



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS RECUBRIMIENTOS OBTENIDOS CON ELECTRODOS: E7018, E6013, E6011. BAJO LA NORMA TÉCNICA ASTM G83-96”.

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA DE MANTENIMIENTO

AUTORA: DAYANA CELESTE ANDINO VÁSQUEZ

DIRECTOR: Dr. JOSÉ ANTONIO GRANIZO

Riobamba – Ecuador

2020

© 2020, Dayana Celeste Andino Vásquez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Dayana Celeste Andino Vásquez, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de julio de 2020



Dayana Celeste Andino Vásquez
050339552-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECANICA

CARRERA DE INGENIERIA DE MANTENIMIENTO

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo Proyecto e Investigación **“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS RECUBRIMIENTOS OBTENIDOS CON ELECTRODOS: E7018, E6013, E6011. BAJO LA NORMA TÉCNICA ASTM G83-96”**, realizado por la señorita: **DAYANA CELESTE ANDINO VÁSQUEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Julio Eduardo Cajamarca Villa PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado digitalmente por JULIO EDUARDO CAJAMARCA VILLA Fecha: 2020.08.11 12:40:52 -05'00'	2020/07/24
Dr. José Antonio Granizo DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	JOSE ANTONIO GRANIZO Firmado digitalmente por JOSE ANTONIO GRANIZO Fecha: 2020.08.11 13:30:43 -05'00'	2020/07/24
Ing. Alex Giovanny Tenicota García MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: ALEX GIOVANNY TENICOTA GARCIA	2020/07/24

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación, es la finalización de un escalón más en mi vida el cual se lo dedico a mis padres Roberto Andino y Zimara Vásquez que han sabido brindarme su apoyo, amor y paciencia a lo largo de mi vida y sobre todo en esta etapa estudiantil.

A mi abuelita Martha y a mi hermana Abigail por estar presentes a cada momento y darme su apoyo incondicional, y a mi querida hija Kataleya por brindarme su amor y darme alegría a cada momento.

Dayana

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento eterno a la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento y a sus docentes que, con sus enseñanzas, experiencias y su motivación han sido parte fundamental en mi culminación como estudiante, en especial a mi tutor Dr. José Antonio Granizo y asesor Ing. Alex Tenicota gracias por la paciencia y la guía brindada a lo largo de este trabajo de titulación.

A mis padres, hermana, abuelos y el resto de mi familia por acompañarme en cada paso de mi vida. Un agradecimiento especial a David mi novio por apoyarme y ayudarme y sobre todo a Kataleya mi bella hija por ser el pilar fundamental en mi vida y nunca dejarme sola.

Dayana

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE GRÁFICOS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
INDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	3
1.1 Estado del arte.....	3
1.2 El desgaste.....	5
<i>1.2.1 Importancia del estudio del desgaste</i>	<i>5</i>
<i>1.2.2 Tipos de desgaste.....</i>	<i>5</i>
<i>1.2.2.1 Desgaste adhesivo.....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.2.2 Desgaste abrasivo.....</i>	<i>10</i>
<i>1.2.2.3 Desgaste por fatiga.....</i>	<i>11</i>
1.3 Métodos de reconstrucción.....	12
<i>1.3.1 Soldadura.....</i>	<i>13</i>
<i>1.3.1.1 Proceso de soldadura.....</i>	<i>13</i>
<i>1.3.1.2 Soldadura SMAW.....</i>	<i>13</i>
<i>1.3.1.3 Selección de electrodos.....</i>	<i>16</i>
1.4 Métodos de ensayo de desgaste.....	20
<i>1.4.1. Características de las normas.....</i>	<i>21</i>
<i>1.4.2. Aplicación de la norma. ASTM G 83-96.....</i>	<i>22</i>
1.5 La fricción seca.....	23
<i>1.5.1 Mecánica de contacto.....</i>	<i>23</i>
<i>1.5.1.1 Superficies en contacto.....</i>	<i>24</i>
<i>1.5.1.2 Efecto de la fricción en el esfuerzo por contacto</i>	<i>24</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.....	26
-----------------------------------	-----------

2.1	Selección de materiales para probetas de ensayo.	26
<i>2.1.1</i>	<i>Fabricación de probetas.</i>	<i>26</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Selección de electrodos y recargue por soldadura.</i>	<i>27</i>
<i>2.1.3</i>	<i>Medición de dureza.</i>	<i>29</i>
<i>2.1.4</i>	<i>Microestructura.</i>	<i>31</i>
2.2	Ensayo de fricción y desgaste	34
<i>2.2.1</i>	<i>Selección de parámetros de ensayo.</i>	<i>37</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Metodología del ensayo.</i>	<i>38</i>
<i>2.2.3</i>	<i>Diseño de experimentos.</i>	<i>41</i>
<i>2.2.4</i>	<i>Coefficiente de fricción.</i>	<i>45</i>
<i>2.2.4.1</i>	<i>Calculo de densidad.</i>	<i>45</i>
<i>2.2.4.2</i>	<i>Cálculo de desgaste y volumen perdido</i>	<i>45</i>
<i>2.2.4.3</i>	<i>Cálculo de distancia recorrida y volumen de desgaste.</i>	<i>46</i>
<i>2.2.4.4</i>	<i>Cálculo de coeficiente de fricción.</i>	<i>46</i>

CAPITULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	48
3.1	Interpretación del ensayo de dureza.	48
3.2	Interpretación de la prueba de microestructura.	50
3.3	Análisis del coeficiente de fricción.	52
3.4	Análisis de desgaste.	53
3.5	Resultados del diseño de experimentos.	54
3.6	Presentación de resultados.	57
	CONCLUSIONES.	59
	RECOMENDACIONES.	60

GLOSARIO

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Valores del coeficiente de desgaste (K).	10
Tabla 2-1:	Parámetros de procesos de técnicas de deposición de recubrimientos por endurecimiento superficial.....	12
Tabla 3-1:	Ventajas y desventajas de la soldadura SMAW.	15
Tabla 4-1:	Clasificación de electrodos según AWS A 5.1.....	17
Tabla 5-1:	Intensidades recomendadas para electrodos E6011.....	18
Tabla 6-1:	Composición química y mecánica del electrodo E6011.....	18
Tabla 7-1:	Intensidades recomendadas para electrodos E6013.....	19
Tabla 8-1:	Composición química y mecánica del electrodo E6013.....	19
Tabla 9-1:	Intensidades recomendadas para electrodos E7018.....	20
Tabla 10-1:	Composición química y mecánica del electrodo E7018.....	20
Tabla 11-1:	Normas ASTM para pruebas de desgaste severo.	21
Tabla 12-1:	Parámetros de la prueba.....	23
Tabla 1-2:	Propiedades químicas del bronce fosfórico y acero AISI 1018.....	26
Tabla 2-2:	Plan de soldadura del Acero AISI SAE 1018 con recargue E6011	29
Tabla 3-2:	Pares tribológicos para el ensayo de fricción seca (ASTM G83-96).....	30
Tabla 4-2:	Probetas para el ensayo de dureza de los materiales.	31
Tabla 5-2:	Parámetros para ensayo de fricción seca.	39
Tabla 6-2:	Datos de pesos iniciales y finales de las probetas móviles.....	39
Tabla 7-2:	Datos de pesos iniciales y finales de la contra probeta (fija).....	40
Tabla 8-2:	Datos de desgaste y temperatura del bronce fosfórico sobre material con recubrimiento E6011, en la zona de contacto.	41
Tabla 9-2:	Resultados del cálculo de distancia recorrida.....	46
Tabla 1-3:	Valores de dureza antes de la prueba de fricción seca.....	48
Tabla 2-3:	Resultados del ensayo de dureza después de la prueba de fricción seca.	48
Tabla 3-3:	Microestructuras del acero AISI SAE 1018 con recubrimientos y bronce fosfórico antes y después del ensayo de fricción seca.....	50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Modelo de desgaste profundo.	7
Figura 2-1:	Procedimiento por soldadura de arco eléctrico.	15
Figura 3-1:	Diagrama del electrodo revestido.	16
Figura 1-2:	Torno universal SM.	26
Figura 2-2:	Dimensiones de las probetas.	27
Figura 3-2:	Durómetro Brinell Rockwell Vickers.	31
Figura 4-2:	Penetraciones del material base.	31
Figura 5-2:	Microscopio metalográfico.	31
Figura 6-2:	Cámara digital.	32
Figura 7-2:	Dimensiones de las probetas después.	32
Figura 8-2:	Lijado de probeta.	33
Figura 9-2:	Superficie espejo del.	33
Figura 10-2:	Balanza de precisión electrónica.	34
Figura 11-2:	Máquina de cilindros cruzados.	35
Figura 12-2:	Reloj comparador y base magnética.	35
Figura 13-2:	Tarjeta NI myRIO.	36
Figura 14-2:	Interfaz de ingreso al programa TRIBOLOGIA.	36
Figura 15-2:	Interfaz de usuario (Panel de control).	36
Figura 16-2:	Parámetros de ensayo en el programa de tribología.	37
Figura 17-2:	Interfaz para ingresar datos de la prueba en MiniTab18.	44
Figura 18-2:	Interfaz de la barra de herramientas de MiniTab18.	44
Figura 19-2:	Interfaz del método ANOVA de un solo factor.	45

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1-1: Contornos de esfuerzo, la carga se desliza de izquierda a derecha.	24
Gráfica 1-2: Electrodo utilizados con mayor frecuencia.	28
Gráfica 2-2: Pesos iniciales y finales del acero AISI SAE 1018 con recubrimiento E6013.	39
Gráfica 3-2: Desgaste vs Tiempo (prueba de bronce fosfórico sobre material con recubrimiento)	40
Gráfica 4-2: Temperatura vs Tiempo (prueba de bronce fosfórico sobre material con	41
Gráfica 1-3: Resultados de la prueba de dureza antes y después del ensayo de fricción seca.	49
Gráfica 2-3: Promedio del coeficiente de fricción (E6011, E6013 y E7018).	53
Gráfica 3-3: Promedio del desgaste total del acero con recubrimiento sobre bronce fosfórico.	54

LISTA DE ABREVIATURAS

ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
ISO	Organización Internacional de Normalización
AGMA	Asociación Americana de Fabricantes de Engranajes
DIN	Instituto Alemán de Normalización
SWAM	Shielded Metal Arc Welding
OFW	Oxygen-Fuel Gas Welding
ANOVA	Análisis de Varianza
WPS	Welding Procedure Specification
ASME	American Society of Mechanical Engineers
LSD	Least significant difference

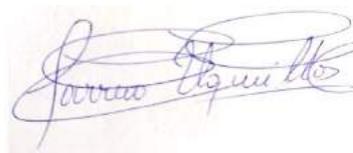
INDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** ENSAYO DE PESO INICIAL Y FINAL
- ANEXO B.** ENSAYO DE DUREZA
- ANEXO C.** ENSAYO DE MICROESTRUCTURA
- ANEXO D.** RESULTADOS DEL DESGASTE
- ANEXO E.** ENSAYO DE FRICCIÓN SECA
- ANEXO F.** ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)
- ANEXO G.** ENCUESTAS
- ANEXO H.** NORMA ASTM G83-96

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se realizó, ensayos bajo un régimen de fricción seca para evaluar el desgaste del bronce fosfórico sobre el acero AISI SAE 1018 con tres diferentes recubrimientos que son E6011, E6013 y E7018; la finalidad del proyecto de investigación fue determinar el par tribológico que presento mayor resistencia al desgaste. Dando cumplimiento a los objetivos del proyecto de investigación, se realizaron ensayos de dureza y metalográficos, antes y después de la realización de la prueba de fricción seca; la prueba de fricción seca se lo realizo en una máquina de cilindros cruzados bajo las recomendaciones y parámetros que establece la norma ASTM G83-96; el ensayo consta de dos probetas una fija y la otra móvil, las cuales previamente fueron maquinadas de acuerdo a la norma antes mencionada, una vez realizado el ensayo de fricción seca se procedió a evaluar el desgaste gravimétrico y se estableció el valor del coeficiente de fricción. Además, se efectuó el diseño de experimentos análisis de varianza ANOVA para establecer el recubrimiento que brinde una mayor resistencia al desgaste. Finalizado las pruebas se puede concluir sin excepción que todas arrojan el mismo resultado de cuál es el recubrimiento más aceptable para la reconstrucción de elementos de máquina, se recomienda realizar ensayos de desgaste en distintas condiciones ya sean estas de operación como velocidad, tiempo o con distintos materiales antifricción como es el bronce de aluminio.

Palabras claves: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TRIBOLOGÍA>, <FRICCIÓN SECA>, <MICROESTRUCTURA>, <COEFICIENTE DE FRICCIÓN>



07-08-2020

0189-DBRAI-UPT-2020

ABSTRACT

In this investigation work, tests under a regime of dry friction were made to evaluate the phosphor bronze wear on the steel AISI SAE 1018, with three different coatings which are E6011, E6013, and E7018. The purpose of the investigation project was to determine the tribological pair having major resistance to the wear. Hardness and metallographic tests were performed, before and after the dry friction test, to fulfill the goals of the research project. It was performed in a cross-cylinder machine under the recommendations and parameters established by the ASTM G83-96 standard. The test consists of two test pieces, one of them fixed and the other one mobile, which was previously machined according to the above-mentioned standard. Once the dry friction test was performed, the gravimetric wear was evaluated and the friction coefficient value was established. Besides, the ANOVA design analysis of variance experiments was carried out to establish the coating that would provide greater resistance to wear. Once the tests are finished, it can be concluded without exception, that all of them provide the same result of which is the most acceptable coating for the reconstruction of machine elements. It is recommended to achieve wear tests in different operating conditions such as speed, time, or with different antifriction materials such as aluminum bronze.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <TRIBOLOGY>, <DRY FRICTION>, <MICRO-STRUCTURE>, <FRICTION COEFFICIENT>

INTRODUCCIÓN

En la norma UNE-EN 13306 sobre terminología del mantenimiento, indica que el desgaste es un fenómeno físico que conduce a una pérdida o deformación del material. El fallo por desgaste es del tipo cuya probabilidad de aparición se incrementa con el tiempo de operación o con el número de operaciones del elemento o de las tensiones aplicadas.

El estudio de las propiedades tribológicas de las áreas de contacto de los materiales construidos en base a electrosoldadura es de gran importancia para poder determinar el tiempo de vida útil de las superficies sujetas a fricción y desgaste.

Conociendo que existen distintos tipos y mecanismos de desgaste es preciso examinar para cada caso los procesos tribológicos que se GROOVERan presentes en la zona de contacto de los pares tribológicos.

En el presente trabajo se evaluará la resistencia al desgaste de los recubrimientos E7018, E6013, E6011 en condiciones de fricción seca bajo la norma técnica ASTM G83-96 esta técnica de laboratorio, trata principalmente de establecer el desgaste que se presente entre dos materiales, la cual se realiza en una máquina de cilindros cruzados.

Justificación.

En el país dentro del mantenimiento correctivo de piezas y elementos de máquinas, tiene gran aceptación el recargue metálico hecho por electrosoldadura, los electrodos son utilizados en base a las recomendaciones del fabricante, estas recomendaciones son realizadas tomando en cuenta el material al cual se le va a dar este tratamiento, sin embargo, no se especifica las condiciones de trabajo bajo las cuales debe operar el recubrimiento, por ejemplo la carga máxima a la cual debe someterse, tipo de lubricante recomendado, resultados de los estudios tribológicos realizados.

De acuerdo con encuestas realizadas en talleres que realizan trabajos de mantenimiento correctivo en elementos de máquinas se concluye que en la mayoría de los casos se utilizan electrodos E7018, E6013, E6010, E6011, B80, B84 entre otros, siguiendo recomendaciones de fabricantes de electrodos y la experiencia en este tipo de trabajo.

Debido a esto se evalúa el comportamiento tribológico de las superficies sujetas a desgaste bajo la norma **ASTM G83-96** de las capas obtenidas mediante un proceso de electrosoldadura con

los electrodos **E7018, E6013, E6011** utilizando como contra probeta bronce fosfórico; con la finalidad de evaluar la resistencia al desgaste en condiciones de fricción seca.

Problema.

El problema se centra en investigar la resistencia al desgaste de recubrimientos obtenidos bajo electrosoldadura en probetas de acero de bajo carbono utilizando electrodos sugeridos en catálogos, bajo ensayo de fricción seca en una máquina de cilindros cruzados.

Hipótesis.

La evaluación de la resistencia al desgaste de los recubrimientos obtenidos con electrodos E7018, E6013, E6011 permitirá una selección adecuada de estos en la reconstrucción de pares tribológicos acero -bronce que trabajan bajo fricción seca.

Variable dependiente.

Evaluación de la resistencia al desgaste.

Variable independiente.

Selección adecuada de un electrodo para realizar el recargue sobre un material de bajo carbono.

Objetivos.

Objetivo general.

Evaluar la resistencia al desgaste de los recubrimientos obtenidos con electrodos E7018, E6013, E6011 bajo la norma técnica ASTM G 83-96 en condiciones de fricción seca.

Objetivos específicos.

Preparar las probetas de ensayo de acuerdo con la norma ASTM G83-96.

Analizar las propiedades mecánicas, tribológicas, microestructura de los recubrimientos antes y después de los ensayos de desgaste.

Determinar el desgaste de cada uno de los recubrimientos, a partir del estudio tribológico.

Analizar los resultados y recomendar el recubrimiento adecuado para la reconstrucción de elementos de máquina que trabajan bajo fricción seca.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Estado del arte.

Durante el desarrollo de la presente investigación, se realizó consultas bibliográficas relacionadas con la temática expuestas, a continuación, se detalla cinco de las más importantes.

Autora: Gómez Botero, Maryory Astrid

Año de Publicación: 2005

Tema: Caracterización de las propiedades tribológicas y mecánicas de recubrimientos duros.

Resumen: El trabajo describe procedimientos realizados para evaluar en cuatro grupos de recubrimientos sus propiedades tribológicas, mecánicas.

Trabaja con un sistema de bola sobre discos además presenta resultados de coeficientes de fricción, desgaste de los grupos de materiales y tasa de desgaste abrasivo.

Archivo: <http://www.tdx.cat/handle/10803/1774>

Autor: Zabala Morocho, Washington Armando

Año de Publicación: 1999

Tema: Características tribotécnicas de los recubrimientos metalizados base níquel

Resumen: Este trabajo explica el comportamiento tribológico del bronce fosfórico sobre piezas con recubrimientos metálicos de base níquel, en uniones árbol- cojinete.

Detalla procedimientos para encontrar el coeficiente de fricción, momento friccionante, muestra resultados de desgaste adhesivo.

Archivo:<http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/369/1/T-SENESCYT-0140.pdf;Untitled>

Autor: Zambonino Hernández, Neris Leodán

Año de publicación: 2013

Tema: Análisis de los factores de desgaste adhesivo en diferentes materiales antifricción sobre el acero AISI 4340 bajo norma ASTM G83-96 y su efecto en las propiedades tribológicas.

Resumen: Trata del análisis del desgaste adhesivo con cinco materiales antifricción sobre el acero AISI 4340, el ensayo es realizado en una máquina de cilindros cruzados.

Arroga los efectos del desgaste encontrados en 3 procesos diferentes, especifica procesos para GROOVERar el coeficiente de fricción.

Archivo: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6662>

Autores: Reyes Tristancho, Higuera Cobos José Luís, Flórez García Oscar Fabián.

Año de publicación: 2007

Tema: Evaluación del desgaste adhesivo del acero AISI-SAE 1020

Resumen: El artículo científico muestra el comportamiento tribológico del acero AISI SAE 1020 en una máquina de cilindros cruzados para evaluar el desgaste adhesivo.

Detalla procedimientos para evaluar el coeficiente de fricción, se realiza bajo la norma ASTM G83-96.

Archivo: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/699>

Autor: J. E. Romero

Año de publicación: 2017

Tema: Comportamiento tribológico de un acero inoxidable austenítico en tribómetro bola sobre anillo

Resumen: La investigación trata del estudio de fricción y desgaste de un acero inoxidable austenítico, realizado en un tribómetro tipo bola sobre anillo.

Detalla procedimientos para encontrar el volumen de desgaste y coeficiente de fricción; muestra resultados del desgaste.

Archivo: <https://ingenius.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/18.2017.08>

1.2 El desgaste.

Para la norma **DIN 50320** el desgaste es la pérdida gradual de la superficie de un material sólido, cuya pérdida es producida por fenómenos tanto mecánicos como químicos, este material al momento de ser removido puede ser transferido a otra superficie, así también puede quedar atrapado en el sistema. (DIN 50320, 1979)

El desgaste se lo puede definir como el desplazamiento de un material en contacto con otras superficies solidas; sometidas a una carga y un movimiento rodante. (TRISTANCHO et al.,2007 pág. 188)

Representa una diferenciación entre micro y macro geometría superficial, estructura y propiedades físico-mecánicas.

En si se puede decir que el desgaste resulta de una atracción molecular en los límites de la adhesión y una deformación mecánica en los límites de micro corte. (RODRIGUEZ M, 1997 pág. 43)

1.2.1 Importancia del estudio del desgaste. El fenómeno del desgaste es uno de los problemas a los que las maquinas se deben enfrentar, por esta razón es de suma importancia el estudio de sus características en contacto de distintas superficies.

El desgaste como actividad de pérdida de material, da como resultado cambios en las dimensiones de elementos de las máquinas, es importante conocer su concepto, los tipos desgaste que existen y sus mediciones para así poder disminuirlo.

En el campo industrial la importancia es medida en porcentajes de cada tipo de desgaste según Eyre es el siguiente: (RODRIGUEZ M, 1997 pág. 46)

Abrasivo	50%
Adhesivo	15%
Fatiga y combinaciones	14%
Erosivo	8%
Mecánico- corrosivo	5%
Oxidación mecánica	8%

1.2.2 Tipos de desgaste. En un inconveniente que aún no es determinado por completo, por este motivo para conocer la clasificación del desgaste se debe efectuar un adecuado análisis de

los sistemas tribológicos en los que existe un mecanismo de desgaste los cuales presentan intensidad, movimiento relativo e interacción del material entre las superficies de contacto. (BURNWELL, 1957 pág. 126)

De tal manera se puede clasificar al desgaste de la siguiente manera:

- Desgaste adhesivo (desgaste por fricción o deslizante)
- Desgaste por fatiga.
- Desgaste abrasivo
- Desgaste corrosivo

1.2.2.1 Desgaste adhesivo. “El desgaste adhesivo se halla comúnmente en elementos, piezas de maquina deslizantes.” Tanto en la práctica como en la ingeniería este tipo se lo denomina desgaste por frotamiento, gripado o agarrotamiento, toman estos términos por la intensidad de desgaste, el estado de las superficies y los elementos analizados.

Su origen principal se trata de la atracción molecular al momento de presentar contacto con asperezas, de esta manera forma una unión adhesiva; cuyo nombre es “soldadura puntual”.

Estas se producen por soldaduras en frío, rayas y fracturas superficiales de los elementos de cuerpos metálicos. (RODRIGUEZ M, 1997 pág. 47)

Tanto la carga como la distancia recorrida son directamente proporcionales al desgaste mientras que la dureza del material es inversamente proporcional.

El desgaste adhesivo tiene a su vez dos tipos que son los siguientes:

- Desgaste adhesivo suave.
- Desgaste adhesivo severo.

Desgaste adhesivo suave.

