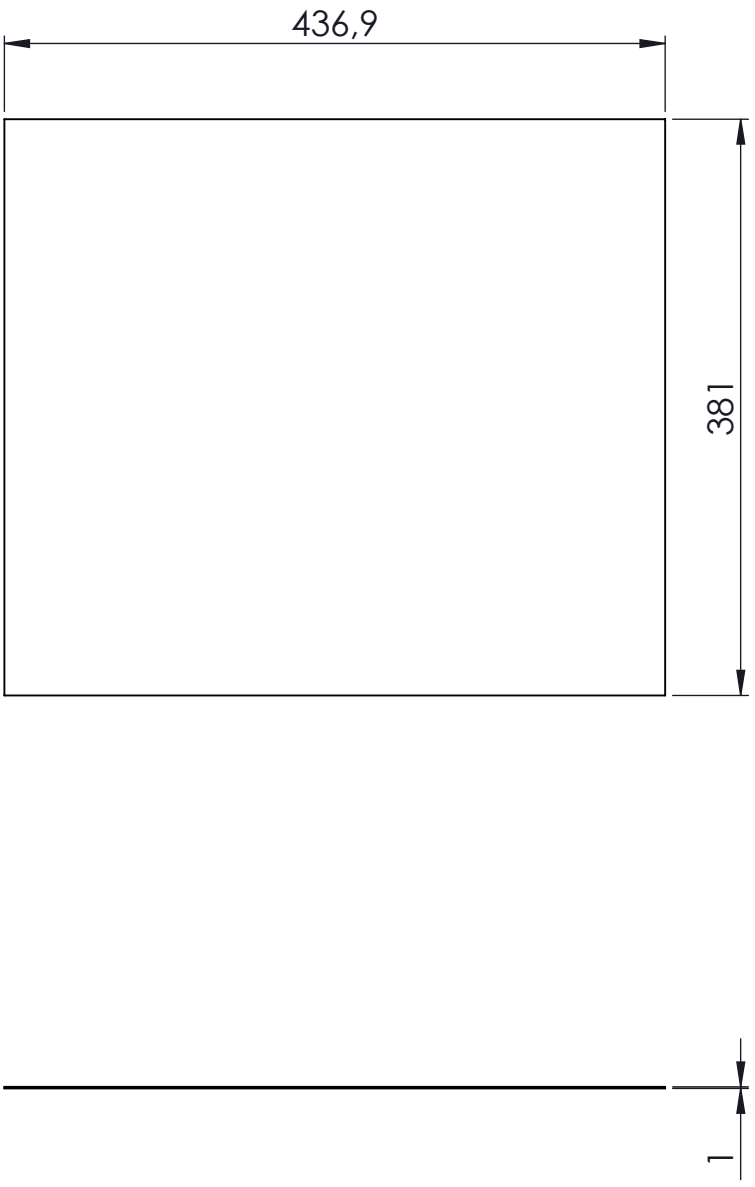
Número del dibujo: 15 de 18

(Sustitución)





				Tolerancia		(Peso)	Materiales: ASTM A 653
				±0,2		34.98 Kg.	
					Fecha	Nombre	Denominación: TAPA 3 — Escala: 1:10
				Dib.	28/04/13	Peréz J.	
				Rev.	28/04/13	Ing. Paredes J.	
				Apro.	28/04/13	Ing. Paredes J.	
				UTA Ing. Mecánica			Número del dibujo: 16 de 18
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)



Edición	Modificación	Fecha	Nombre

	Fecha	Nombre
Dib.	28/04/13	Peréz J.
Rev.	28/04/13	Ing. Paredes J.
Apro.	28/04/13	Ing. Paredes J.

Tolerancia: ±0,2

(Peso): 39.97 kg.