Este tipo de adhesión se encuentra en superficies metálicas limpias en condiciones atmosféricas normales, lo cual permitirá adhesión o fusión entre las mismas. Todas las superficies metálicas se encuentran cubiertas por una capa de gases absorbentes de vapores los cuales se fijarán en la superficie. Por tal motivo se presenta la oxidación que generalmente toma una forma muy delgada fácil de penetrar por asperezas de la contra cara, esto permite que las mismas se adhieran a la superficie opuesta. (BURNWELL, 1957 pág. 127)

Se caracteriza por tener una distribución uniforme de rayas o de surcos de corta profundidad, se presenta en trazas de difusión de los materiales de contacto, en elementos de máquinas que

trabajan a altas velocidades de deslizamiento y en pares de materiales poco compatibles durante la fricción seca o lubricación límite. La adhesión suave presenta los siguientes parámetros:

- Profundidad de la capa destruida h =hasta 0,10 μm
- Tamaño de las partículas de desgaste d =2-20 μm
- Razón de desgaste W_r = 1-5 $\mu\text{m}/\text{h}$
- Tipos de tensión Tensión de trabajo-compresión
- Coeficiente de desgaste $K=10^{-5} - 10^{-6}$
- Intensidad lineal de desgaste $I=10^{-9} - 10^{-5}$

Desgaste adhesivo severo.

También conocido como desgaste profundo toma forma de surcos o rayas con una gran profundidad, ya que tienen capas superficiales de óxido escasas.

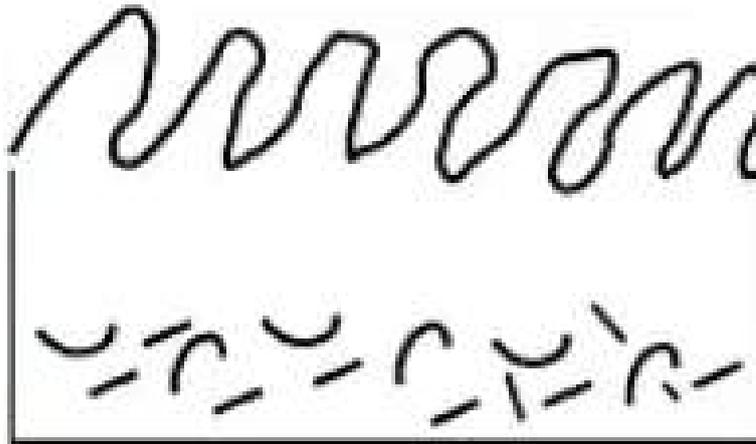


Figura 1-1: Modelo de desgaste profundo.

Fuente: (RODRIGUEZ M, 1997 pág. 50)

La existencia de este tipo de desgaste se da por superficies limpias sin contaminantes, se presenta en elementos de máquinas que trabajen a velocidades de deslizamiento bajo, deformaciones plásticas y temperaturas de trabajo mayores a 100 °C.

Mantiene los siguientes parámetros: (RODRIGUEZ M, 1997 pág. 50)

- Profundidad de la capa destruida h = hasta 0, 50 μm .
- Variación de la dureza H_f/H_i hasta 2.
- Razón de desgaste W_r = 5 - 10 $\mu\text{m}/\text{h}$
- Tipo de tensión tensión - compresión

- Tamaño de las partículas de desgaste $d = 20- 200 \mu\text{m}$.
- Coeficiente de desgaste $K = 10^{-2} - 10^{-4}$
- Intensidad lineal del desgaste $I = 10^{-7} - 10^{-3}$

En el mecanismo del desgaste adhesivo se obtiene la siguiente información:

Para que se presente la unión adhesiva es necesario que en la estructura electrónica de los cuerpos en contacto uno de los metales funcione como un donador de electrones y el otro cuerpo como un receptor.

Este tipo de desgaste tiene relación directa con la unión de distintos materiales que forman soluciones solidas o compuestos inter metálicos, la compatibilidad de estos representa el grado de atracción de los átomos en los metales de contacto.

El desgaste presenta un desarrollo que se ve afectado por la distribución cristalina y hexagonal que muestra características mínimas de desgaste adhesivo en comparación a la distribución centrada cubica y centrada en las caras.

Si se presenta materiales distintos en contacto el desgaste es generalmente resultado de la transferencia de partículas del metal más débil al metal más fuerte. (BHUSHAN y GUPTA, 2000 pág. 278)

Para poder determinar el proceso del desgaste adhesivo, se utiliza la ecuación de Archard:

$$W_d = \frac{V}{l} = \frac{K * F_n}{H} \quad (1.1)$$

Dónde:

W_d = Volumen de material desgastado por distancia de deslizamiento

V = Volumen de material desgastado

l = Distancia de deslizamiento

K = Coeficiente de desgaste

F_n = Fuerza o carga normal

H = Dureza del material suave

Por la ecuación (1.1) se puede definir las leyes del desgaste:

“El volumen del material es directamente proporcional a la distancia de deslizamiento,

El volumen del material desgastado es directamente proporcional a la carga,

Dureza (tensión del material) es inversamente proporcional al volumen del desgaste”. (HALLING, 1989 pág. 97)

El coeficiente de desgaste se especifica mediante la ecuación de Rabinowics quien desarrollo su trabajo a partir de lo establecido por Archard en la ecuación (1.1):

$$K = \frac{3HB I}{P_n} \quad (2.1)$$

Dónde:

I= Intensidad lineal de desgaste del material en análisis

HB= Dureza del material más blando

P_n = Presión nominal

Rabinowics calculo el coeficiente de desgaste de la ecuación (2.1) en distintas condiciones, por lo cual se establece los valores de K para los siguientes tipos de desgaste adhesivo:

Desgaste por pulido ($10^{-6} - 10^{-8}$)

Se encuentra en procesos de materiales cuya incompatibilidad metalúrgica sea alta o tenga materiales con poca tendencia a la adhesión.

Desgaste moderado ($10^{-4} - 10^{-6}$)

Se presenta en superficies bien lubricadas y en materiales con tendencia a la adhesión, este tipo de desgaste es en caliente.

Desgaste severo ($10^{-2} - 10^{-4}$)

Se muestra en superficies limpias o con poca lubricación, en los pares de materiales con compatibilidad alta metalúrgica, pertenece al desgaste en frio.

Para poder controlar el desgaste adhesivo se debe intervenir en las variables de: la dureza, un incremento de esta reduce el desgaste esto se logra a través de un tratamiento térmico; el acabado superficial se obtiene por rectificado, pulido o esmerilado; la lubricación permite que

no se encuentren en contacto directo las superficies evitando así la adhesión. (RODRIGUEZ M, 1997 págs. 51,52)

Tabla 1-1: Valores del coeficiente de desgaste (K).

Estados de las superficies	Materiales compatibles	Materiales semi compatibles	Materiales incompatibles
Limpias	$6.10^{-2} - 4.10^{-3}$	$4.10^{-3} - 2.10^{-4}$	$6.10^{-4} - 4.10^{-5}$
Contaminados o Pobre lubricación	$4.10^{-3} - 6.10^{-4}$	$2.10^{-4} - 5.10^{-5}$	$4.10^{-5} - 5.10^{-6}$
Bien lubricados	$6.10^{-4} - 6.10^{-5}$	$5.10^{-5} - 5.10^{-6}$	$5.10^{-6} - 6.10^{-7}$

Fuente: (RODRIGUEZ M, 1997 pág. 52)

1.2.2.2 Desgaste abrasivo. “Se lo define como la modificación de las capas superficiales en los cuerpos solidos fruto de la dureza que se presenta al fluir sobre otra superficie con una resistencia mecánica inferior.” (RODRIGUEZ M, 1997 pág. 57)

En el desgaste por abrasión se presenta los siguientes tipos:

- Abrasión por desgaste de dos cuerpos
- Abrasión por desgaste de tres cuerpos

El desgaste por abrasión de dos cuerpos es cuando existen protuberancias duras estas se deslizarán contra otras de menor dureza.

El desgaste por abrasión de tres cuerpos se origina en las partículas que mantienen libertad al deslizarse entre superficies en contacto.

El desgaste por abrasión da como resultado: roces, zanjas, micro virutas, y ciertas localidades brillantes, etc. (BURNWELL, 1957 pág. 132)

La magnitud del desgaste abrasivo dependerá de la rugosidad superficial del cuerpo duro y de las propiedades mecánicas del cuerpo blando.

El desgaste abrasivo tiene los siguientes parámetros:

- Coeficiente de desgaste $K = 2.10^{-4} - 10^{-3}$
- Intensidad lineal de desgaste $I = 10^{-7} - 10^{-2}$
- Tensión de rotura de la unión $\tau = 10^{-3} - 10^{-2}$ MPa

Se determina por la siguiente ecuación:

$$W_d = \frac{V}{l} = \frac{K * F_n}{\pi H} \tan \theta \quad (3.1)$$

La ecuación (3.1) está relacionada con el volumen del material desgastado por unidad de distancia de deslizamiento para el ángulo de la aspereza.

Al tener coincidencias en la ecuación (3.1) y la (1.1) en el desgaste adhesivo, se llega a cumplir las mismas leyes para ambos casos de desgaste.

La resistencia al desgaste abrasivo se determina de la siguiente manera:

$$R = \frac{2\sigma_y}{F_n} \quad (4.1)$$

$$\sigma = \frac{h}{3} \quad (5.1)$$

Dónde:

σ = Tensión de fluencia del material menos resistente

F_n = Carga normal

De esta manera se explica que cuando un material es más duro y más resistente presenta un desgaste abrasivo. (RODRIGUEZ M, 1997 págs. 66,67)

1.2.2.3 Desgaste por fatiga. Se da como resultado de esfuerzos repetidos entre las superficies de contacto. De estos esfuerzos resultan grietas que se propagan hasta lograr separaciones pequeñas en el material, produciendo así picaduras.

Como consecuencia de este desgaste se obtiene formaciones de grietas transversales y verticales, pitting, micropitting y fractura del elemento. (BURNWELL, 1957 pág. 135)

Este tipo de desgaste (fatiga superficial) es de los más divulgados en elementos que no están sujetos a desgaste abrasivo.

Los valores de intensidad según el tipo de deformación según Kragelski son: (RODRIGUEZ M, 1997 pág. 56)

Deformaciones elásticas: $I_{he}=10^{-13}-10^{-7}$

Deformaciones plásticas: $I_{hp}=10^{-7}-10^{-5}$

1.3 Métodos de reconstrucción.

Realizar una reconstrucción o recubrimiento metálico sirve principalmente para modificar las características superficiales de los materiales. Su selección se basa en tener conocimiento de los requerimientos funcionales, la forma, el tamaño, la metalurgia, nivel de adhesión, y costo del material.

Existen técnicas tales como las de endurecimiento superficial **Tabla 2-1** que se utilizan para colocar materiales resistentes al desgaste estos se ubican en el componente o elemento que presente este problema, se usa comúnmente en recubrimientos metálicos y no metálicos cuyos espesores serán mayores de 50 μm .

La metalización es otra técnica que principalmente se utiliza en recubrimientos duros que presenten una distorsión térmica mínima y proceso de control aceptable.

Por último, se tiene el proceso de soldadura es el preferido en aplicaciones que tengan un espesor de recubrimiento con esfuerzos de unión altos.

Tabla 1-1: Técnicas de endurecimiento superficial.

Técnicas		
Metalización	Soldadura	Revestimiento
A la llama en frío	Llama oxiacetilénico	Soldadura
A la llama en caliente	Arco eléctrico	Láser
Arco plasma	Arco plasma	Explosivos
Plasma de baja presión		Difusión
Detonación		
Arco eléctrico		

Fuente: (BHUSHAN, 1991)

Existen varios elementos que se debe considerar en los recubrimientos superficiales como son: métodos de deposición, medidas del proceso, material del recubrimiento, pre y post calentamiento, etc.

Las técnicas de deposición de endurecimiento se presentan en la **Tabla 3-1:**

Tabla 2-1: Parámetros de procesos de técnicas de deposición de recubrimientos por endurecimiento superficial.

Técnicas de deposición	Tipo de material de recubrimiento	Sustrato	Temperatura de deposición °C	Pre-tratamiento	Post-tratamiento	Adhesión

Metalizado	Metales, aleaciones, cerámicas	Cualquier material	100-150	Con arena	Esmerilado	Regular
Soldadura	Mayoría de metales y aleaciones	Mayoría de metales y aleaciones	900-1400	Limpieza mecánica	Esmerilado	Bueno
Revestimiento	Mayoría de metales y aleaciones	Mayoría de metales y aleaciones	50-1200	Limpieza mecánica	Sin tratamiento	Excelente

Fuente: (BHUSHAN, 1991)

1.3.1 Soldadura. La soldadura según (American Welding Society) “es la coalescencia concreta de los metales y no metales, se debe provocar un calentamiento de los materiales a temperaturas requeridas de soldadura con o sin la aplicación de presión, o mediante la aplicación de presión sola, y con o sin el uso de material de aportación”. (American Welding Society)

1.3.1.1 Proceso de soldadura. Uno de los métodos más comunes para la reconstrucción de piezas es la soldadura, para esto se debe tener en cuenta el tipo de revestimiento a seleccionar, de acuerdo con el tipo de desgaste que se exhiba en el material, ya que el recubrimiento puede conservar resistencias altas en algunos casos del desgaste, pero si este se transforma debido a las condiciones iniciales puede que el recubrimiento no actué de la mejor manera.

Para la soldadura se involucran procedimientos de recubrimiento y relleno; en los cuales el metal de rellenos y la superficie del metal base se funden juntos, se solidifican y por último se re solidifican.

Existen distintos procesos de soldadura como son:

- **Soldadura SMAW.** Shielded Metal Arc Welding.
- **Soldadura OFW:** (Oxigen-Fuel Gas Welding) Su procedimiento consta del oxiacetilénico que se utiliza como fuente de calor que resulta de la quema de la mezcla de acetileno y oxígeno en adecuadas proporciones. Su llama es una de las más calientes ya que alcanza temperaturas de 3842°C (6300 °F), en la mayoría de este tipo de procedimientos se ocupa un material de aporte en forma de varilla, este se ira fundiendo sobre los bordes y de esta manera facilita la formación de la junta.

1.3.1.2 Soldadura SMAW. Soldadura por arco con electrodo metálico revestido. Este tipo de soldadura es el más antiguo y variable de todos los procesos; se efectúa por arco en el cual se

producirá calor con la ayuda de una fuente eléctrica que se origina con un corto circuito entre el electrodo revestido y la pinza, este puede ser de manera continua o alterna; así también el revestimiento del electrodo puede ser celulósico, rútilico y básico. (GIACHINO y WEEKS, 2016 págs. 166,245)

El arco eléctrico se origina al aproximar el electrodo con la pieza, al tener contacto el electrodo se aparta de una manera rápida pero siempre a una corta distancia.

La energía que el arco produce es alrededor de 5500°C; a esta temperatura se puede fundir cualquier metal. Se formará un pozo de metal fundido, en resumen es el procedimiento que da el aporte del electrodo al material base.

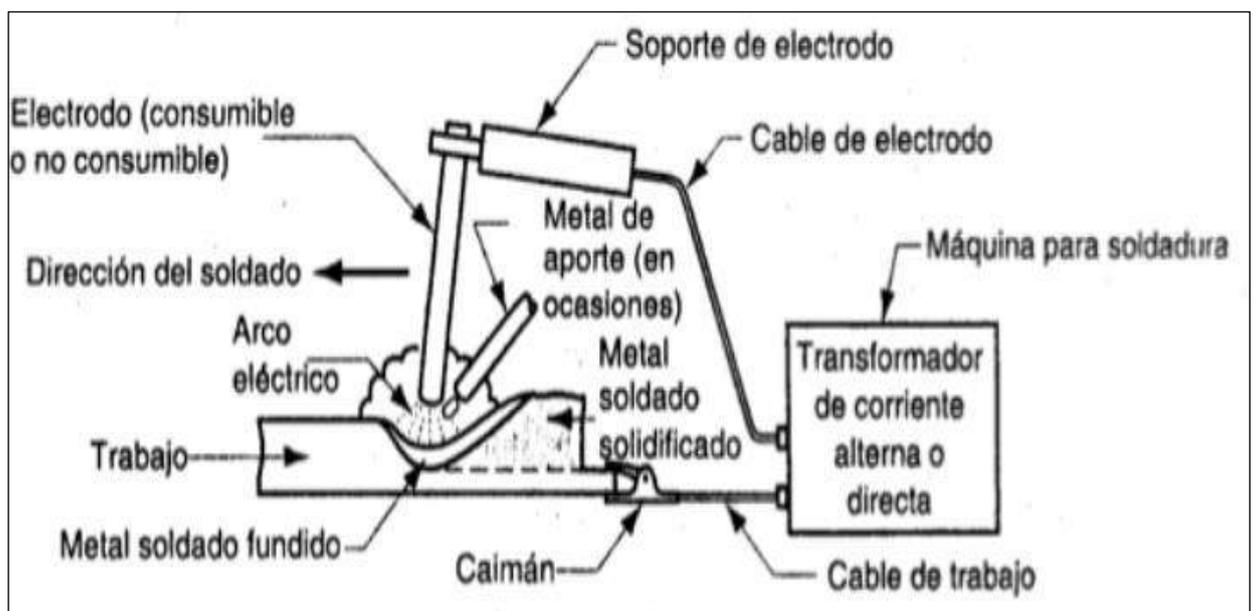


Figura 1-1: Procedimiento por soldadura de arco eléctrico.

Fuente: (GROOVER, 1997)

Para mantener un estándar correcto en el recubrimiento de piezas por soldadura SMAW se debe tener en cuenta:

Tipo de corriente. Se lo puede realizar en corriente alterna como en corriente continua, su elección se precisara por el tipo de fuente disponible, por el tipo de electrodo a utilizar y por el material base. (MANCHEÑO, y FERNÁNDEZ, 2012 pág.25)

Intensidad (Amperaje). Es la cantidad de corriente y dependerá del diámetro y tipo del electrodo; de la posición y tipo de junta. Al escoger amperajes fuera del rango se provocara mordeduras, efecto de soplo magnético, y en alguno casos la presencia de grietas. (MASABANDA y YAURIPOMA, 2009 pág. 41)

Longitud de arco. Es la distancia entre la punta del electrodo y la superficie del charco de soldadura, la cual depende de la clase del electrodo a utilizar, la posición y la intensidad al momento de realizar la soldadura; se debe mantener siempre una longitud adecuada para que el resultado sea de calidad. (PIAUN, 2013)

Tipo de electrodo. Existe una gran cantidad de electrodos en el mercado, pero su selección dependerá de la aplicación requerida, el electrodo debe proporcionar características de resistencia al momento de la unión con el material base. (PIAUN, 2013 págs. 26,27)

Al momento de realizar reparaciones mediante soldadura SMAW se debe tener en cuenta el siguiente procedimiento:

1. Limpiar la parte dañada o zona a reparar.
2. Inspeccionar el área desgastada por medio de inspección visual y / o pruebas no destructivas.
3. Determinar el tipo de material a ser reparado.
4. Seleccionar el electrodo de soldadura
5. Precalentar antes de soldar de ser necesario.
6. Seleccionar y utilizar técnicas apropiadas de soldadura (velocidad de avance, conexión, voltaje adecuado, limpieza, altura controlada de arco, movimiento).
7. Dar un precalentamiento de ser necesario.

Para la soldadura SMAW y su calidad es necesario tener conocimiento de las propiedades físicas, mecánicas; el tamaño, la forma de la soldadura y la solidez de la unión.

Tabla 3-1: Ventajas y desventajas de la soldadura SMAW.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Equipo simple, portátil y de bajo costo.	El desarrollo presenta discontinuidad por la limitación en la longitud del electrodo.
Adecuada para aplicaciones en exteriores	Por tratarse de una soldadura manual, requiere gran pericia por parte del soldador.
Adaptable a una extensa gama de metales, electrodos y posiciones en la soldadura.	Al finalizar el proceso de soldadura puede incluir restos de escoria.
Posee tasas de deposición del metal relativamente altas.	El humo dificulta la inspección del proceso.

Fuente: (GIACHINO y WEEKS, 2016)

1.3.1.3 Selección de electrodos. Un electrodo son barras, hilos o placas que, en los procesos de soldadura, se manipulan para la llegada o salida de la corriente. El que se carga positivamente se llama ánodo y el cargado negativamente cátodo. (AWS, 2001)

El electrodo funciona como material de aportación, su fabricación comúnmente es a base de materiales ferrosos y no ferrosos, se clasifican en electrodos revestidos y desnudos.

El electrodo revestido es importante su utilización para lograr resultados óptimos en la soldadura. Este tipo de electrodo consta de una varilla de metal que se encarga de conducir la corriente eléctrica hacia el metal de aporte **Figura 3-1**, la varilla está cubierta por un revestimiento formado por distintos compuestos químicos (metálicos y no metálicos).

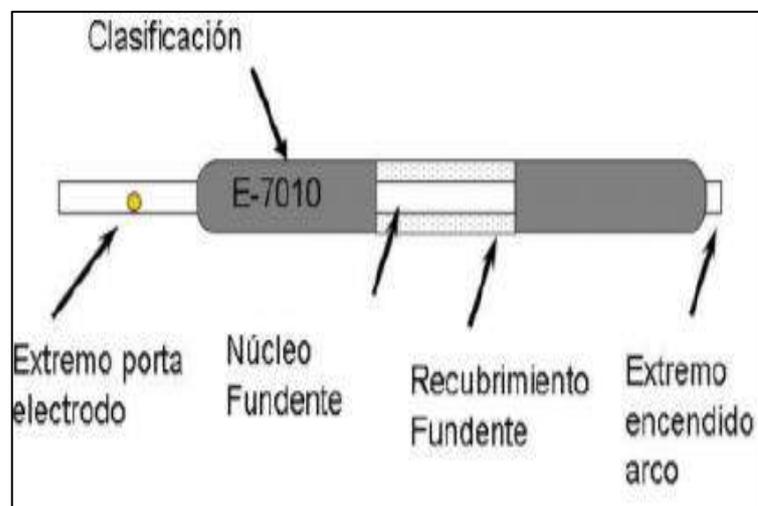


Figura 2-1: Diagrama del electrodo revestido.

Fuente: (SUAREZ, 2018)

El recubrimiento del electrodo es de gran importancia y tiene las siguientes funciones principales: (PIAUN, 2013 pág. 28)

- Mantiene una fusión equilibrada y uniforme en el arco.
- Da origen a la escoria que cubre el material de aporte, de esta manera se evita el enfriamiento brusco y el contacto entre oxígeno y nitrógeno.
- Tiene diferentes elementos que ayudan en la obtención de una buena fusión con los distintos materiales.
- Asegura el arco.

El recubrimiento puede ser:

- Básico o de bajo hidrogeno
- Rutílico
- Celulósico

Tabla 4-1: Clasificación de electrodos según AWS A 5.1.

Clasificación AWS		Tipo de revestimiento	Posición a soldar	Corriente y polaridad
A5.1	A5.1M			
E-6010	E-4310	Celulósico sódico	P, V, SC, H	CCEP
E-6011	E-4311	Celulósico potásico	P, V, SC, H	CA, CCEP
E-6012	E-4312	Rutílico sódico	P, V, SC, H	CA, CCEN
E-6013	E-4313	Rutílico potásico	P, V, SC, H	CA, CCAP
E-6018	E-4318	Potásico, BH - HP	P, V, SC, H	CA, CCEP
E-6019	E-4319	Óxido de hierro, rutílico potásico	P, V, SC, H	CA, CCAP
E-6020	E-4320	Óxido de hierro	H	CA, CCEN
			P	CA, CCAP
E-6022	E-4322	Óxido de hierro	P, H	CA, CCEN
E-6027	E-4327	Óxido de hierro, HP	H	CA, CCEN
			P	CA, CCAP
E-7014	E-4914	Rutílico, HP	P, V, SC, H	CA, CCAP
E-7015	E-4915	Sódico, BH	P, V, SC, H	CCEP
E-7016	E-4916	Potásico, BH	P, V, SC, H	CA, CCEP
E-7018	E-4918	Potásico, BH - HP	P, V, SC, H	CA, CCEP
E-7018M	E-4918M	BH - HP	P, V, SC, H	CCEP
E-7024	E-4924	Rutílico, HP	P, H	CA, CCAP
E-7027	E-4927	Óxido de hierro, HP	H	CA, CCEN
			P	CA, CCAP
E-7028	E-4928	Potásico, BH - HP	P, H	CA, CCEP
E-7048	E-4948	Potásico, BH - HP	P, V-down, SC, H	CA, CCEP

Nomenclatura	CC: Corriente continua	EP: Electrodo positivo	P: Plana
HP: Hierro en polvo	CA: Corriente alterna	EN: Electrodo negativo	V: Vertical
BH: Bajo hidrógeno	AP: Ambas polaridades	SC: Sobrecabeza	H: Horizontal

Fuente: (AWS, 2001)

Electrodo E6011

Conserva un diseño de revestimiento celulósico que se utiliza principalmente en corriente alterna, de igual manera se lo puede utilizar en corriente continua en electrodo positivo.

Muestra solidificación del metal apresurada facilitando así la posición vertical y sobre cabeza de soldadura. Se puede dirigir el arco de manera sencilla en cualquier posición, tolerando velocidades altas de deposición en la soldadura. Sus aplicaciones son:

- Cordón de raíz en cañerías
- Cañerías de oleoductos
- Reparaciones generales
- Estructuras

El electrodo E6011 trabaja con las siguientes intensidades:

Tabla 5-1: Intensidades recomendadas para electrodos E6011.

Diámetro del electrodo (mm)	Intensidad (A)
2,5	50-90
3,25	80-130
4	120-180
5	140-220
6	225-325

Fuente: (GIACHINO y WEEKS, 2016)

Tabla 6-1: Composición química y mecánica del electrodo E6011.

Color de Revestimiento: Blanco		Identificación: Punta Azul			
C	0.08-0.12%	Mn	0.4-0.6%	Si	0.25%
Resistencia a la Tracción		Elongación		Resistencia al Impacto	
48-51 kg / mm ²		24-26%		CHARPY - V	
68.000				Joules	
a				55 - 75	
72.000 lbs./pulg ²				(-29°C)	

Fuente: (AGA pág. 9)

Electrodo E6013

Electrodo representado por una remoción fácil de escoria y un estable y manejable arco. Es conveniente para trabajos sobre planchas delgadas de metal.

Los diámetros mayores son usados en muchas de mismas aplicaciones que el E6012. Los diámetros menores proporcionan menor penetración que el obtenido con el E6012. Sus principales aplicaciones son:

- Cerrajería

- Carpintería metálica
- Muebles metálicos
- Estructuras livianas

Funciona bien en todas las posiciones, se recomienda utilizarlo en corriente alterna. Las intensidades recomendadas son las siguientes:

Tabla 7-1: Intensidades recomendadas para electrodos E6013.

Diámetro del electrodo (mm)	Intensidad (A)
1,5	20-40
2	25-50
2,5	30-80
3,25	80-120
4	120-190
5	140-240
6	250-350

Fuente: (GIACHINO y WEEKS, 2016)

Tabla 8-1: Composición química y mecánica del electrodo E6013

Color de Revestimiento: Gris Claro			Identificación: Punta Azul		
C	0.09%	Mn	0.5%	Si	0.3%
Resistencia a la Tracción			Elongación		
48-56 kg./mm ²			20- 22%		
68.000-80.000 Lb/pulg. ²					

Fuente: (AGA pág. 13)

Electrodo E7018

Electrodo de bajo contenido de hidrógeno. Se caracteriza por depósitos de calidad radiográfica, arco fácil de establecer, excelentes características operativas, fácil desprendimiento de escoria y excelente presentación. Se aplica en:

- Construcción
- Reparación de cañerías

Tiene una velocidad de aportación grande además deposita un material el cual es capaz de superar controles radiográficos. Se permite soldadura en todas las posiciones; puede trabajar con corriente alterna y continua en polaridad inversa. (GIACHINO y WEEKS, 2016 págs 79,81)

Se recomienda las siguientes intensidades:

Tabla 9-1: Intensidades recomendadas para electrodos E7018.

Diámetro del electrodo (mm)	Intensidad (A)
2,5	70-120
3,25	100-150
4	120-200
5	200-275
6	300-400

Fuente: (GIACHINO y WEEKS, 2016)

Tabla 10-1: Composición química y mecánica del electrodo E7018.

Color de Revestimiento: Gris		Identificación: Punta Blanca			
C	0.08%	Mn	1.0%	Si	0.6%
Resistencia a la Tracción		Elongación		Resistencia al Impacto	
54-57 kg/mm ²		30 - 34%		CHARPY-V	
76.000				Joules	
81.000 lbs/pulg ²				70 - 90 (-29°C)	

Fuente: (AGA pág. 15)

1.4 Métodos de ensayo de desgaste.

Existen distintos métodos cuando se presenta desgaste en materiales; por ejemplo, cuando el desgaste es demasiado grande el método más recomendado es el cambio de volumen o masa ya que este es el más sencillo y económico.

Si se identifica un mínimo desgaste en la pieza, se utilizan comúnmente técnicas para la detección del cambio de volumen, estos llegan a ser procedimientos costosos, pero de mayor exactitud, porque se utilizan equipos de mejor precisión para conseguir la medición más concreta respecto al cambio de peso en las probetas del experimento

La pérdida de masa o volumen también se la conoce como la cantidad de desgaste la cual se puede obtener dividiendo la pérdida de masa para la densidad del material. Esto se utiliza con el

fin de comparar el desgaste y las mediciones lineales que se convierten a volumen. Para esto se emplean relaciones geométricas que muestran la conversión. (BHUSHAN, 1991 pág. 13.56)

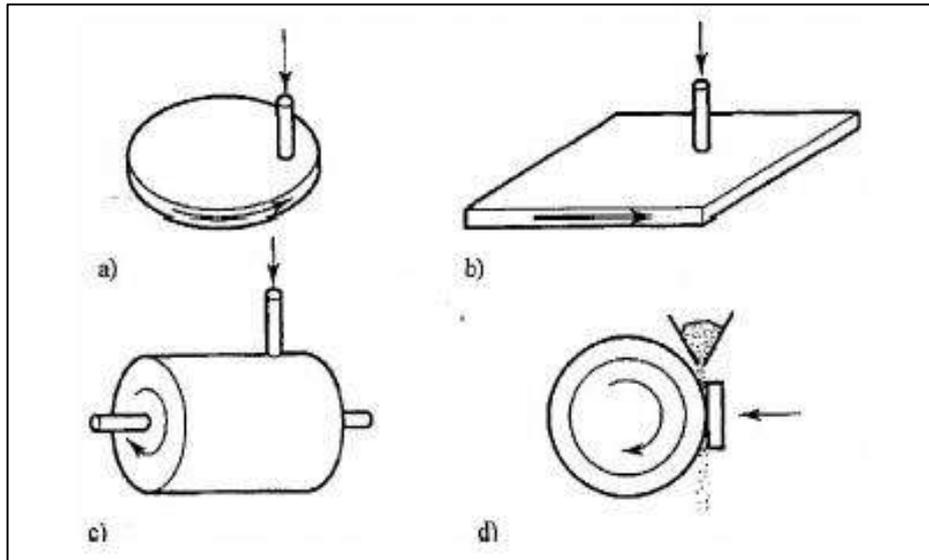


Figura 4-1: Métodos comunes para medir razones de desgaste

Fuente: (AGUILAR, 2009)

1.4.1. Características de las normas. Para llevar a cabo ensayos de desgaste existen distintas normas que mediante diferentes pruebas facilitan la medición de parámetros como es el desgaste, algunas de estas normas son ASTM, ISO, AGMA, DIN, etc.

Por la influencia que mantiene Estados Unidos en nuestro país las de mayor utilización son normas ASTM.

Tabla 11-1: Normas ASTM para pruebas de desgaste severo.

Numero	Nombre de la norma
G65-94	Método estandarizado de un equipo de prueba para la medición del desgaste abrasión que usa la rueda de caucho con arena seca
G77-97	Método estandarizado de prueba para determinar el grado de resistencia del material al desgaste por deslizamiento, en donde se utiliza el bloque sobre anillo
G81-97	Practica estandarizada de prueba para la abrasión con una mandíbula trituradora
G83-96	Método de prueba normalizado para el desgaste en un aparato de cilindros cruzados.
G99-95	Método de prueba estandarizado para el desgaste, con un aparato de perno sobre disco

G117-98	Guía estandarizada para el cálculo y el reporte de medidas con precisión que usa los datos proporcionados por pruebas de desgaste y fricción de los laboratorios.
G132-96	Método estandarizado de prueba, para la comprobación de la abrasión de perno.

Fuente: www.astm.com

1.4.2. Aplicación de la norma. ASTM G 83-96. La norma técnica ASTM G83 – 96 normaliza el ensayo de desgaste con un equipo de cilindros cruzados.

Presenta una prueba de laboratorio que determina el desgaste que se produce por la fricción entre dos materiales.

Un cilindro rotativo y uno estático son elementos principales que participan en la prueba, en estos elementos sus ejes se deben posicionar perpendicularmente.

Este ensayo se puede realizar con diferentes materiales, siempre teniendo en cuenta que las dimensiones específicas puedan soportar los esfuerzos que se produzcan durante la prueba, no pueden mostrar falla o flexión excesiva.

Antes de realizar la prueba se debe tener conocimiento de la composición, tratamientos térmicos que se hayan sometido y su dureza.

Las dimensiones de las probetas que se sometan a la prueba deben ser las siguientes:

- 12,7 mm. (0,5 pulg.) de diámetro
- 102 mm. (4 pulg.) de largo.

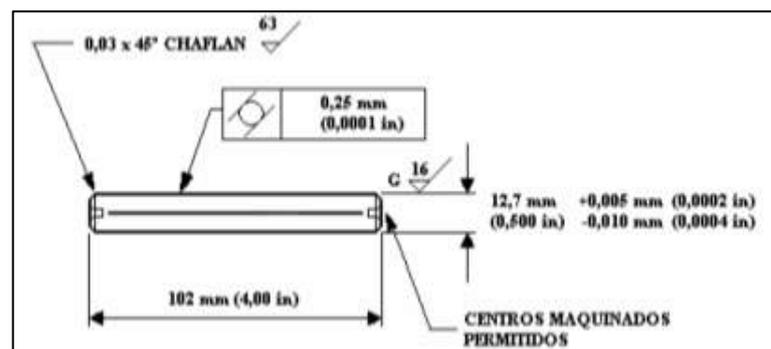


Figura 5-1: Especificaciones de la probeta.

Fuente: ASTM G83-96

La norma ASTM G 83-96 establece tres tipos de ensayos cada uno con parámetros distintos que se detallan en la **Tabla 9-1:** (ASTM, 1996)

Tabla 12-1: Parámetros de la prueba.

Procedimiento	Fuerza Aplicada			Revoluciones	Velocidad (rpm)
	(N)	(Kgf)	(lb)		
A	71,2	7,26	16	80000	400
B	71,2	7,26	16	40000	400
C	71,2	7,26	16	10000	100

Fuente: ASTM G83-96

Al finalizar la prueba se obtienen resultados como es el volumen perdido de cada material y el volumen perdido del par tribológico.

1.5 La fricción seca.

Generalmente en el campo de la mecánica y física el término de fricción seca es conocido como “fricción de Coulomb”. En este tipo intervienen distintos factores como son la rugosidad que conserva el acabado de los materiales, la fuerza que es empleada y las proporciones del deslizamiento son los factores más importantes. Existen otros factores que intervienen en este tipo de fricción, así como las interacciones al nivel molecular de los materiales.

Una disminución de la fricción seca y la viscosidad beneficia a los materiales y a su reducción de pérdidas totales. Para lo cual es indispensable que los materiales sometidos al contacto seco conserven un esquema apropiado en su geometría, terminado y sus entornos de operación. (MORON, 2012 págs. 19,20)

1.5.1 Mecánica de contacto. Si dos superficies se encuentran en contacto sin ningún tipo de lubricación, su fricción y desgaste penderán del tipo de anomalías superficiales que se exhiban, por esta razón es de importancia el estudio de la mecánica de contacto, cuya salida se descubre en la relación de la geometría de la superficie y la distribución de la presión.

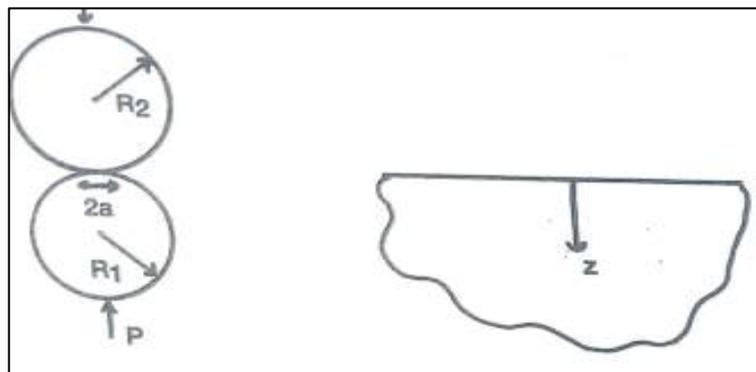


Figura 6-1. Cilindros que entran en contacto por una carga.

Fuente: (POPE, 2000)

1.5.1.1 *Superficies en contacto.* Su origen se ubica en el punto en el que ambos cilindros empiezan su contacto. Por lo que puede presentar los siguientes casos:

Deformación elástica. Aparece el momento en el que la carga aplicada y la adhesión no dan como resultado la aparición de esfuerzos en la zona de contacto.

El material presentara un daño o desgaste, si existe fatiga por fricción

Deformación Plástica. Ocurre al aplicar una fuerza que supere el valor crítico el límite elástico al momento de estar en contacto ambas superficies.

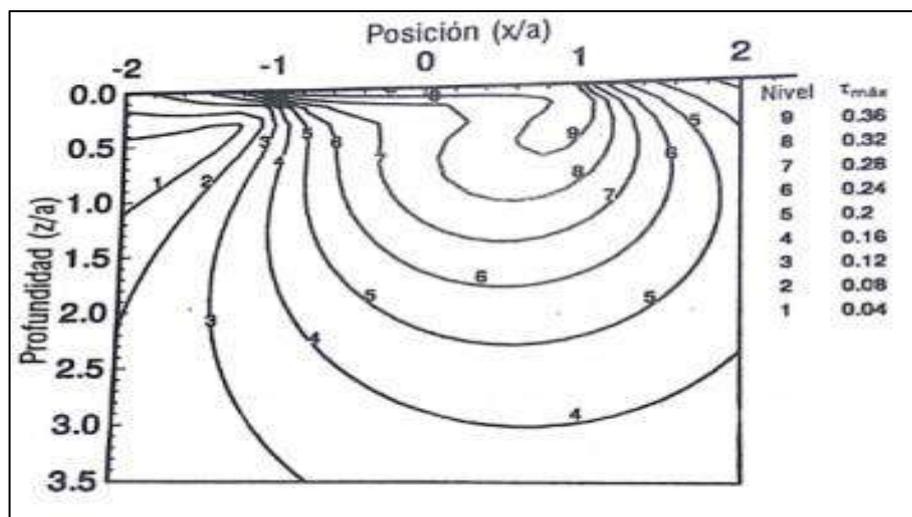
De esta manera origina una zona plástica rodeada de la deformación elástica el material

Micro corte. Cuando los esfuerzos al momento de la deformación logran valores altos que son capaces de ocasionar daños en el flujo del material, teniendo como resultado la deformación alrededor de la aspereza penetrante.

Perturbación de la Adhesión. Se aumentan los esfuerzos de contacto y resulta la formación de deformaciones con procesos de fatiga.

Ruptura Cohesional. Da su aparición cuando el enlace de fricción es mayor que la resistencia del material provocando rasgaduras. (TRISTANCHO et al.,2007 pág. 188)

1.5.1.2 *Efecto de la fricción en el esfuerzo por contacto.* Si las superficies en contacto se cargan en forma tangencial o normal y se deslizan uno sobre otro, se tendrá un resultado de esfuerzo cortante, dicho esfuerzo actúa para oponerse al movimiento tangencial que presente cada material.



Gráfica 1-1: Contornos de esfuerzo, la carga se desliza de izquierda a derecha.

Fuente: (POPE, 2000)

Si se carga los materiales de forma tangencial de manera que se deslice una respecto a la otra, se obtendrá un esfuerzo cortante máximo en la superficie inferior, así mismo “disminuirá el esfuerzo de tensión de la superficie en el borde principal de contacto y se aumentara el borde trasero de contacto.” (POPE, 2000 pág. 232)

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Selección de materiales para probetas de ensayo.

Esta prueba se basa en materiales que comúnmente se usan en la industria, para esta selección se tomó en cuenta como material antifricción al bronce fosfórico (contra probeta o parte fija) sobre al acero AISI 1018, con recubrimiento (probeta o parte móvil).

Tabla 1-2: Propiedades químicas del bronce fosfórico y acero AISI 1018.

Propiedades Químicas:	
Bronce Fosfórico	Acero AISI 1018
%Cu 85,0 - 88,0	0.15 – 0.20% C min
%Pb 1,0 - 1,5	0.60 – 0.90% C max
%Zn (máx.) 0,5	0.04% P máx.
%Ni 0,8 - 1,5	0.05% S máx
%Sn 10,0 - 12,0	

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

2.1.1 Fabricación de probetas. El maquinado fue en un torno universal a 600 rpm con una cuchilla N° 17. Las dimensiones de cada probeta se realizaron con las especificaciones de la norma aplicada ASTM G83-96.



Figura 1-2: Torno universal SM.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

El número de probetas que se obtuvo para la realizar las pruebas es por medio de un diseño experimental, obteniendo dieciséis probetas de bronce fosfórico y dieciocho probetas de acero AISI 1018.

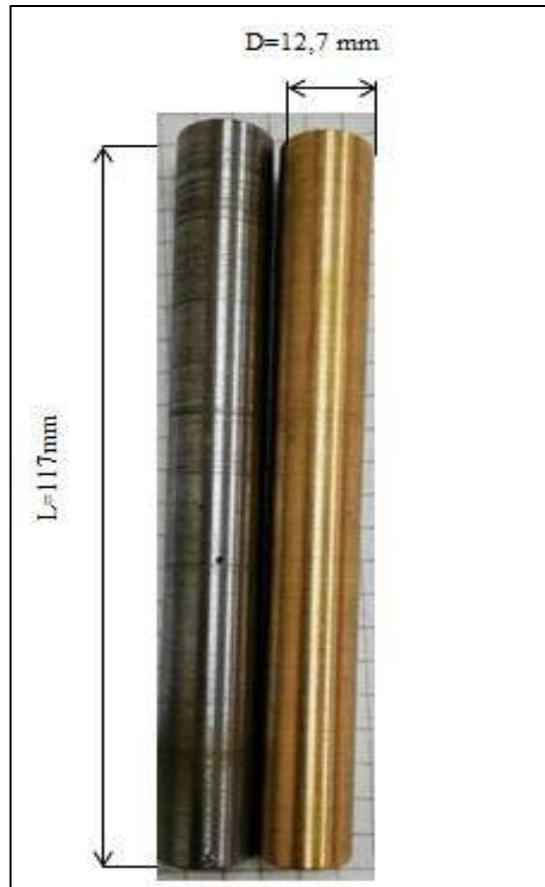


Figura 2-2: Dimensiones de las probetas (ASTM G83-96).

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

Se usó este método de diseño completamente al azar, ya que este diseño es económico y permite cumplir con las pruebas se base en las necesidades de la investigación.

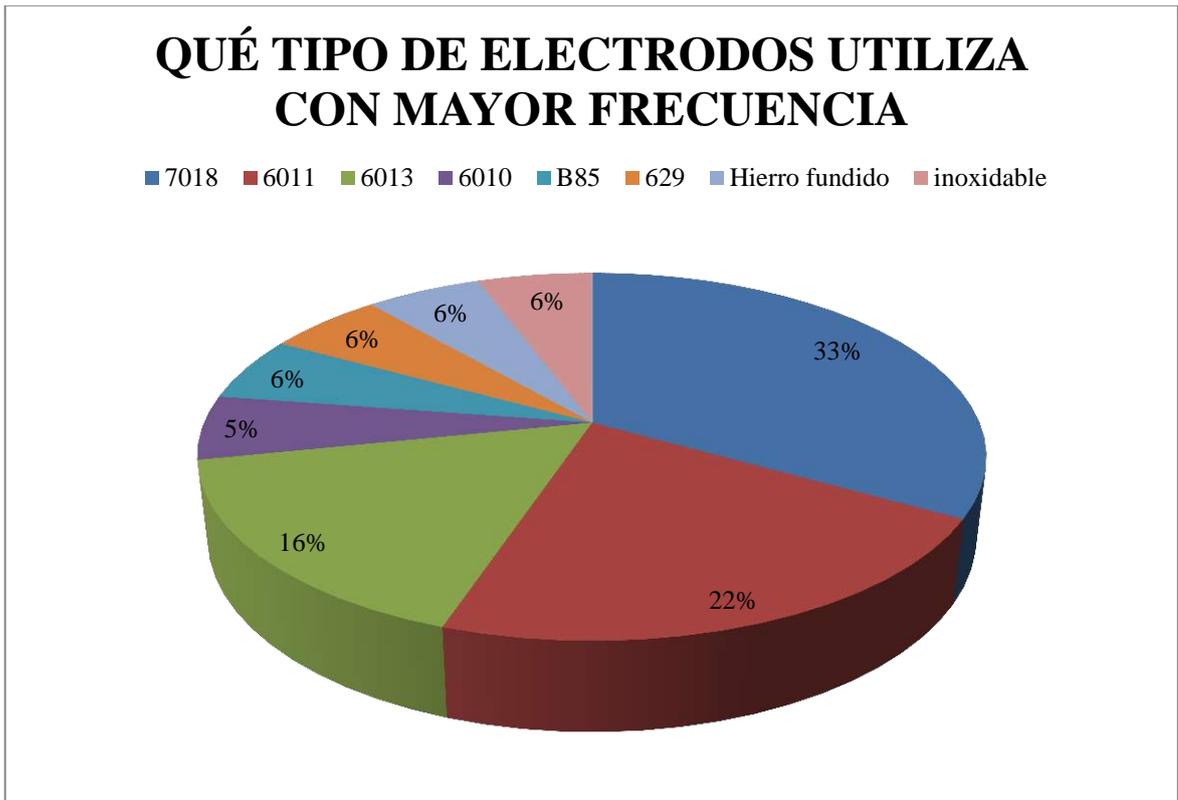
2.1.2 Selección de electrodos y recargue por soldadura. Con la obtención de las probetas el siguiente paso de esta prueba es realizar recubrimientos en las probetas de acero AISI 1018 mediante electrosoldadura.

Para cumplir con los objetivos se obtuvieron tres distintos electrodos que ayudan a dar una evaluación y recomendación al recubrimiento más aceptable para los materiales designados en trabajo de fricción seca.

Los electrodos utilizados para el ensayo fueron determinados por una encuesta realizada a talleres especializados en reparación de elementos mecánicos. **Anexo G.**

Los resultados obtenidos arrojaron que realizan trabajos de recuperación de piezas mayormente con electrodos E7018 seguidos de electrodos E6011 y por último el E6013 **Grafico 1-2** convirtiéndose así en los electrodos que se utilizaron en la prueba de fricción seca.

Se destinó seis probetas para cada electrodo.