Materiales: ASTM A 653

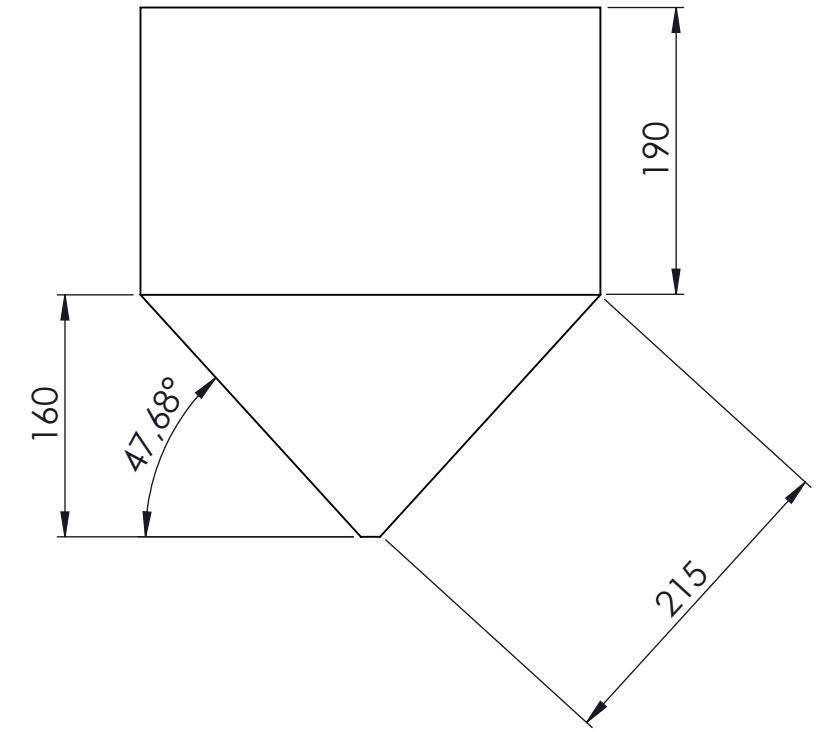
UTA
Ing. Mecánica

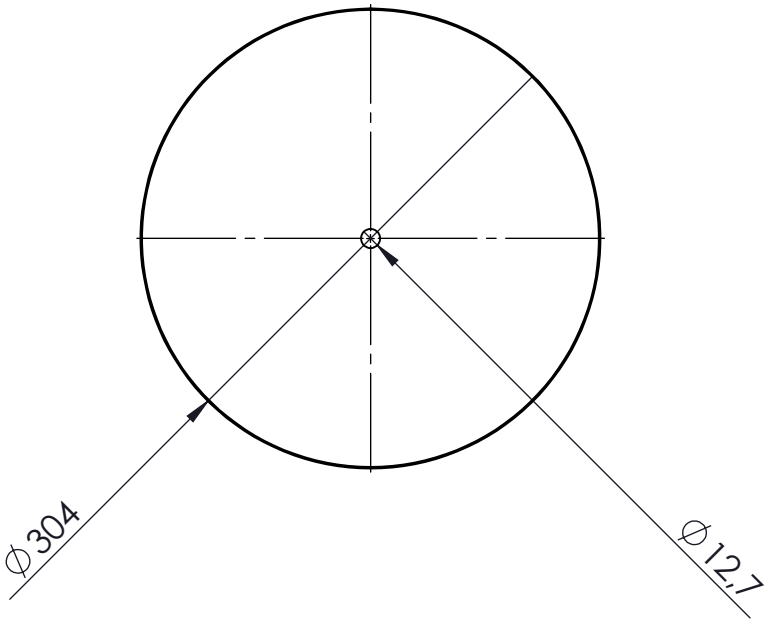
Denominación: TAPA 4

Escala: 1:5

Número del dibujo: 17 de 18

(Sustitución)





				Tolerancia		(Peso)	Materiales: ASTM A 653
				±0,2		40.98Kg.	
					Fecha	Nombre	Denominación: TOLVA — Escala: 1:5
				Dib.	28/04/13	Peréz J.	
				Rev.	28/04/13	Ing. Paredes J.	
				Apro.	28/04/13	Ing. Paredes J.	
				UTA Ing. Mecánica			Número del dibujo: 18 de 18
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)