Gráfica 1-2: Electrodo utilizado con mayor frecuencia.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

El proceso de recarga o relleno de las probetas anteriormente desbastadas para sus respectivas pruebas, se obtiene por soldadura SMAW, para lo cual se efectuó un plan de soldadura mediante el cual se especifican las variables esenciales (del proceso) y no esenciales (térmicas) que ayudan al momento de realizar la soldadura. **Tabla 2-2**

De igual manera se realizó las especificaciones de proceso (WPS), documento que sirve como guía en el mismo se muestra las directrices para realizar la soldadura con base en requerimientos del código ASME sección IX **Anexo F.**

Tabla 2-2: Plan de soldadura del Acero AISI SAE 1018 con recargue E6011

VARIABLES TÉRMICAS										
5.1.1	5.1.4	5.2	5.3		5.4	5.6	5.7	5.8		
		5.2.1								
QW-403	QW-403	QW-403	QW-406			QW-407	QW-402	QW-405		
Material 1	# P 1	Espesor	T° de Pre-Calentamiento		T° entre Pases	PWHT	Recargue	Posición		
AISI SAE 1018	1	12,7 mm	70°C - 100°C		70°C - 100°C	N/A	Unión con recargue	1G	1F	
VARIABLES DEL PROCESO										
5.9	5.10			5.10.3		5.12		5.12	5.13	
	5.10.1	5.10.2	5.10.3		5.12.1		5.12.1		QW-410	
	QW-404			QW-404 6/7		QW-409				
MATERIAL APORTE				DIÁMETROS(mm)		TIPO DE CORRIENTE		AMPERAJE (A)		TÉCNICA
PROCESO	QW-432	QW-442	ELECTRODO	Raíz	Relleno	Raíz	Relleno	Raíz	Relleno	Cordón: Recto Pase: Múltiple
	# F	# A								
SMAW	4	1	SFA 5.1 E7018	3,25	3,25	DC-	DC+	80	110	

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

De esta manera se tiene la formación de pares tribológicos:

Tabla 2-2: Pares tribológicos para el ensayo de fricción seca (ASTM G83-96).

Pares tribológicos		
Bronce fosfórico	Sobre	Acero AISI 1018 con recubrimiento E6011
		Acero AISI 1018 con recubrimiento E6013
		Acero AISI 1018 con recubrimiento E7018

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

2.1.3 Medición de dureza. Para el ensayo de dureza se tomó como referencia la norma ASTM E 18-03 (Métodos de prueba estándar para la dureza Rockwell y la dureza superficial Rockwell de materiales metálicos), que se refiere al método por indentación el cual mide la profundidad bajo parámetros específicos.

El objetivo de cumplir este ensayo es el de evaluar la dureza del acero con recubrimiento y bronce fosfórico, antes y después de la ejecución de la prueba de fricción seca para posteriormente realizar su comparación.



Figura 2-2: Durómetro Brinell Rockwell Vickers.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

Para esta prueba se empleó el durómetro marca Hardness Testers modelo HBRV-187.5, ubicado en el laboratorio de materiales de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. **Figura 3-2.**

Las probetas a realizar el ensayo se detallan en la **Tabla 4-2.**

Tabla 4-2: Probetas para el ensayo de dureza de los materiales.

Material	N. Probeta
Acero AISI 1018 con recubrimiento E6011	D-01
Acero AISI 1018 con recubrimiento E6013	D-02
Acero AISI 1018 con recubrimiento E7018	D-03
Bronce Fosfórico	D-04

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

El procedimiento de este ensayo empieza con la calibración del durómetro se seleccionó una carga de 1839 Newtons para la escala Rockwell B y un penetrador esfera de acero.

Una vez calibrado el durómetro, se colocó la primera probeta en la mesa o base del durómetro, de manera que la superficie de la probeta coincida con el indentador.

Una vez estabilizado se calibro la escala del durómetro y se procedió a aplicar la carga; esta prueba tuvo una duración de 5 minutos.

Se realizó tres penetraciones con el indentador. **Figura 3-2**

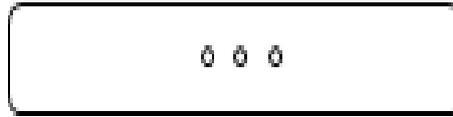


Figura 3-2: Penetraciones del material base y antifricción.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

2.1.4 Microestructura. Para dar cumplimiento a uno de los objetivos específicos establecido se ejecutan ensayos metalográficos, cuyo fin es identificar la microestructura existente en el acero con recubrimiento y bronce fosfórico; antes y después de la prueba de fricción seca para posteriormente realizar el análisis.



Figura 4-2: Microscopio metalográfico.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

El ensayo se realizó en el laboratorio de materiales de la facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se utiliza el microscopio metalográfico modelo VE-146, la cámara digital marca Panasonic modelo WV-CP454 y la pantalla de visualización marca Sony.



Figura 5-2: Cámara digital.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

Los ensayos metalográficos se ejecutaron con la siguiente metodología para determinar su microestructura:

- a) Se realizó la preparación de la superficie para tener una mejor manipulación, se maquinaron las probetas en el lugar del recubrimiento con dimensiones de 12 mm de diámetro y 20 mm de longitud.

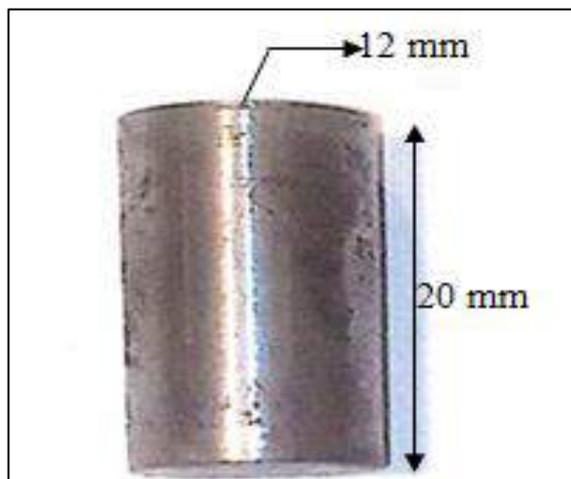


Figura 6-2: Dimensiones de las probetas después del maquinado.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

- b) Posteriormente se realizó el desbaste de la superficie para lo cual se utilizó tres tipos de lijas de numeración; 400, 600 y 1500 (granos/pulgada²) en esta ultima el desbastado es más delicado. En cada lija se emplea un tiempo estimado de 7 minutos.



Figura 7-2: Lijado de probeta.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

- c) Una vez desbastado las probetas, se procedió a pulir cada una de las superficies hasta tener una superficie “espejo”.
- d) En este proceso se empezó con una velocidad baja mientras se va aplicando Oxido de Aluminio en el paño.
- e) Para terminar el proceso de pulido se ejecuta a una velocidad alta, esto se efectuó hasta que la probeta obtuvo una superficie “espejo”.



Figura 8-2: Superficie espejo del
bronce fosfórico.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

- f) Por último, se sometió a un ataque químico de Nital al 4%, con un tiempo de exposición de 15 segundos en el acero AISI 1018 con recubrimientos. Con un tiempo de 10 segundos el bronce fosfórico fue atacado químicamente con CuNi.

2.2 Ensayo de fricción y desgaste

Una vez que se terminó la fase de preparación de las probetas para sus respectivas pruebas, nos ubicamos en el laboratorio de Tribología de la Escuela de Mantenimiento Industrial de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Se procede de la siguiente manera:

- a) Para ingresar al laboratorio se debe portar mandil y guantes.
- b) Limpieza de la probeta y contra probeta, que consiste en la colocación de alcohol secado con algodón. Esto se lo debe realizar al inicio y al final de cada prueba, ya que así lo dice la norma que se está aplicando para la realización de esta investigación.
- c) Una vez limpias las probetas que se van a someter al ensayo de fricción seca, se procede a pesar las mismas en la balanza de precisión electrónica. **(Se debe revisar que la balanza se encuentre correctamente calibrada.)**



Figura 9-2: Balanza de precisión electrónica.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

- d) Tomados los datos de la probeta (parte móvil) y contra probeta (parte fija), se ubican en la máquina de cilindros cruzados ubicando la probeta en el contra punto de la parte inferior del portaherramientas y la contra probeta en la parte superior es decir en la prensa.



Figura 10-2: Máquina de cilindros cruzados.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

- e) Realizar una inspección, la cual consiste en verificar el correcto ajuste de la probeta y contra probeta.
- f) Colocar y se encender el reloj comparador de base magnética sobre el contrapeso



Figura 11-2: Reloj comparador y base magnética.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

- g) Se conecta y comunica la computadora con la tarjeta NI myRIO a través de un cable USB, el computador del laboratorio reconocerá al dispositivo y abrirá una ventana con opciones para el acceso al programa TRIBOLOGIA.



Figura 12-2: Tarjeta NI myRIO.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

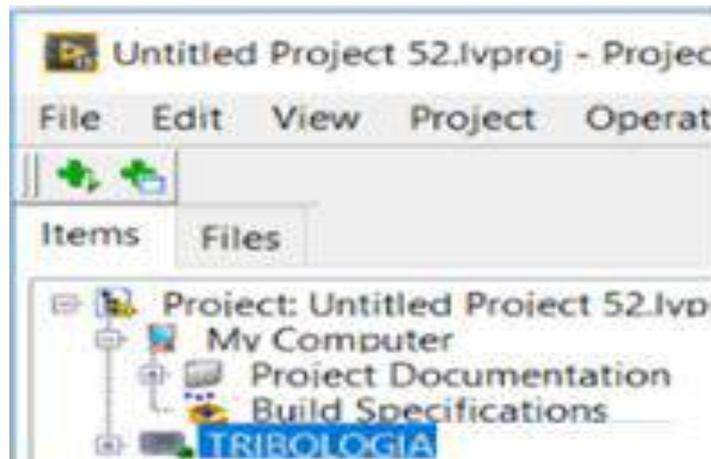


Figura 13-2: Interfaz de ingreso al programa TRIBOLOGIA.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

h) Introducir los parámetros con los que se desea trabajar durante el ensayo

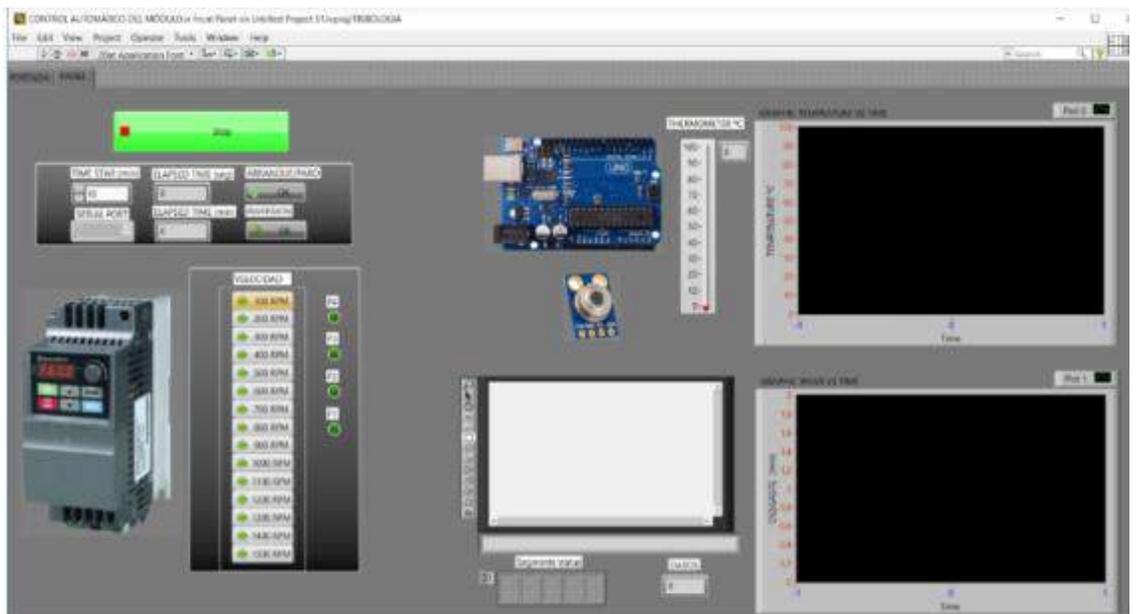


Figura 14-2: Interfaz de usuario (Panel de control).

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

- i) Inspeccionar el equipo revisando que sus conexiones se encuentren correctas. Y procedemos al encendido del breaker de protección y del guarda motor del modulo
- j) Se inicia la prueba a través del programa y se espera su terminación
- k) Una vez finalizada la prueba se procede a la desconexión del módulo, y se desmonta la probeta y contra probeta.
- l) Limpiar la probeta y contra probeta, así como recomienda la norma.
- m) Se procede a tomar datos del peso final de cada una en la balanza electrónica.

2.2.1 Selección de parámetros de ensayo. Para realizar correctamente las pruebas de fricción seca se eligió parámetros adecuados para ejecutar cinco pruebas con cada par tribológico estos parámetros están establecidos en la norma ASTM G83-96 **Tabla 5-2.** Fueron introducidos en el programa de tribología:

Tabla 5-2: Parámetros para ensayo de fricción seca.

Parámetro	Valor
Velocidad	400 RPM
Tiempo	50 min
Carga	71,2 N

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

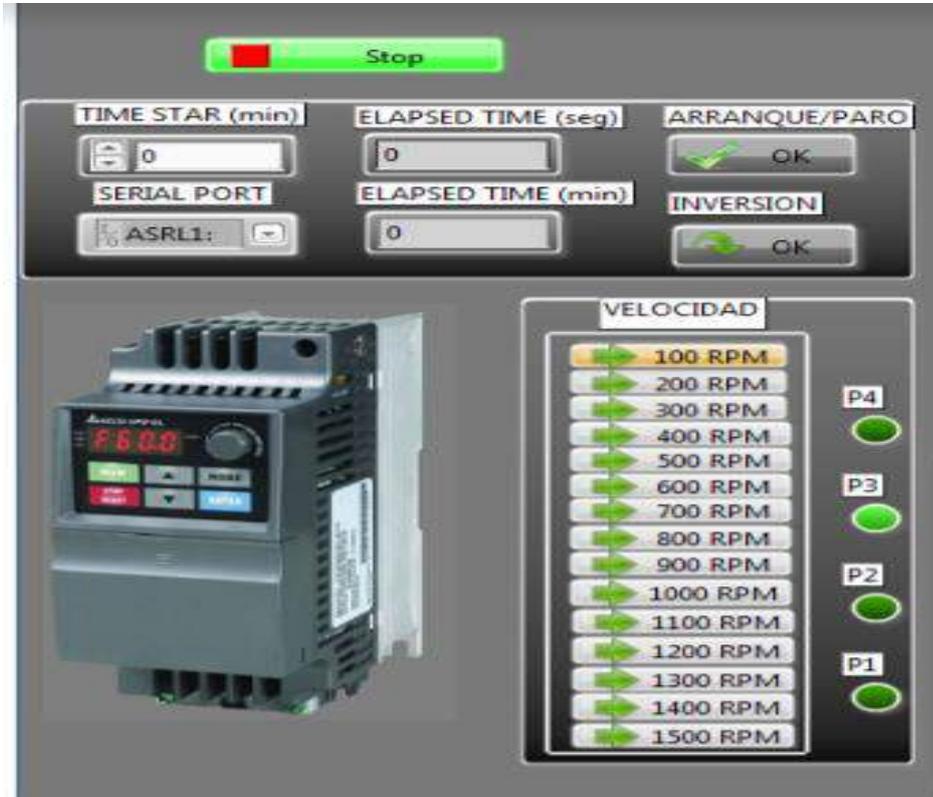


Figura 15-2: Parámetros de ensayo en el programa de tribología.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

2.2.2 Metodología del ensayo. Para acatar la norma aplicada y cumplir con las necesidades de las pruebas de fricción seca se realizaron quince ensayos en total; cinco con cada recubrimiento, de esta manera se obtuvieron tres tipos de datos:

- a) Pesos de inicio y final de cada una de las probetas y contra probetas; para esto se utilizó la balanza electrónica, modelo EJ320A con una precisión de 0,001 g.

Tabla 6-2: Datos de pesos iniciales y finales de las probetas móviles.

Descripción		Gramos	
N.	Probeta	Peso inicial	Peso final
A-1	6011	96,964	96,945
A-2	6011	97,434	97,433
A-3	6011	98,097	98,096
A-4	6011	97,563	97,561
A-5	6011	97,156	97,155
B-1	6013	97,891	97,891
B-2	6013	96,532	96,529
B-3	6013	96,307	96,301
B-4	6013	96,580	96,530
B-5	6013	98,368	98,368
C-1	7018	101,851	101,851
C-2	7018	95,950	95,947
C-3	7018	98,781	98,773
C-4	7018	98,694	98,694
C-5	7018	99,694	99,685

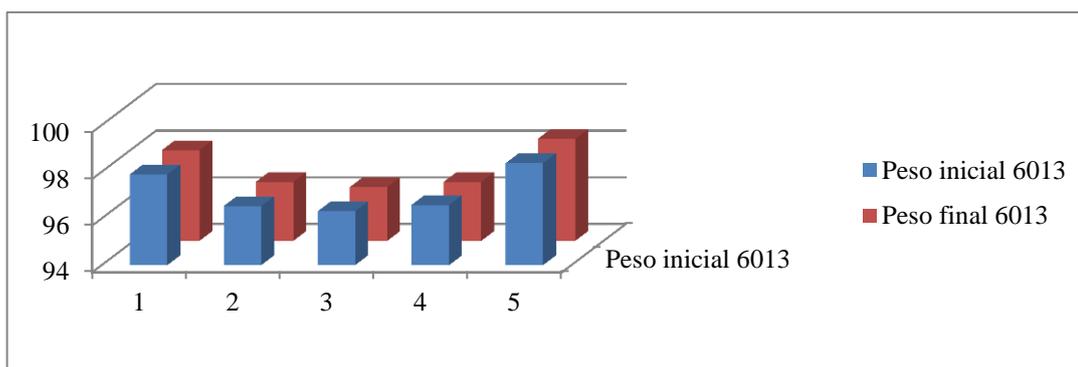
Realizado por: Andino, Dayana, 2020

Tabla 7-2: Datos de pesos iniciales y finales de la contra probeta (fija).

Descripción		Gramos	
N.	Contra probeta	Peso inicial	Peso final
A-1	bronce fosfórico	100,402	100,00
A-2	bronce fosfórico	100,802	100,437
A-3	bronce fosfórico	99,984	99,589
A-4	bronce fosfórico	100,116	99,684
A-5	bronce fosfórico	99,68	99,275
B-1	bronce fosfórico	98,153	97,719
B-2	bronce fosfórico	100,048	99,599

B-3	bronce fosfórico	100,271	99,862
B-4	bronce fosfórico	100,111	99,617
B-5	bronce fosfórico	100,061	99,628
C-1	bronce fosfórico	100,12	99,772
C-2	bronce fosfórico	100,117	99,764
C-3	bronce fosfórico	100,158	99,719
C-4	bronce fosfórico	99,937	99,527

Realizado por: Andino, Dayana, 2020



Gráfica 2-2: Pesos iniciales y finales del acero AISI SAE 1018 con recubrimiento E6013.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

A continuación, se muestra datos del desgaste y temperatura, durante un tiempo de 50 min de prueba, en la tabla se aprecia los datos del desgaste, temperatura y el tiempo de recorrido, estos datos se obtienen mediante el programa de tribología instalado con la máquina de cilindros cruzados.

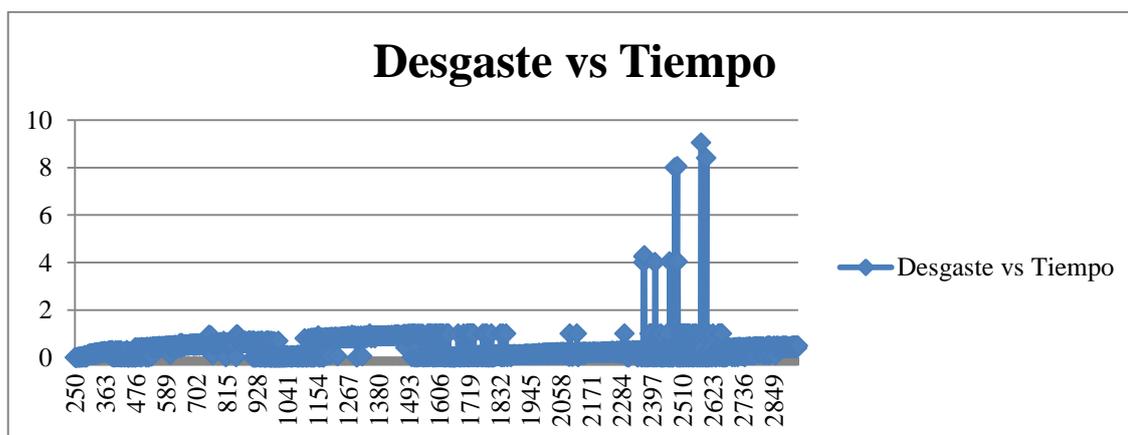
Tabla 8-2: Datos de desgaste y temperatura del bronce fosfórico sobre material con recubrimiento E6011, en la zona de contacto.

Tiempo (s)	Desgaste (mm)	Temperatura (°C)
250	0	22
251	0	22
252	0	21
253	0	21
254	0	21
255	0,0001	21
256	0,0001	21
257	0	21
258	0,0004	21
259	0	21

260	0,004	21
261	0,005	21
262	0,008	21
263	0,009	21
264	0,004	21
265	0,002	21
266	0,002	21
267	0,02	21
268	0	21
269	0,022	21
270	0,016	21
271	0,02	21
272	0,01	21
273	0,022	21
274	0,016	21
275	0,01	21
.	.	.
.	.	.
.	.	.
2939	0,49	26

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

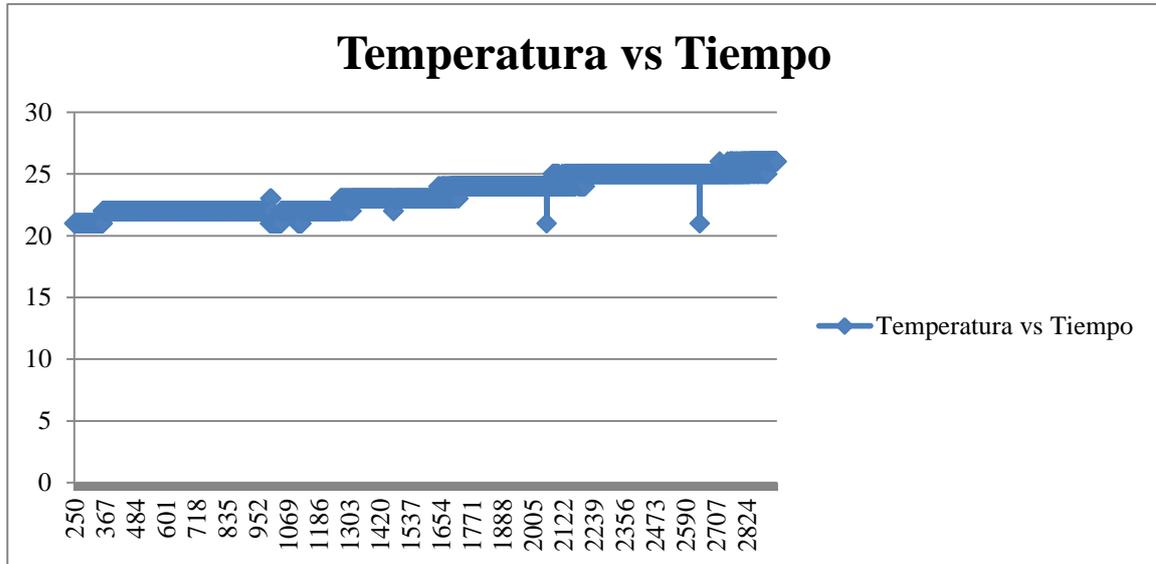
Además, el programa de Tribología también nos arroja graficas del comportamiento de cada segundo del desgaste con el tiempo.



Gráfica 3-2: Desgaste vs Tiempo (prueba de bronce fosfórico sobre material con recubrimiento E6011).

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

Al igual que el desgaste, la temperatura también muestra un esquema vs tiempo sus datos son tomados cada segundo para realizar la gráfica.



Gráfica 4-2: Temperatura vs Tiempo (prueba de bronce fosfórico sobre material con recubrimiento E6011).

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

2.2.3 Diseño de experimentos. El método seleccionado para el desarrollo en el diseño de experimentos fue el análisis de varianza (ANOVA) el cual se ajusta a las necesidades del ensayo; este diseño es significativo porque permite la comparación de diferentes grupos; en este caso los recubrimientos (variable cuantitativa) y el método LSD (FISHER), sirve principalmente para obtener un dato puntual para aceptar o rechazar la hipótesis.

Estos métodos fueron desarrollados a través de Excel y graficas en Minitab18

Objetivo: El desgaste que tiene los recubrimientos con electrodos E6011, E7018 y E6013 sobre el bronce fosfórico bajo condiciones de fricción seca.

Hipótesis:

H0: 6011=6013=7018 (Todos los recubrimientos con electrodos proporcionan el mismo resultado)

H1: 6011 ≠ 6013 ≠ 7018 (Existe al menos un par de recubrimientos distintos)

Análisis:

1. Observaciones de cada ensayo; el cual es un promedio de los datos del desgaste.
2. La suma y promedio de las observaciones de cada electrodo.

Tabla 9-2: Valores obtenidos durante la prueba de fricción seca.

Electrodo	n	Observaciones de desgaste					Suma	Promedio
6011	5	0,81	0,38	0,73	0,79	0,28	2,99	0,598
6013	5	0,91	1	1,17	0,75	0,91	4,74	0,948
7018	5	0,19	0,16	0,15	0,37	0,66	1,53	0,306

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

3. Obtener media global, total de n , suma de datos y la suma de sus cuadrados

$$Sd = \Sigma(Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n) \quad (1.2)$$

$$Sdc = \Sigma(Y_1^2 + Y_2^2 \dots + Y_n^2) \quad (2.2)$$

$$Media\ global = \frac{Sd}{N} \quad (3.2)$$

$$N = \Sigma n \quad (4.2)$$

Dónde:

Sd: suma de datos

Sdc: suma de cuadrados (datos)

Y: datos del desgaste tomados en la prueba de fricción seca

N: total de mediciones

4. Establecer el valor del efecto del recubrimiento

$$Efecto\ recubrimiento = P - media\ global \quad (5.2)$$

Dónde:

P: promedio

5. Resolver los parámetros de suma de cuadrados del recubrimiento, suma de cuadrados de erros y la suma de cuadrados total

$$SCTr = \frac{\sum (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)}{n} - \frac{Sd^2}{N} \quad (6.2)$$

$$SCE = SCT - SCTr \quad (7.2)$$

$$SCT = Sdc - \frac{sd^2}{N} \quad (8.2)$$

Dónde:

SCTr: Suma de cuadrados recubrimiento

SCE: Suma de cuadrados de error

SCT: Suma de cuadrados total

X: Suma de datos de cada recubrimiento

6. Construir la tabla ANOVA

Grados de libertad

$$\mathbf{Recubrimiento} = \text{número de electrodos} - 1 \quad (9.2)$$

$$\mathbf{Error} = N - \text{número de electrodos} \quad (10.2)$$

Cuadrado medio

$$\mathbf{Recubrimiento} = \frac{SCTr}{\text{Grados de libertad recubrimiento}} \quad (11.2)$$

$$\mathbf{Error} = \frac{SCE}{\text{Grados de libertad error}} \quad (12.2)$$

Prueba F observada

$$\mathbf{Fo} = \frac{\text{Cuadrado medio recubrimiento}}{\text{Cuadrado medio error}} \quad (13.2)$$

7. Determinar datos para el método Fisher (LSD), para comprobar o rechazar H1

$$\mathbf{LSD} = \sqrt{\text{Cuadrado medio error}} * \sqrt{\frac{x_i}{n} + \frac{x_j}{n}} \quad (14.2)$$

8. Graficas de control mediante el software MiniTab18

Ingresar la tabla de datos en columnas

	C1	C2	C3
1	*	*	*
2	1	6011	0,81
3	2	6011	0,38
4	3	6011	0,73
5	4	6011	0,79
6	5	6011	0,28
7	6	6013	0,91
8	7	6013	1,00
9	8	6013	1,17

Figura 16-2: Interfaz para ingresar datos de la prueba en MiniTab18.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

Seleccionar Estadística - ANOVA- un solo factor

Escoger el valor de la respuesta (datos de desgaste) y el valor de factor (electrodos)

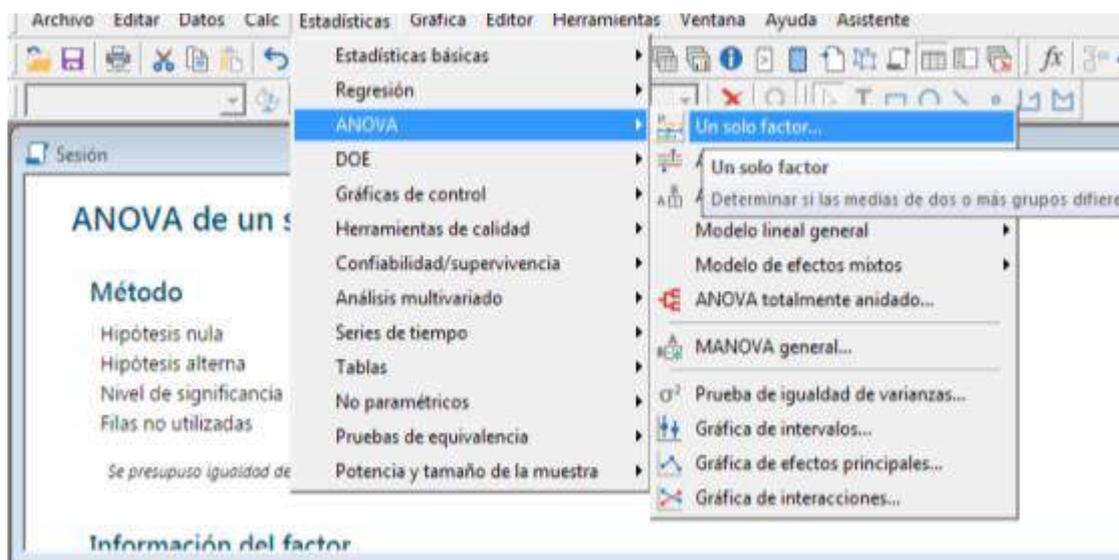


Figura 17-2: Interfaz de la barra de herramientas de MiniTab18.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

Seleccionar graficas de probabilidad, de intervalo, de residuos vs orden

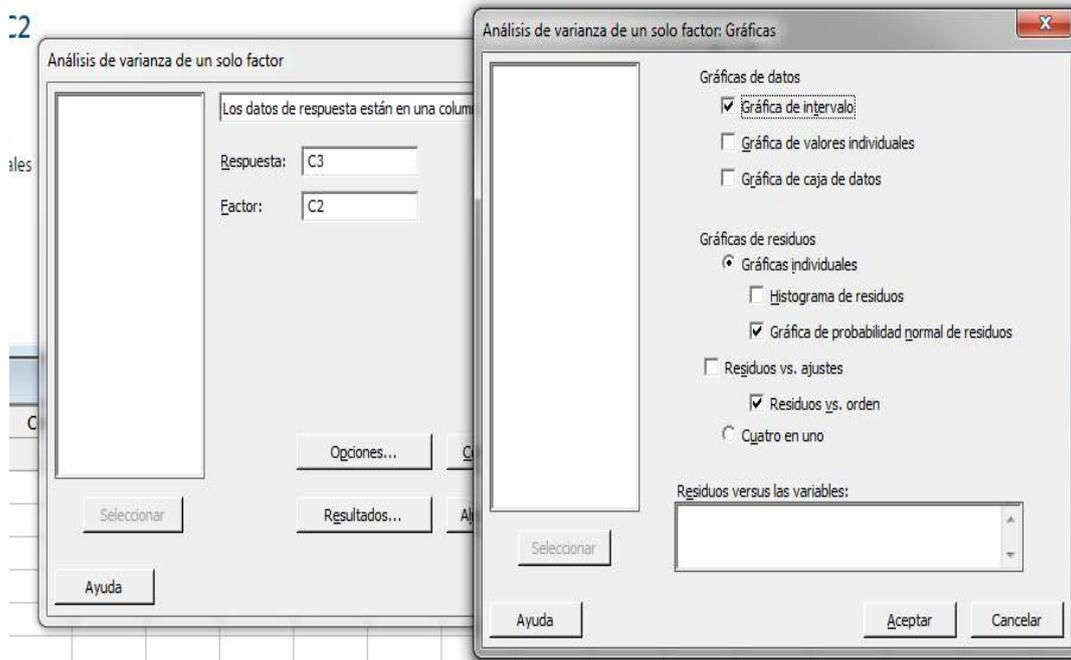


Figura 18-2: Interfaz del método ANOVA de un solo factor.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

2.2.4 Coeficiente de fricción

2.2.4.1 Calculo de densidad

$$\delta = \frac{m}{v} \quad (15.2)$$

$$v = \pi * r^2 * l \quad (16.2)$$

Dónde:

δ : densidad del material

m: masa

v: volumen

l: longitud

2.2.4.2 Cálculo de desgaste y volumen perdido

$$\text{Desgaste} = (m_0 - m_1 * 1000)mg \quad (17.2)$$

Dónde:

m0: masa inicial

m1: masa final

$$\mathbf{Volumen\ perdido} = \left(\frac{\mathit{desgaste}}{\delta}\right)mm^3 \quad (18.2)$$

2.2.4.3 Cálculo de distancia recorrida y volumen de desgaste

$$\mathbf{L} = d * \pi * \# rev \quad (19.2)$$

Dónde:

L: distancia recorrida

d: diámetro probeta (mm)

Al tener iguales los diámetros cada probeta; así también el mismo número de revoluciones en cada prueba el valor de la distancia recorrida es el siguiente:

Tabla 3-2: Resultados del cálculo de distancia recorrida.

Datos	Acero con recubrimientos (E6011, E6013, E7018)	Bronce fosfórico
Diámetro	12,7 mm	12,7 mm
# revoluciones	400 rpm	400 rpm
Distancia recorrida	15959,308 mm	15959,308 mm

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

$$\mathbf{Vd} = \frac{v}{t} \quad (20.2)$$

Dónde:

Vd: volumen de desgaste

v: volumen perdido (mm^3)

t: tiempo del ensayo (min)

2.2.4.4 Cálculo de coeficiente de fricción

Se utilizó la ecuación de Archard: para determinar el coeficiente de fricción (ASM, 1997 pág. 1438):

$$K = \frac{H * V}{Pr * L} \quad (21.2)$$

$$Pr = (P + m0)g \quad (22.2)$$

Dónde:

K: coeficiente de fricción

V: volumen de desgaste

H: dureza

L: distancia recorrida

P: carga aplicada (7,26 Kgf norma ASTM G83-96)

CAPITULO III.

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1 Interpretación del ensayo de dureza.

A continuación, se muestra los resultados de los ensayos de dureza antes y después de la prueba de fricción seca.

Los ensayos de dureza fueron realizados, a una probeta al azar con cada recubrimiento, y a una contra probeta al azar de bronce fosfórico, en total se realizaron ocho ensayos de dureza.

Tabla 1-3: Valores de dureza antes de la prueba de fricción seca.

Material	Dureza HRB			
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Total
Acero AISI 1018 con recubrimiento E6013	163	165	158	162
Acero AISI 1018 con recubrimiento E6011	171	166	164	167
Acero AISI 1018 con recubrimiento E7018	170	163	169	167,3
Bronce fosfórico	95	96	95,5	95,5
Observación:	La dureza del acero AISI SAE 1018 sin ningún tratamiento o recubrimiento es de 85,2 HRB			

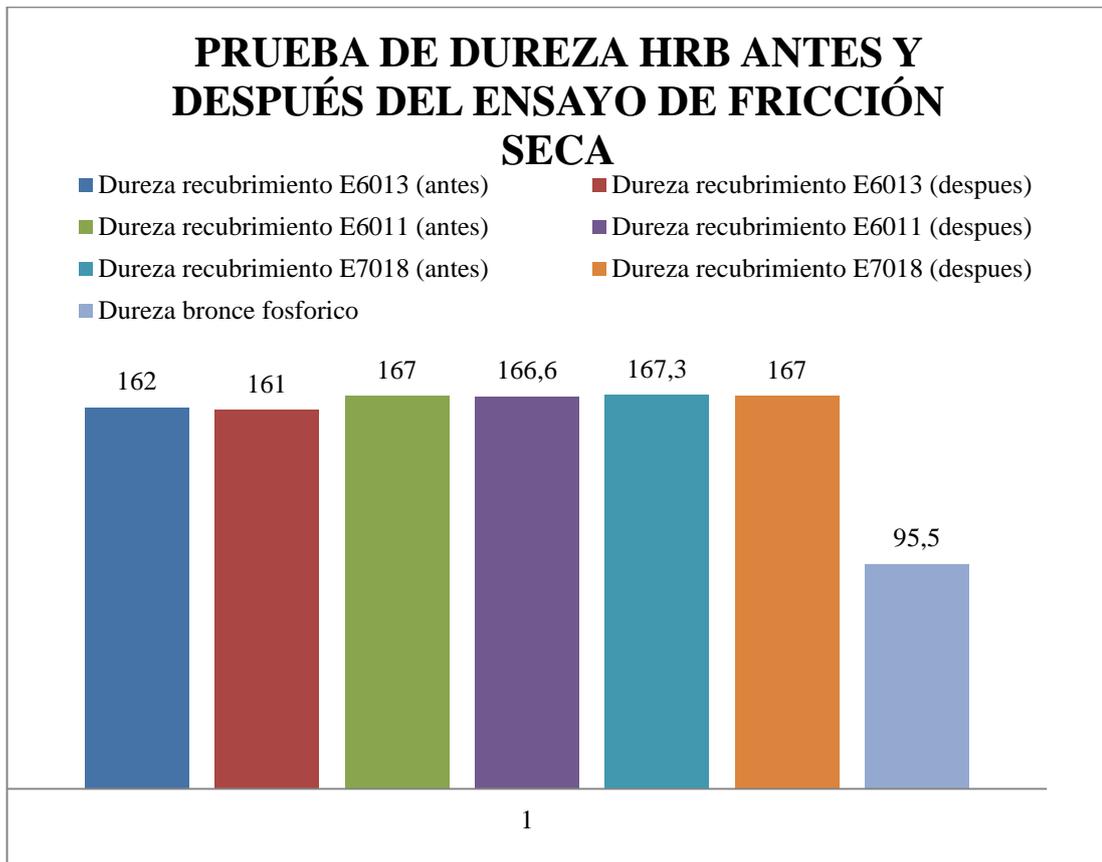
Realizado por: Andino, Dayana, 2020

Tabla 2-3: Resultados del ensayo de dureza después de la prueba de fricción seca.

Material	Dureza HRB			
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Total
Acero AISI 1018 con recubrimiento E6013	163	164	167	161
Acero AISI 1018 con recubrimiento	170	166	164	166,6

E6011				
Acero AISI 1018 con recubrimiento E7018	170	162	169	167
Bronce fosfórico	94,8	95,9	95,5	95,4

Realizado por: Andino, Dayana, 2020



Gráfica 1-3: Resultados de la prueba de dureza antes y después del ensayo de fricción seca.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

En el **Grafico 1-3** se muestra el valor promedio de la dureza, en el acero con recubrimiento de electrodo E7018 presenta una variación mínima, así mismo se nota que la dureza del bronce fosfórico es menor con lo cual se demuestra que la dureza es autónoma del desgaste.

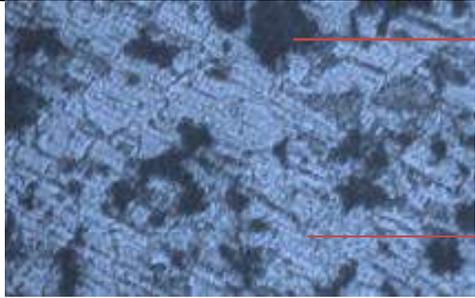
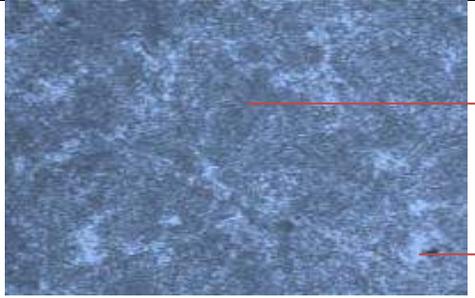
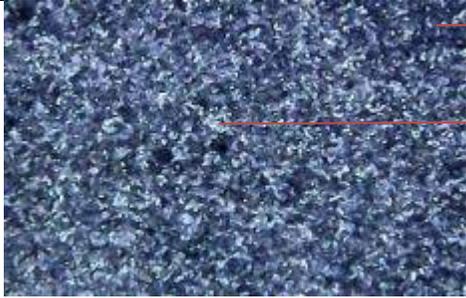
De esta manera al dar por finalizado la prueba de dureza y se comprueba que el electrodo con mejores propiedades tribológicas es el E7018, ya que da cumplimiento a la ley del desgaste adhesivo que considera que la razón de desgaste es inversamente proporcional a la dureza; es decir a una mayor dureza menor es el desgaste.

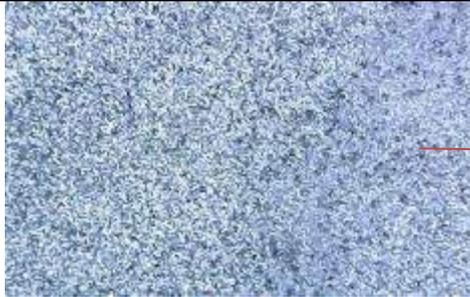
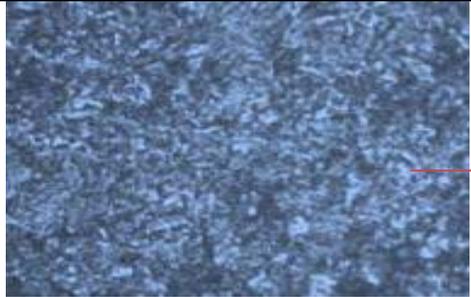
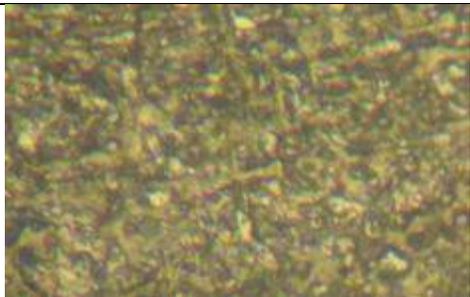
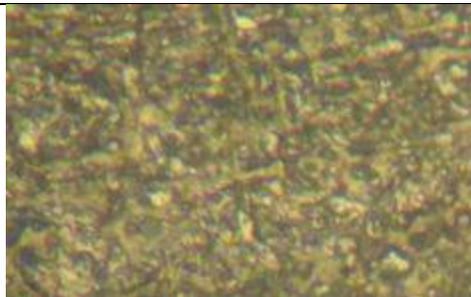
3.2 Interpretación de la prueba de microestructura.

Los ensayos de microestructura se realizaron antes y después de la prueba de fricción seca; se realizaron ocho pruebas de microestructura.

A continuación, los resultados:

Tabla 3-3: Microestructuras del acero AISI SAE 1018 con recubrimientos y bronce fosfórico antes y después del ensayo de fricción seca.

Microestructura	Antes del ensayo de fricción seca	Después del ensayo de fricción seca
Recubrimiento E6011 (200X)		
Recubrimiento E7018 (200X)		

Recubrimiento E6013 (200X)		
Bronce fosfórico (200X)		

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

Al dar como finalizador la prueba de metalografía se encuentra que la microestructura de los materiales presenta una mínima variación, es decir los tres recubrimientos mantienen su estructura original.

El acero con recubrimiento E7018 es el que presenta una estructura más estable esto se debe a la cantidad de Silicio (Si) que aporta el electrodo al material base, siendo este mayor en comparación a los demás electrodos. Se sabe que el Silicio (Si) trabaja como estabilizador; por lo tanto, al concluir el ensayo metalográfico también se comprueba que el electrodo E7018 es el más adecuado para obtener un desgaste menor.

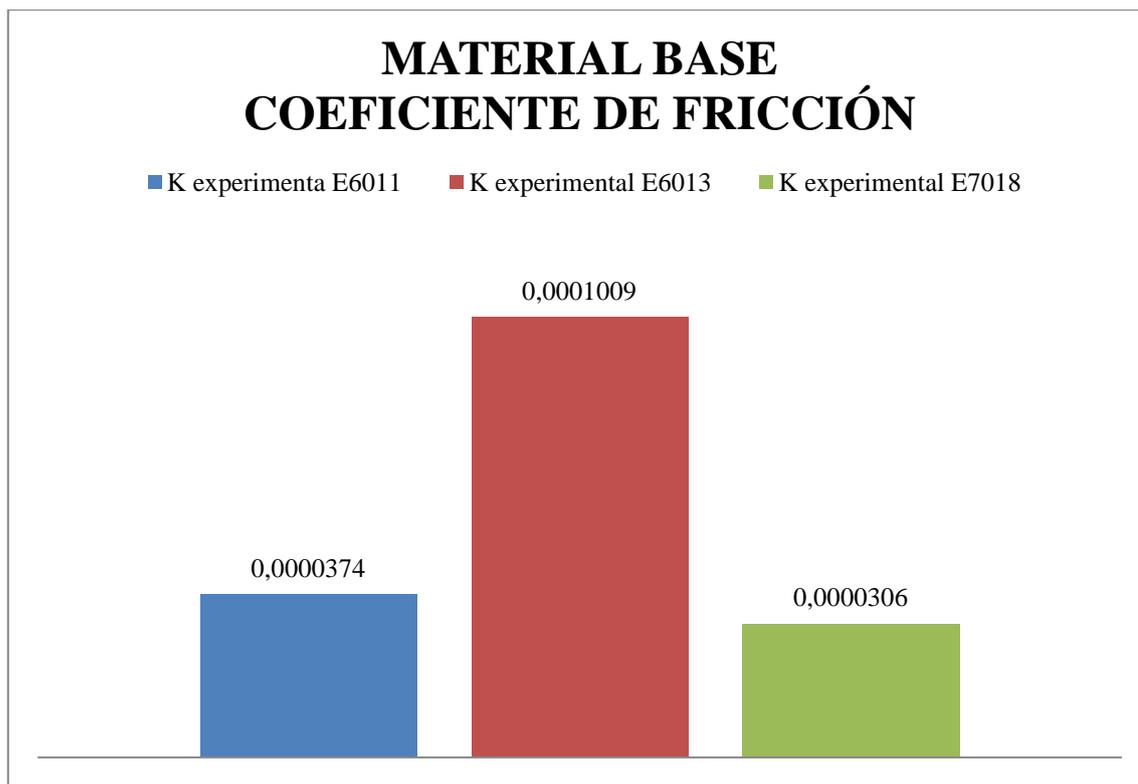
3.3 Análisis del coeficiente de fricción.

Posteriormente se presenta los resultados para la interpretación del coeficiente de fricción de 15 pruebas de bronce fosfórico sobre acero AISI SAE 1018 con recubrimiento E6011, E6013 Y E7018.

Tabla 3-3: Resultados del coeficiente de fricción del acero AISI SAE 1018 con recubrimientos E6011, E6013 y E7018.

N.	Probeta	Peso inicial	Peso final	Desgaste	Volumen Perdido	Volumen desgaste	Carga real	Coeficiente
1	6011	96,964	96,945	19	2,531867859	0,050637357	7,354444	0,0001482
2	6011	97,434	97,433	1	0,132613405	0,002652268	7,354914	0,0000078
3	6011	98,097	98,096	1	0,131717122	0,002634342	7,355577	0,0000077
4	6011	97,563	97,561	2	0,264876121	0,005297522	7,355043	0,0000155
5	6011	97,156	97,155	1	0,132992862	0,002659857	7,354636	0,0000078
6	6013	97,891	97,891	0	0	0	7,355371	0,0000000
7	6013	96,532	96,529	3	0,401557654	0,008031153	7,354012	0,0000257
8	6013	96,307	96,301	6	0,804991609	0,016099832	7,353787	0,0000514
9	6013	96,580	96,530	50	6,689301346	0,133786027	7,35406	0,0004275
10	6013	98,368	98,368	0	0	0	7,355848	0,0000000
11	7018	101,851	101,851	0	0	0	7,359331	0,0000000
12	7018	95,950	95,947	3	0,403993366	0,008079867	7,35343	0,0000236
13	7018	98,781	98,773	8	1,046440468	0,020928809	7,356261	0,0000612
14	7018	98,694	98,694	0	0	0	7,356174	0,0000000
15	7018	99,694	99,685	9	1,166464284	0,023329286	7,357174	0,0000683

Realizado por: Andino, Dayana, 2020



Gráfica 2-3: Promedio del coeficiente de fricción (E6011, E6013 y E7018).

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

Se observa en la **Gráfica 2-3** que el acero con recubrimiento E7018 exhibe un coeficiente de fricción, menor, en comparación a las demás piezas sometidas a la prueba de fricción seca, de esta manera se demuestra una vez más que el mejor recubrimiento de esta prueba es el E7018; así mismo analiza que el material con recubrimiento E6013 presenta un coeficiente más elevado por lo cual deteriora aún más el bronce fosfórico que es el material de contacto.

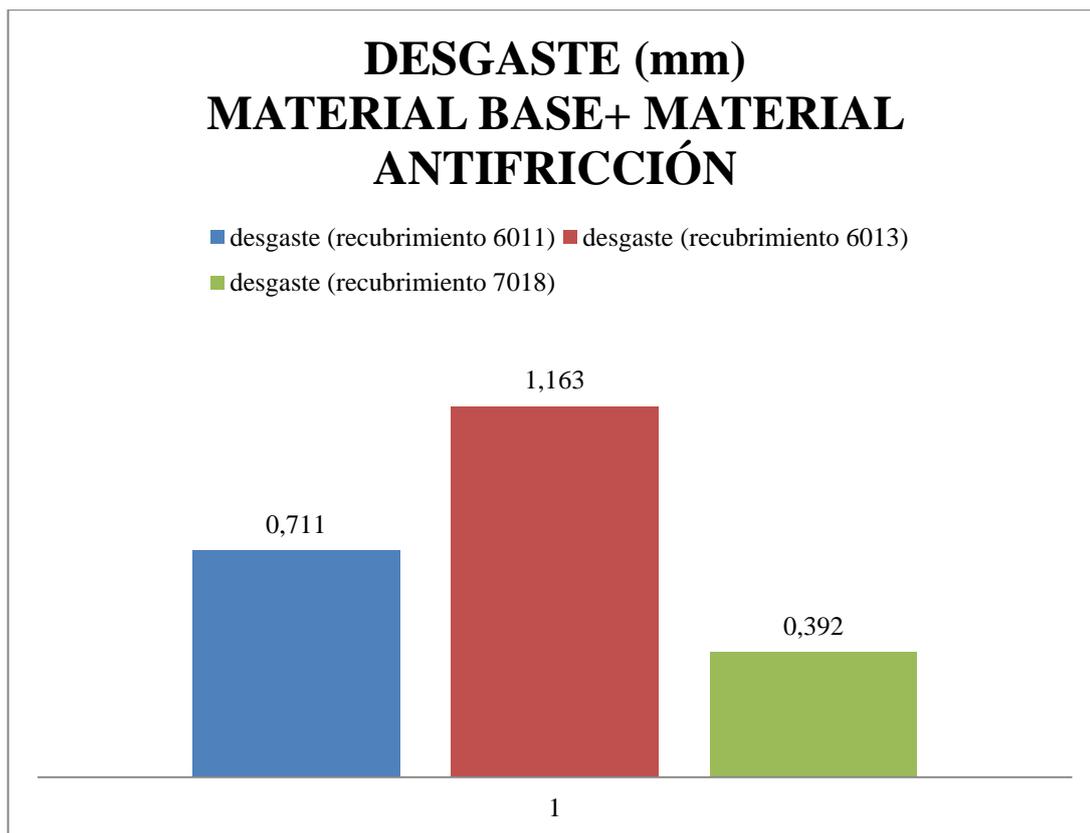
Comparando los valores obtenidos del coeficiente de fricción con los valores dados por RABINOWICS, se determina que tanto el material con recubrimiento E7018 y E6011 presentan un desgaste adhesivo moderado mientras que el acero con recubrimiento E6013 presenta un desgaste severo.

3.4 Análisis de desgaste.

Tabla 5-3: Desgaste total del material base+ material antifricción.

Recubrimiento	Ensayos					Promedio
	1	2	3	4	5	
6011	0,399	1,062	0,414	1,122	0,559	0,711
6013	1,000	1,200	1,558	1,056	1,000	1,163
7018	0,005	0,399	0,373	0,549	0,632	0,392

Realizado por: Andino, Dayana, 2020



Gráfica 3-3: Promedio del desgaste total del acero con recubrimiento sobre bronce fosfórico.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

En la **Gráfica 3-3** se analiza el desgaste total al finalizar el ensayo de fricción seca, del cual el recubrimiento con electrodo E7018 se desgastó en menor cantidad en el tiempo de 50 min.

Esto se comprobó por lo antes ya mencionado por su menor dureza y coeficiente de fricción por el contenido químico que aportó al acero AISI SAE 1018.

3.5 Resultados del diseño de experimentos.

A continuación, se presentan los resultados y graficas en MiniTab18, arrojados al finalizar el diseño de experimentos a través del Análisis de Varianza (ANOVA):

Tabla 6-3: Valores tomados de la prueba de fricción seca.

Electrodo	n	Observaciones (desgaste mm)					Suma	Promedio	Recubrimiento
6011	5	0,3988	1,06225	0,414	1,1222	0,5592	3,55645	0,711	-0,044
6013	5	1	1,2	1,558	1,056	1	5,814	1,163	0,408
7018	5	0,0049	0,3992	0,373	0,5486	0,6318	1,9575	0,392	-0,364

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

Tabla 7-3: Resultados de la suma de cuadrados del: recubrimiento, error y total.

Media Global	0,755
Total de mediciones	15
Suma de datos	11,328
Suma de cuadrado de todas las observaciones	11,012
Suma de cuadrados recubrimiento	1,5017
Suma de cuadrados de error	0,955
Suma de cuadrados total	2,457

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

Tabla 8-3: Tabla de resultados del Análisis de Varianza (ANOVA).

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados(Z)	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fo	F Critico	
Recubrimiento	1,0332	2	0,516	11,686	3,885	Se rechaza Ho
Error	0,530	12	0,044			
Total	1,564	14				

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

Terminada la tabla ANOVA se analiza que al tener una prueba de F observada mayor que prueba F crítica, la hipótesis Ho se rechaza.

Por lo tanto, se comprueba que los recubrimientos con electrodos E6011 E6013 y E7018 proporcionan distintos resultados en el desgaste en condiciones de fricción seca.

Tabla 9-3: Resultados de la prueba FISHER.

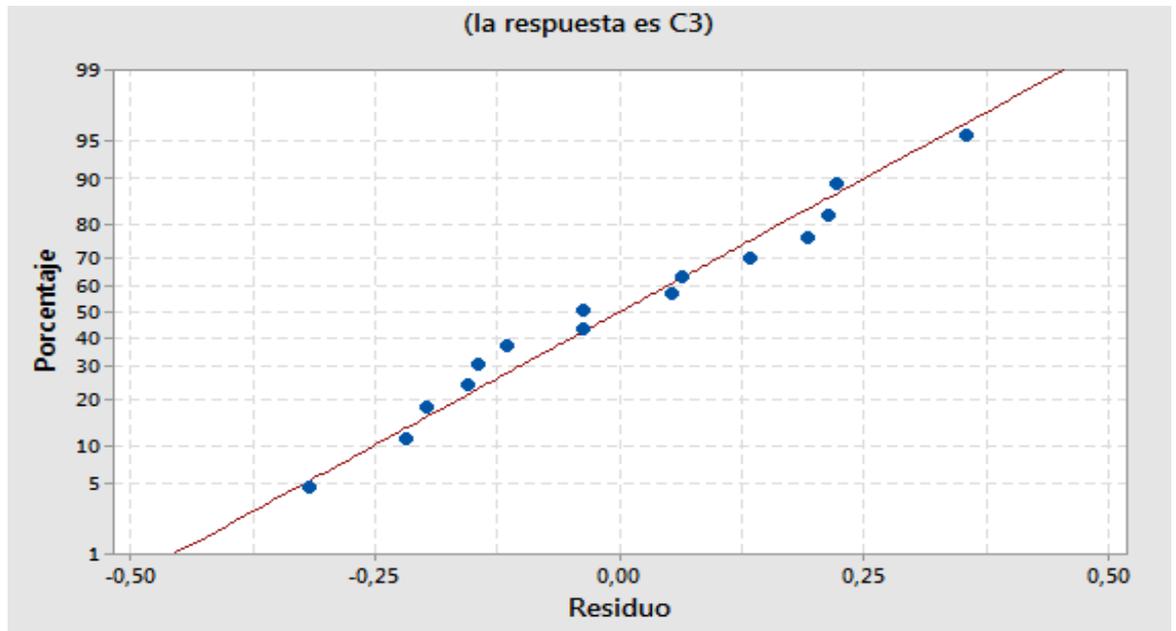
H1	Xi-Xj	LSD	Decisión
6011 ≠ 6013	0,350	0,347	Se acepta
6011 ≠ 7018	0,292	0,467	Se rechaza
7018 ≠ 6013	0,642	0,437	Se acepta

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

Se establece que el recubrimiento con electrodo E6011 y E6013; E7018 y E6013 no mantienen el mismo efecto en el desgaste de la prueba de fricción seca. No obstante, el recubrimiento con E6011 y E7018 llegan a tener el mismo efecto en el desgaste de las piezas utilizadas en la prueba.

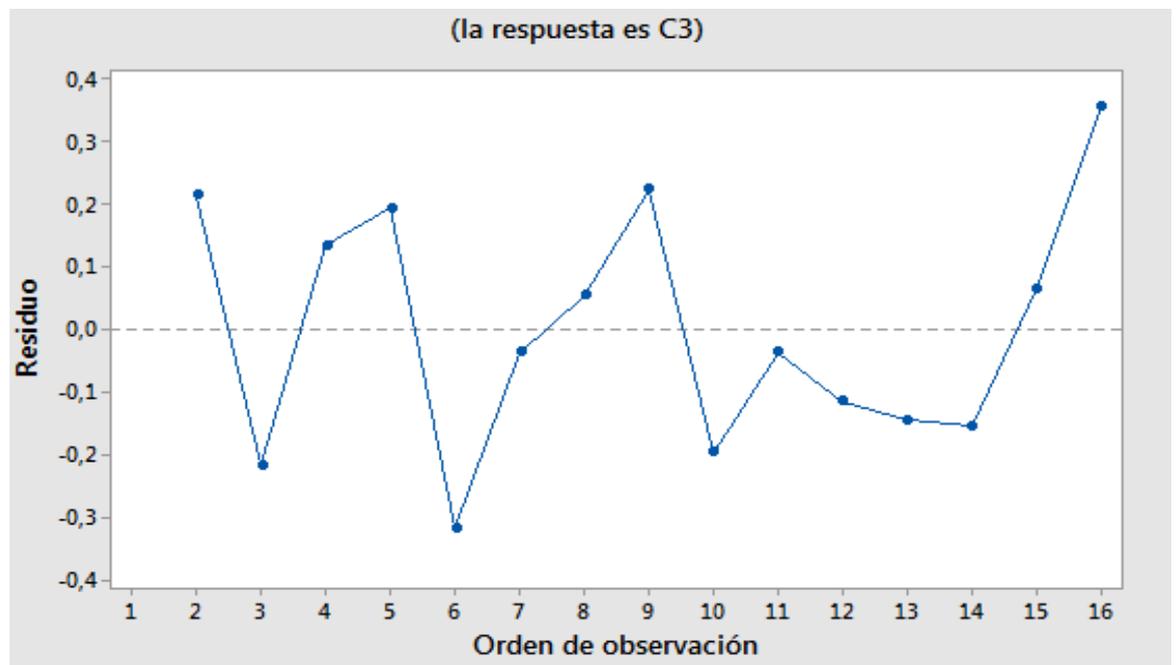
Teniendo en cuenta los promedios del desgaste de las pruebas se observó que el desgaste con electrodo E7018 es menor que el E6011 por lo tanto se **“Recomienda utilizar electrodo E7018 para recubrimiento de piezas.”**

Se presenta las gráficas efectuadas en MiniTab18:



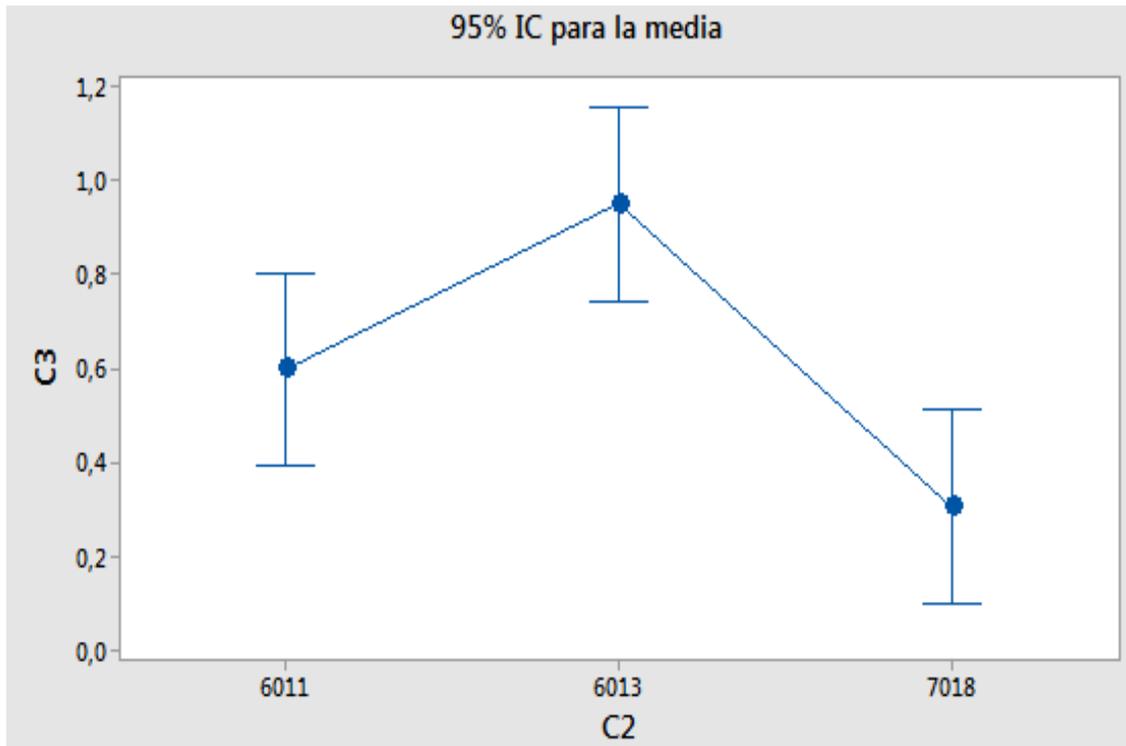
Gráfica 4-3: Regresión por mínimos cuadrados.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020



Gráfica 5-4: Residuo vs. Orden.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020



Gráfica 6-3. Intervalos E6011, E6013, E7018.

Realizado por: Andino, Dayana, 2020

De igual manera se observa en la **Grafica 6-4**, que el recubrimiento con electrodo E7018 mantiene una media de desgaste menor en comparación con los demás electrodos y el electrodo E6013 es el de mayor desgaste.

3.6 Presentación de resultados.

Terminada la prueba de fricción seca, de dureza, metalográfica y el diseño de experimentos ANOVA Se presenta las siguientes conclusiones.

Recubrimiento con electrodo E6013: El acero con este recubrimiento mostro los valores más altos respecto a la dureza y el coeficiente de fricción. Por último, en el desgaste presentó la media más alta, por lo tanto, es el electrodo que no se recomienda para realizar trabajos de recubrimiento de piezas de trabajo para la industria.

Recubrimiento con electrodo E6011: Se exhibieron valores intermedios de dureza y coeficiente de fricción en comparación a los otros dos electrodos, en el ensayo metalográfico mostro una estructura estable, los datos de desgaste fueron menores a los del electrodo E6013, pero mayores al electrodo E7018 por lo que no es muy recomendable utilizarlo para trabajos de reconstrucción de piezas.

Recubrimiento con electrodo E7018: Mostro valores altos en las pruebas de dureza y menor en el coeficiente de fricción, en el ensayo de desgaste se obtuvo la menor media, el electrodo E7018 presento características químicas que aportaron al acero AISI SAE 1018 para que en esta prueba de fricción seca se convierta en el de mejores resultados, por lo tanto, se recomienda este electrodo para realizar trabajos de reparación por electrosoldadura.

CONCLUSIONES.

La reconstrucción de piezas por técnica de soldadura SMAW constituye una alternativa de bajo costo, en especial con los electrodos E6011 y E7018 que al entrar en contacto con el bronce fosfórico muestran condiciones de desgaste moderado dando como resultado pérdidas mínimas, lo cual beneficia al mantenimiento.

El método escogido en el diseño de experimentos análisis de varianza y método de Fisher permite estudiar el efecto de las variables del electrodo sobre las variables del desgaste presentado.

Los valores de dureza conseguidos del acero con recubrimiento presentaron un incremento en comparación a la dureza de fábrica del acero, esto resulta por la composición química que contribuye el electrodo en especial por el porcentaje de carbono que presenta.

La microestructura del acero también sufrió cambios dependiendo el electrodo con el que fue recubierto, el acero con recubrimiento E7018 se mostró con la estructura más estable esto se debe al contenido de silicio y manganeso que el electrodo aportó al material convirtiéndolo en cementita.

Los resultados conseguidos en las pruebas de dureza, metalográficas y desgaste; como también en el diseño de experimentos y el cálculo de coeficiente de fricción, mantienen una relación coherente entre ellas y con la literatura inscrita, lo cual es una ganancia muy buena ya que por los materiales y equipos estos resultados pueden diferir entre sí, es por este motivo que se tomó los parámetros establecidos en la norma ASTM G83-96.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar esta investigación bajo las mismas condiciones con lubricantes de distintas viscosidades, sean estos minerales o sintéticos.

Se aconseja la utilización de bronce fosfórico para formar el par tribológica con superficies reconstruidas con los electrodos estudiados.

Realizar este tipo de investigación con distintos materiales antifricción como el bronce al aluminio, bronce dulce (latón), hierro gris

Ampliar el ensayo de desgaste con distintos parámetros de prueba, como puede ser a distintas velocidades o con diferentes tiempos de prueba.

Aplicar los resultados conseguidos a equipos, piezas o materiales que trabajen bajo condiciones de fricción seca.

Se recomienda formar grupos de investigación tribológica entre la carrera de Mantenimiento Industrial con la Industria, donde se investigue distintas disciplinas de esta ciencia.

GLOSARIO

Agarrotamiento: Es la inmovilización que se produce entre dos piezas en contacto y en movimiento relativo. (Diccionario Español de la Ingeniería, 2012),

Coalescencia: Se trata de la desaparición de los límites entre dos gotas en contacto, seguida por cambios de forma que conducen a una reducción de la superficie total. (Diccionario Español de la Ingeniería, 2012),

Deformación plástica: Tipo de deformación en el cual el material no retorna a la forma original del elemento esto después de ser retirada la carga aplicada, debido a que el material experimenta cambios irreversibles termodinámicos al tener una cantidad de energía potencial elástica mayor. (Solyman, 2020).

Indentador: Elemento utilizado para aplicar carga en el ensayo de indentación. Tiene una forma determinada en forma de cono o pirámide con radio en el vértice normalizado. (Diccionario Español de la Ingeniería, 2012),

Metalurgia: Es la rama de la ingeniería que se encarga de estudiar los elementos metálicos y no metálicos que se encuentran en los minerales, mediante procesos físicos y químicos, para finalmente destinarse a producir distintas aleaciones. (Diccionario Español de la Ingeniería, 2012),

Metalografía: Ciencia que estudia las características micro estructurales o constitutivas de un metal o sus aleaciones relacionándolas con las propiedades físicas, químicas y mecánicas. (Diccionario Español de la Ingeniería, 2012),

Soplo magnético: Es un efecto que se produce por la acción que tiene un campo magnético sobre una corriente eléctrica. Este fenómeno se produce en la soldadura de corriente continua debido a fuerzas electromagnéticas produciendo una desviación en el arco, el cual cambia de dirección haciendo movimientos violentos. (Solyman, 2020).

Tribología: Es la ciencia que estudia la fricción, el desgaste y la lubricación, comprendiendo la interacción de las superficies en movimiento relativo, en sistemas naturales y artificiales. (Diccionario Español de la Ingeniería, 2012)

BIBLIOGRAFIA

AGA. *Manual de electrodos y gases aga.* [En línea] [Consulta: 6 de Enero de 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/6434648/Manual_del_Electrodos_y_Gases_Aga_Ver_001.

AGUILAR, J. *Tribology.* Hawaii : Atlantic International University Honolulu, 2009.

ASTM G83-96. *Standard Test Method for Wear Testing with a Crossed – Cylinder Apparatus.*

AWS A3.0M/A3.0-2001. *Standard Welding Terms and Definitions.*

BAKKER, F.J, & HOVESTREIJDT, A.J.W. *Soldadura por arco.* Madrid-España: Philips, 1968.

BHUSHAN, Bharat. *Modern tribology handbook, two volume set.* CRC press, 1991.

BHUSHAN, Bharat; & GUPTA, Balkishan K. *Handbook of tribology: materials, coatings, and surface treatments.* 2000.

BURWELL JR, John T. Survey of possible wear mechanisms. *Wear*, 1957, vol. 1, no 2, p. 119-141.

Diccionario Español de la Ingeniería [en línea]. España: Real Academia de la Ingeniería, 2012. [Consulta: 07 agosto 2020]. Disponible en: <http://diccionario.raing.es/es>

DIN 50320 . *Desgaste de la superficie: análisis, tratamiento y prevención.*

GIACHINO, Joseph W.; & WEEKS, William. *Técnica y práctica de la soldadura.* Reverté, 1996.

GROOVER, Mikell P. *Fundamentos de Manufctura Mode.* Pearson Educación, 1997.

GROOVERING, John (ed.). *Principles of tribology.* Macmillan International Higher Education, 1978.

MANCHEÑO, Manuel; & FERNÁNDEZ, Cristina. *Manual de soldadura con electrodo revestido.* Editorial Paraninfo, 2012.pp. 25.

MASABANDA SANTOS, Segundo Juan; & YAURIPOMA GUACHO, Manuel Ramiro. Elaboración de un manual para prácticas de la materia teoría de procesos de soldadura [En línea] (Trabajo de Titulación) (Tesis de Licenciatura). Escuela Politécnica Nacional, Quito-

Ecuador. 2009. pp. 41. [Consulta: 5 de Febrero de 2020.]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1492>

MORON, Luis Fernández Ruiz. Desarrollo de un procedimiento para el cálculo de la fuerza de fricción en un contacto EHD. Validación experimental del procedimiento. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Tesis Doctoral) Universidad Politécnica de Madrid. 2013. pp. 19-20. [Consulta: 2 de Marzo de 2020.]. Disponible en: <http://oa.upm.es/15059/>

PIAUN CABRERA, María Carolina. Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la soldadura obtenida con los electrodos E7018 de diferentes marcas utilizados en la industria nacional. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Tesis de Licenciatura) . Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador. 2013. pp. 26-28. [Consulta: 5 de Febrero de 2020.]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5665>

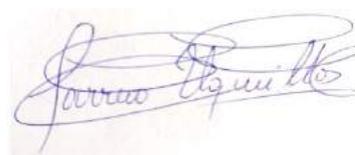
POPE, Edward. *Soluciones Prácticas para el Ingeniero Mecánico*. Mexico : s.n., 2000, pp. 232.

RODRIGUEZ M, Calixto. *Tribología, Ciencia y Técnica*. Santiago de Cuba : Universidad de Oriente, 1997. pp. 47.

SUAREZ CASTILLO, Joel Santiago. Evaluación de Diseño de Conexiones-Soldadas en un Edificio de Estructura Metálica de 4 Niveles mediante el Software Ram Connection. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Tesis de Licenciatura) Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería Civil, Guayaquil-Ecuador. [Consulta: 20 de Febrero de 2020.]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29416>.

SOLYMAN, Soldadura y Mantenimiento [blog]. Valencia-España, 2020. [Consulta: 07 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.solyman.com>

TRISTANCHO, José Luis; et al. "Evaluación del desgaste adhesivo del acero AISI –SAE 1020". *Scientia et Technica* [en línea], 2007, (Colombia) 1(36). [Consulta: 5 de Enero de 2020.]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/699/Evaluacion-del-desgaste-adhesivo-del-acero-AISI-SAE-1020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.



11-08-2020
0189-DBRAI-UPT-2020

ANEXOS

ANEXO A: ENSAYO DE PESO INICIAL Y FINAL

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD: MECANICA</p> <p>ESCUELA: MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</p> </div>  </div>			
Proceso:	Resultados de pesos iniciales y finales		
Material:	Acero AISI SAE 1018 con recubrimiento 6011 sobre Bronce fosfórico	Tamaño de la muestra:	5
Lugar:	Laboratorio de Tribología		
Fecha de inicio:		Fecha de finalización:	
Realizado por:	Dayana Andino	Aprobado por:	
PESO INICIAL			
PROBETA		CONTRAPROBETA	
D01-1	96,964	D04-1	100,402
D01-2	97,434	D04-2	100,802
D01-3	98,097	D04-3	99,984
D01-4	97,563	D04-4	100,116
D01-5	97,156	D04-5	99,68
PESO FINAL			
PROBETA		CONTRAPROBETA	
D01-1	96,945	D04-1	100,00
D01-2	97,433	D04-2	100,437
D01-3	98,096	D04-3	99,589
D01-4	97,561	D04-4	99,684
D01-5	97,155	D04-5	99,275
Observaciones:			



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD: MECANICA

ESCUELA: MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



Proceso:	Resultados de pesos iniciales y finales		
Material:	Acero AISI SAE 1018 con recubrimiento 6013 sobre Bronce fosfórico	Tamaño de la muestra:	5
Lugar:	Laboratorio de Tribología		
Fecha de inicio:		Fecha de finalización:	
Realizado por:	Dayana Andino	Aprobado por:	
PESO INICIAL			
PROBETA		CONTRAPROBETA	
D02-1	97,891	D04-6	97,719
D02-2	96,532	D04-7	99,599
D02-3	96,307	D04-8	99,862
D02-4	96,580	D04-9	99,617
D02-5	98,368	D04-10	99,628
PESO FINAL			
PROBETA		CONTRAPROBETA	
D02-1	97,891	D04-6	97,719
D02-2	96,529	D04-7	99,599
D02-3	96,301	D04-8	99,862
D02-4	96,530	D04-9	99,617
D02-5	98,368	D04-10	99,628
Observaciones:			

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO****FACULTAD: MECANICA****ESCUELA: MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

Proceso:	Resultados de pesos iniciales y finales		
Material:	Acero AISI SAE 1018 con recubrimiento 7018 sobre Bronce fosfórico	Tamaño de la muestra:	5
Lugar:	Laboratorio de Tribología		
Fecha de inicio:		Fecha de finalización:	
Realizado por:	Dayana Andino	Aprobado por:	
PESO INICIAL			
PROBETA		CONTRAPROBETA	
D03-1	101,851	D04-11	100,12
D03-2	95,950	D04-12	100,117
D03-3	98,781	D04-13	100,158
D03-4	98,694	D04-14	99,937
D03-5	99,694	D04-15	100,438
PESO FINAL			
PROBETA		CONTRAPROBETA	
D03-1	101,851	D04-11	99,772
D03-2	95,947	D04-12	99,764
D03-3	98,773	D04-13	99,719
D03-4	98,694	D04-14	99,527
D03-5	99,685	D04-15	100,011
Observaciones:			

ANEXO B. ENSAYO DE DUREZA|

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE MECANICA</p> <p>CARRERA DE MANTENIMIENTO</p> </div>  </div>			
Ensayo	Dureza	Ensayo N.	4
Laboratorio	Materiales	Probeta N.	D-04
Material	Bronce fosfórico	Recubrimiento	S/N
Tratamiento Térmico		Temperatura Ambiente	21 °C
Fecha		Realizado por:	Dayana Andino
PARAMETROS			
Método	Rockwell B (HRB)		
Tipo de penetrador	Esfera de acero		
Carga aplicada	1839 N	Tiempo	10 min
RESULTADOS			
N.	Dureza HRB		
1	95		
2	96		
3	95,5		
Promedio	95,5		
Observaciones:			



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
CARRERA DE MANTENIMIENTO

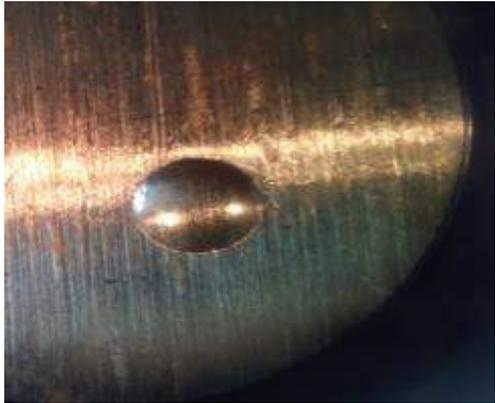


Ensayo	Dureza	Ensayo N.	1
Laboratorio	Materiales	Probeta N.	D-03
Material	Acero AISI SAE 1018	Recubrimiento	Electrodo E6011
Tratamiento Térmico	S/N	Temperatura Ambiente	21 °C
Fecha		Realizado por:	Dayana Andino

PARAMETROS

Método	Rockwell B (HRB)		
Tipo de penetrador	Esfera de acero		
Carga aplicada	1839 N	Tiempo	10 min

RESULTADOS

N.	Dureza HRB	
1	171	
2	166	
3	164	
Promedio	167	

Observaciones: Prueba de dureza realizada antes del ensayo de fricción seca



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
CARRERA DE MANTENIMIENTO

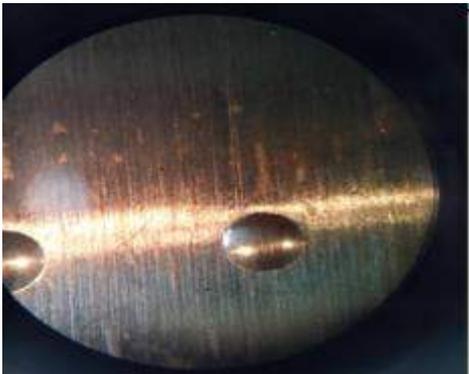


Ensayo	Dureza	Ensayo N.	2
Laboratorio	Materiales	Probeta N.	D-02
Material	Acero AISI SAE 1018	Recubrimiento	Electrodo E6013
Tratamiento Térmico	S/N	Temperatura Ambiente	21 °C
Fecha		Realizado por:	Dayana Andino

PARAMETROS

Método	Rockwell B (HRB)		
Tipo de penetrador	Esfera de acero		
Carga aplicada	1839 N	Tiempo	10 min

RESULTADOS

N.	Dureza HRB	
1	163	
2	165	
3	158	
Promedio	162	

Observaciones: Prueba de dureza realizada antes del ensayo de fricción seca

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO



**FACULTAD DE MECANICA
CARRERA DE MANTENIMIENTO**



Ensayo	Dureza	Ensayo N.	3
Laboratorio	Materiales	Probeta N.	D-01
Material	Acero AISI SAE 1018	Recubrimiento	Electrodo E7018
Tratamiento Térmico	S/N	Temperatura Ambiente	21 °C
Fecha		Realizado por:	Dayana Andino

PARAMETROS

Método	Rockwell B (HRB)		
Tipo de penetrador	Esfera de acero		
Carga aplicada	1839 N	Tiempo	10 min

RESULTADOS

N.	Dureza HRB	
1	170	
2	163	
3	169	
Promedio	167,3	

Observaciones: Prueba de dureza realizada antes del ensayo de fricción seca



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
CARRERA DE MANTENIMIENTO



Ensayo	Dureza	Ensayo N.	5
Laboratorio	Materiales	Probeta N.	D-03
Material	Acero AISI SAE 1018	Recubrimiento	Electrodo E6011
Tratamiento Térmico	S/N	Temperatura Ambiente	21 °C
Fecha		Realizado por:	Dayana Andino

PARAMETROS

Método	Rockwell B (HRB)		
Tipo de penetrador	Esfera de acero		
Carga aplicada	1839 N	Tiempo	10 min

RESULTADOS

N.	Dureza HRB
1	170
2	166
3	164
Promedio	166,6



Observaciones: Prueba de dureza realizada después del ensayo de fricción seca



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
CARRERA DE MANTENIMIENTO



Ensayo	Dureza	Ensayo N.	6
Laboratorio	Materiales	Probeta N.	D-02
Material	Acero AISI SAE 1018	Recubrimiento	Electrodo E6013
Tratamiento Térmico	S/N	Temperatura Ambiente	21 °C
Fecha		Realizado por:	Dayana Andino

PARAMETROS

Método	Rockwell B (HRB)		
Tipo de penetrador	Esfera de acero		
Carga aplicada	1839 N	Tiempo	10 min

RESULTADOS

N.	Dureza HRB
1	163
2	164
3	156
Promedio	161



Observaciones: Prueba de dureza realizada después del ensayo de fricción seca



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECANICA

CARRERA DE MANTENIMIENTO



Ensayo	Dureza	Ensayo N.	7
Laboratorio	Materiales	Probeta N.	D-01
Material	Acero AISI SAE 1018	Recubrimiento	Electrodo E7018
Tratamiento Térmico	S/N	Temperatura Ambiente	21 °C
Fecha		Realizado por:	Dayana Andino

PARAMETROS

Método	Rockwell B (HRB)		
Tipo de penetrador	Esfera de acero		
Carga aplicada	1839 N	Tiempo	10 min

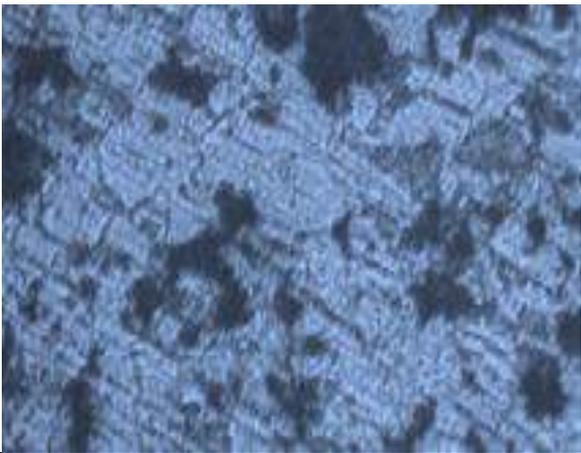
RESULTADOS

N.	Dureza HRB
1	170
2	162
3	169
Promedio	167



Observaciones: Prueba de dureza realizada antes del ensayo de fricción seca

ANEXO C. ENSAYO DE MICROESTRUCTURA

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE MECANICA</p> <p>CARRERA DE MANTENIMIENTO</p> </div>  </div>			
Ensayo	Metalográfico	Ensayo N.	1
Tipo	Microestructura	Probeta N.	D-01
Material	Acero AISI SAE 1018	Recubrimiento	Electrodo E6011
Lugar:	Laboratorio de Materiales		
Fecha :			
Realizado por:	Dayana Andino		
PARAMETROS			
Superficie	Pulido tipo espejo		
Ataque químico:	Nital al 2 %	Tiempo	15 seg.
RESULTADOS			
Datos:	Microestructura con recubrimiento E6011 antes de la prueba de fricción seca a 200X		
			
Observaciones:			

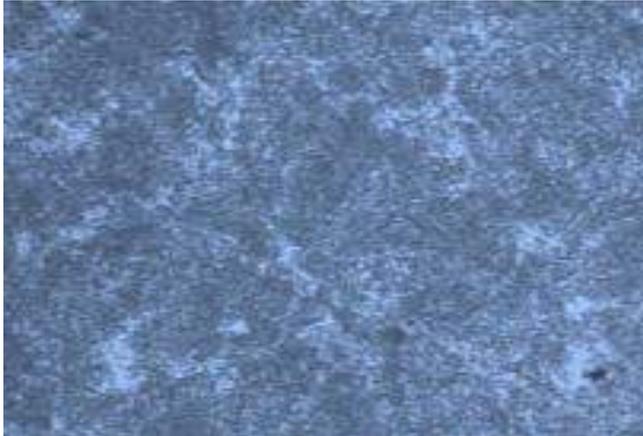


ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECANICA

CARRERA DE MANTENIMIENTO

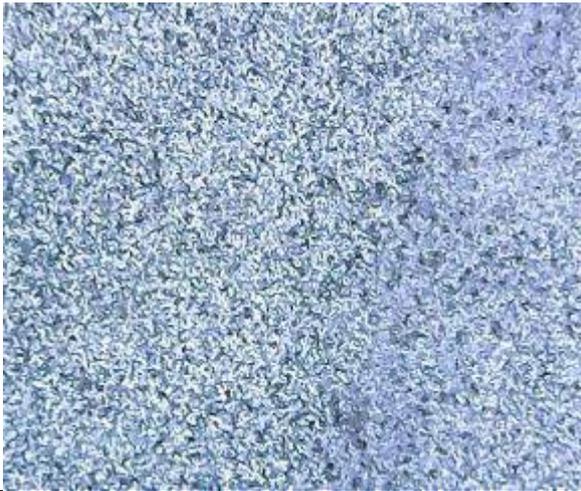


Ensayo	Metalográfico	Ensayo N.	2
Tipo	Microestructura	Probeta N.	D-02
Material	Acero AISI SAE 1018	Recubrimiento	Electrodo E6013
Lugar:	Laboratorio de Materiales		
Fecha :			
Realizado por:	Dayana Andino		
PARAMETROS			
Superficie	Pulido tipo espejo		
Ataque químico:	Nital al 2 %	Tiempo	15 seg.
RESULTADOS			
Datos:	Microestructura con recubrimiento E6013 antes de la prueba de fricción seca a 200X		
			
Observaciones:			



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
CARRERA DE MANTENIMIENTO



Ensayo	Metalográfico	Ensayo N.	3
Tipo	Microestructura	Probeta N.	D-03
Material	Acero AISI SAE 1018	Recubrimiento	Electrodo E7018
Lugar:	Laboratorio de Materiales		
Fecha :			
Realizado por:	Dayana Andino		
PARAMETROS			
Superficie	Pulido tipo espejo		
Ataque químico:	Nital al 2 %	Tiempo	15 seg.
RESULTADOS			
Datos:	Microestructura con recubrimiento E7018 antes de la prueba de fricción seca a 200X		
			
Observaciones:			



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
CARRERA DE MANTENIMIENTO

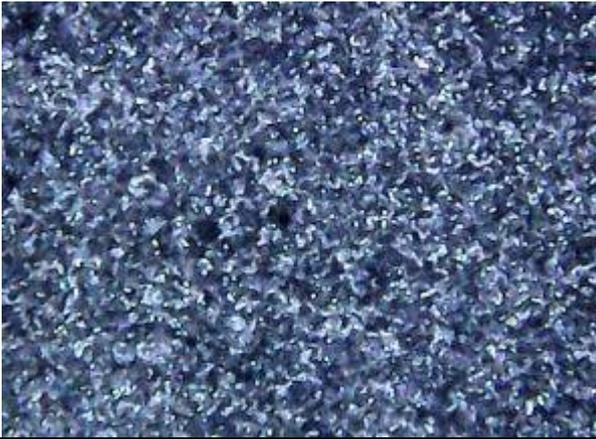


Ensayo	Metalográfico	Ensayo N.	3
Tipo	Microestructura	Probeta N.	D-03
Material	Acero AISI SAE 1018	Recubrimiento	Electrodo E7018
Lugar:	Laboratorio de Materiales		
Fecha :			
Realizado por:	Dayana Andino		
PARAMETROS			
Superficie	Pulido tipo espejo		
Ataque químico:	Nital al 2 %	Tiempo	15 seg.
RESULTADOS			
Datos:	Microestructura con recubrimiento E7018 después de la prueba de fricción seca a 200X		
			
Observaciones:			



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
CARRERA DE MANTENIMIENTO

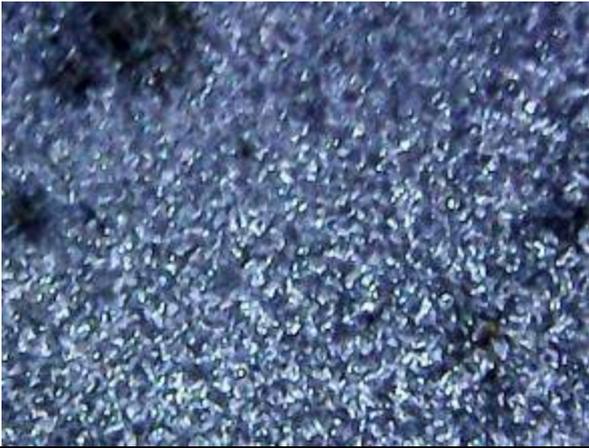


Ensayo	Metalográfico	Ensayo N.	2
Tipo	Microestructura	Probeta N.	D-02
Material	Acero AISI SAE 1018	Recubrimiento	Electrodo E6013
Lugar:	Laboratorio de Materiales		
Fecha :			
Realizado por:	Dayana Andino		
PARAMETROS			
Superficie	Pulido tipo espejo		
Ataque químico:	Nital al 2 %	Tiempo	15 seg.
RESULTADOS			
Datos:	Microestructura con recubrimiento E6013 después de la prueba de fricción seca a 200X		
			
Observaciones:			



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
CARRERA DE MANTENIMIENTO

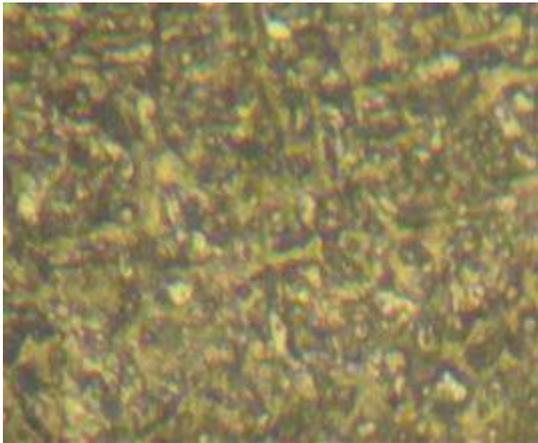


Ensayo	Metalográfico	Ensayo N.	1
Tipo	Microestructura	Probeta N.	D-01
Material	Acero AISI SAE 1018	Recubrimiento	Electrodo E6011
Lugar:	Laboratorio de Materiales		
Fecha :			
Realizado por:	Dayana Andino		
PARAMETROS			
Superficie	Pulido tipo espejo		
Ataque químico:	Nital al 2 %	Tiempo	15 seg.
RESULTADOS			
Datos:	Microestructura con recubrimiento E6011 después de la prueba de fricción seca a 200X		
			
Observaciones:			



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
CARRERA DE MANTENIMIENTO



Ensayo	Metalográfico	Ensayo N.	4
Tipo	Microestructura	Probeta N.	D-04
Material	Bronce fosfórico	Recubrimiento	S/N
Lugar:	Laboratorio de Materiales		
Fecha :			
Realizado por:	Dayana Andino		
PARAMETROS			
Superficie	Pulido tipo espejo		
Ataque químico:	CuNi	Tiempo	10 seg.
RESULTADOS			
Datos:	Microestructura de bronce fosfórico antes de la prueba de fricción seca a 200X		
			
Observaciones:			

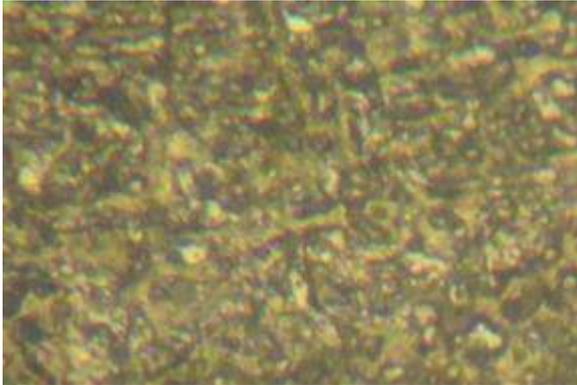


ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECANICA

CARRERA DE MANTENIMIENTO

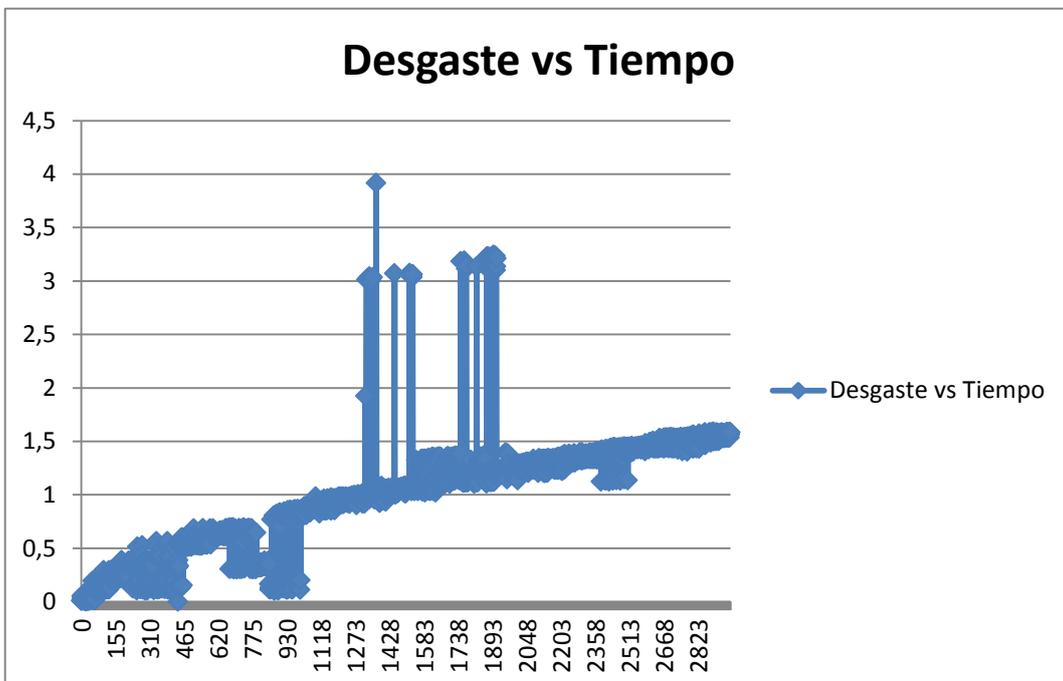
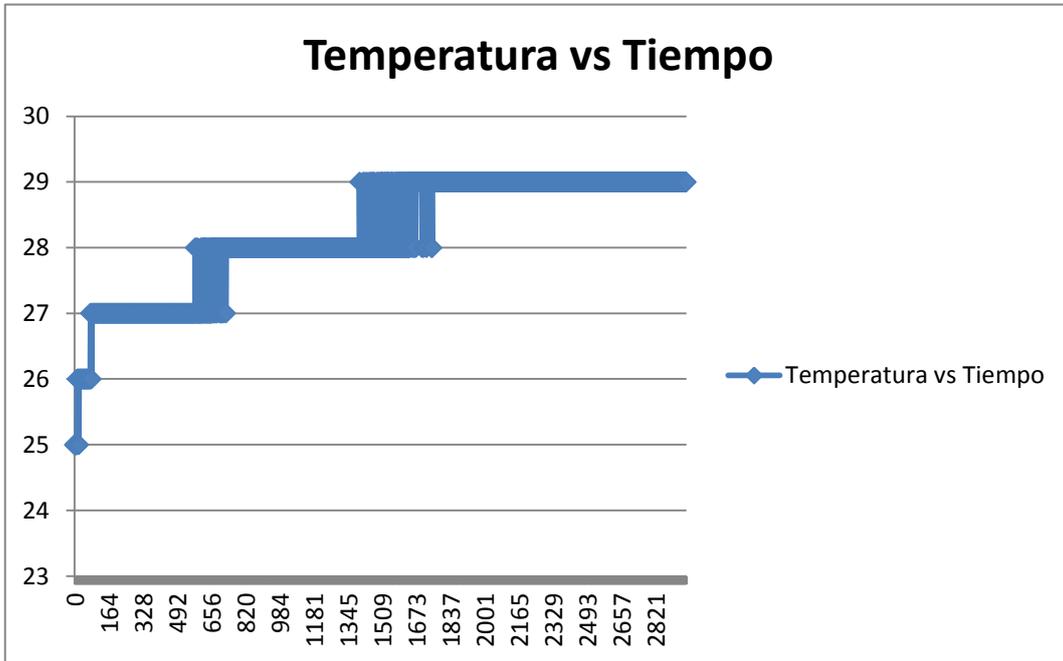


Ensayo	Metalográfico	Ensayo N.	4
Tipo	Microestructura	Probeta N.	D-04
Material	Bronce fosfórico	Recubrimiento	S/N
Lugar:	Laboratorio de Materiales		
Fecha :			
Realizado por:	Dayana Andino		
PARAMETROS			
Superficie	Pulido tipo espejo		
Ataque químico:	CuNi	Tiempo	10 seg.
RESULTADOS			
Datos:	Microestructura de bronce fosfórico después de la prueba de fricción seca a 200X		
			
Observaciones:			

ANEXO D. RESULTADOS DEL DESGASTE

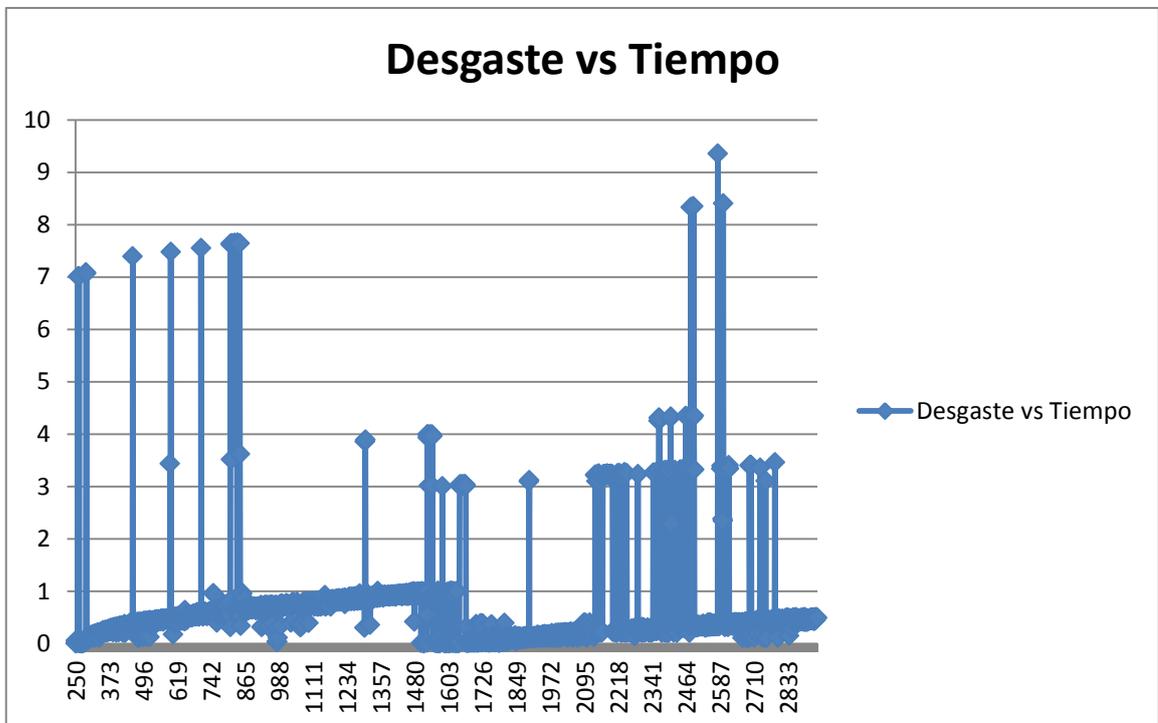
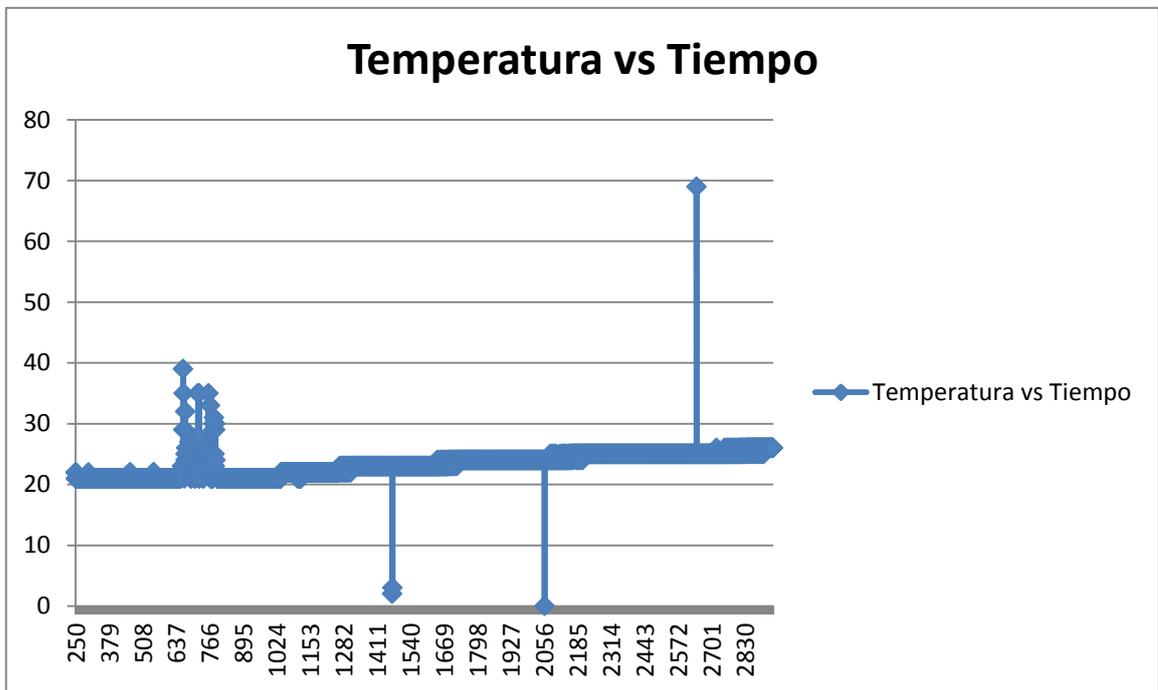
ENSAYO 6011

PRUEBA 2:



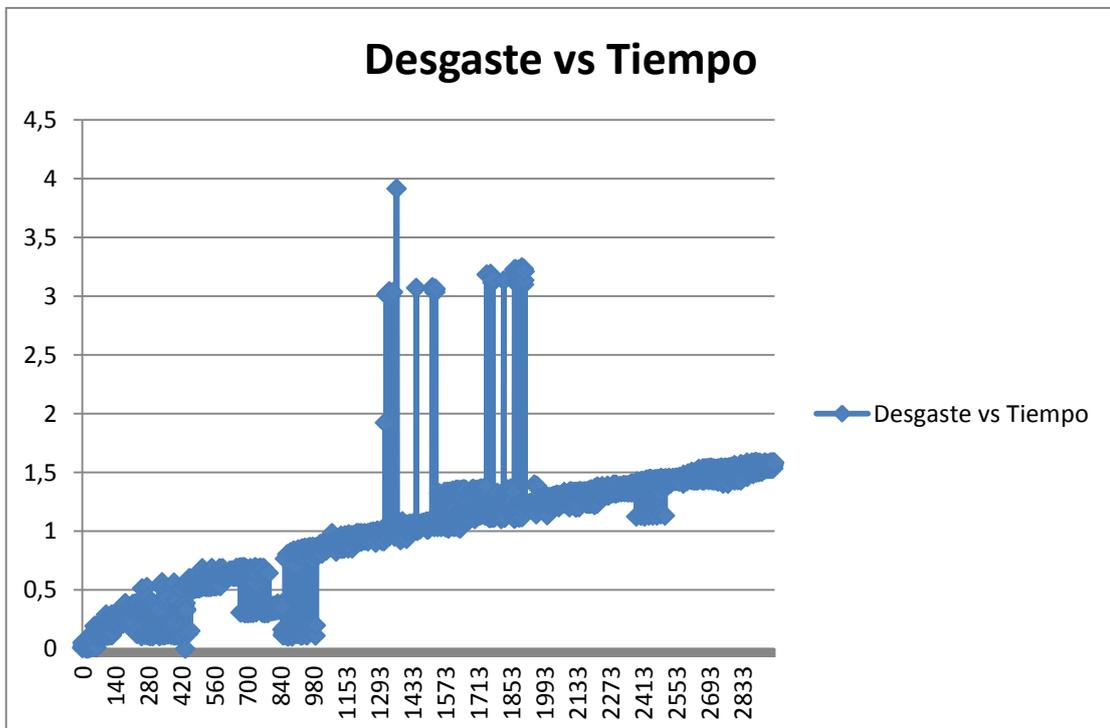
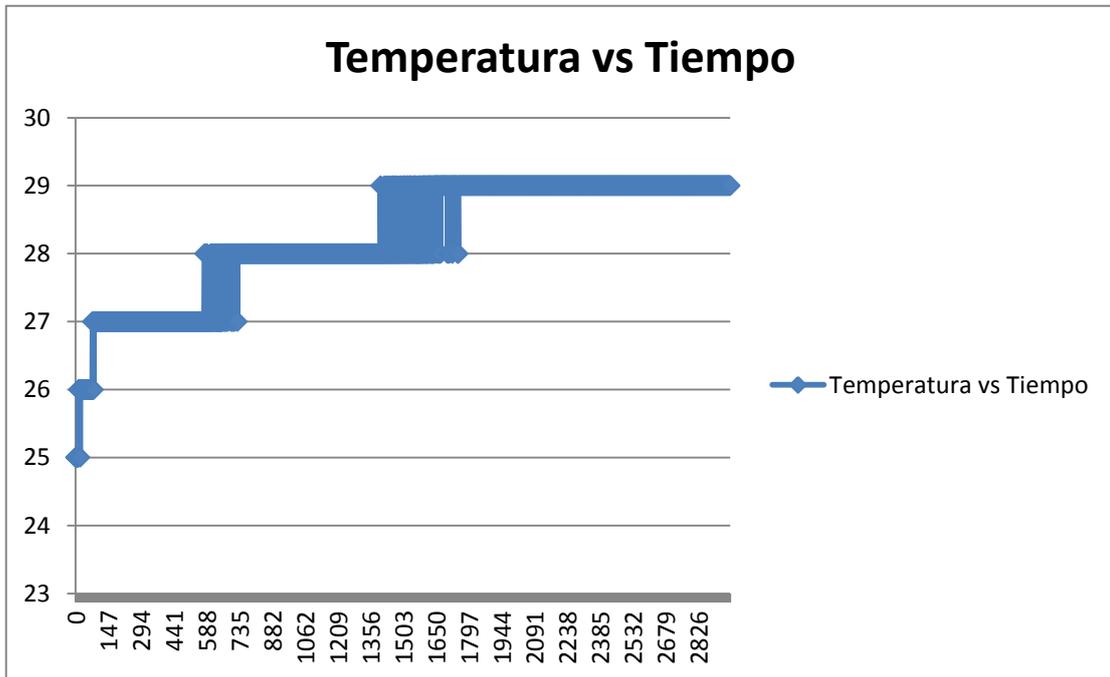
ENSAYO 6011

PRUEBA 3:



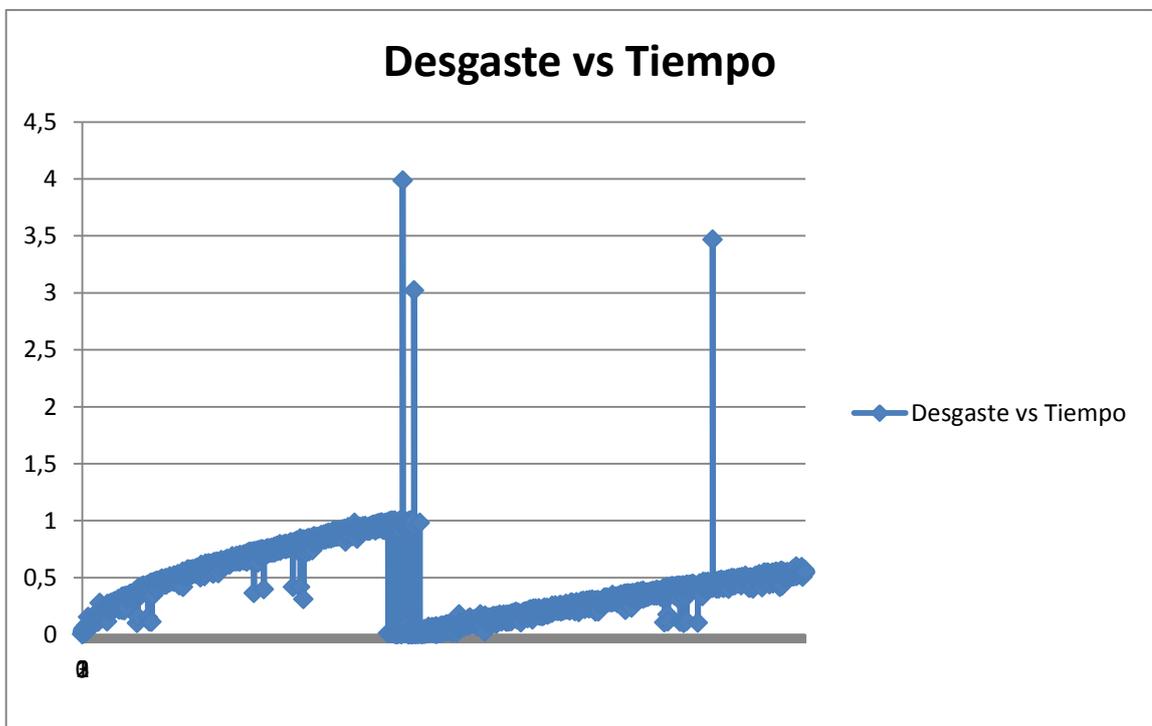
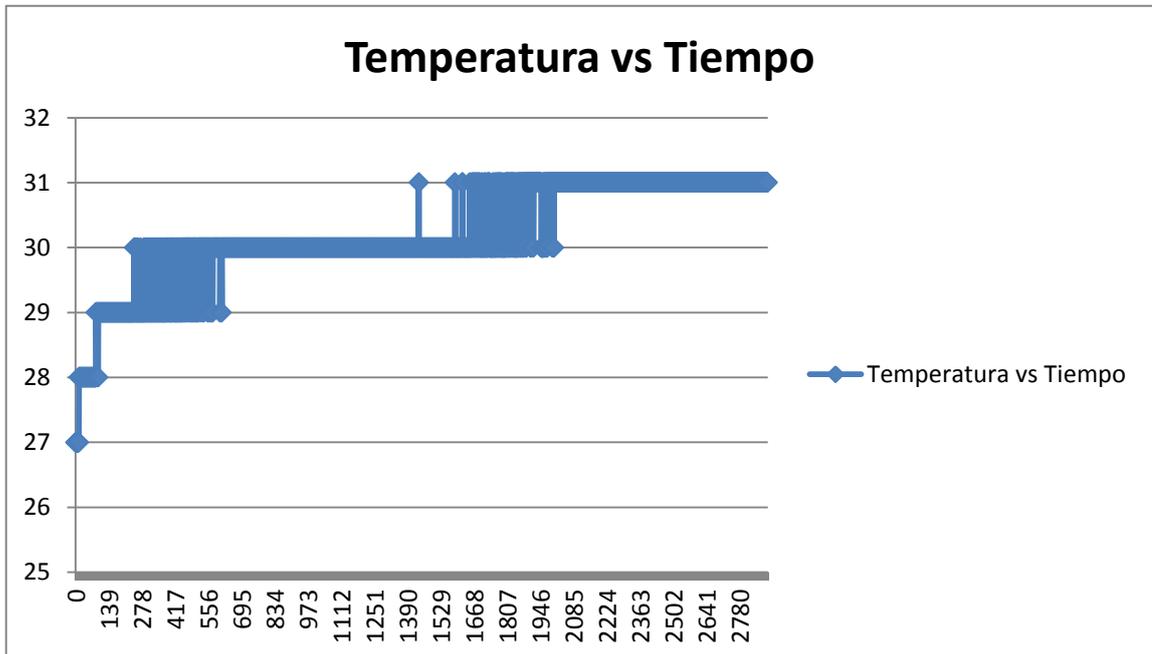
ENSAYO 6011

PRUEBA 4:



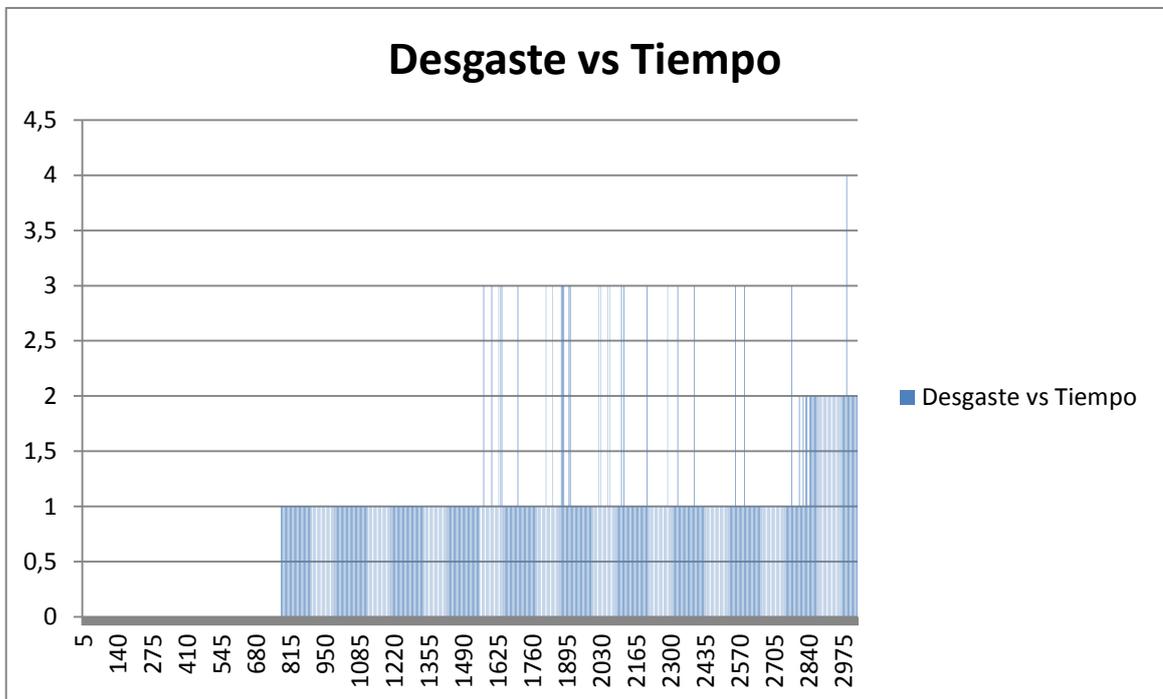
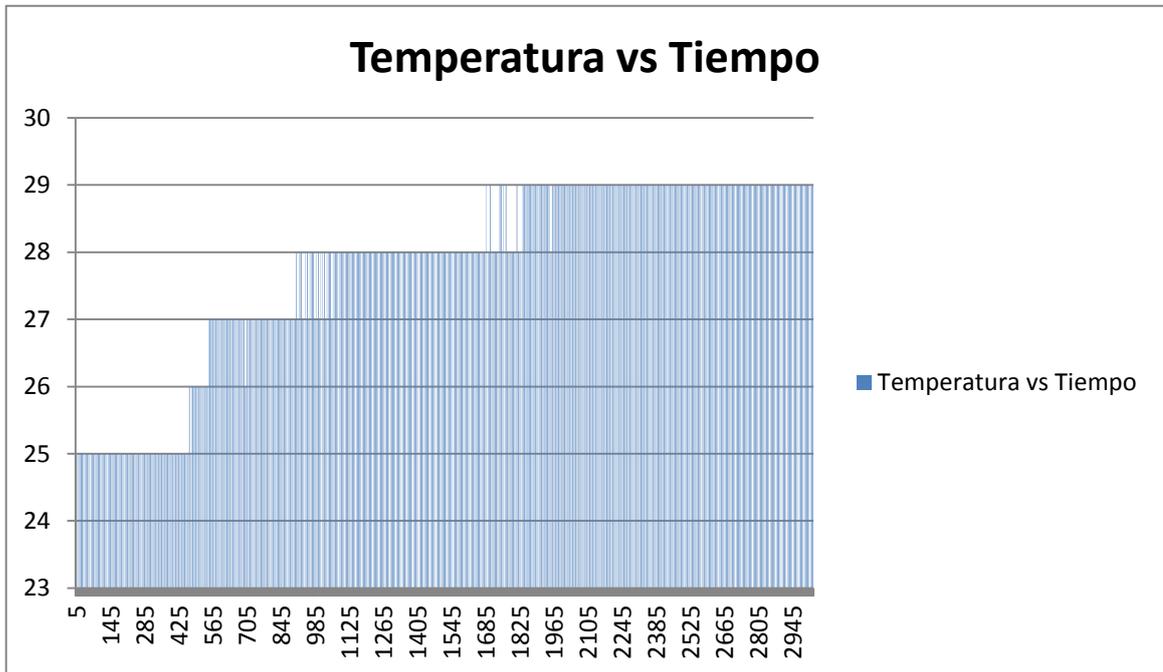
ENSAYO 6011

PRUEBA 5:



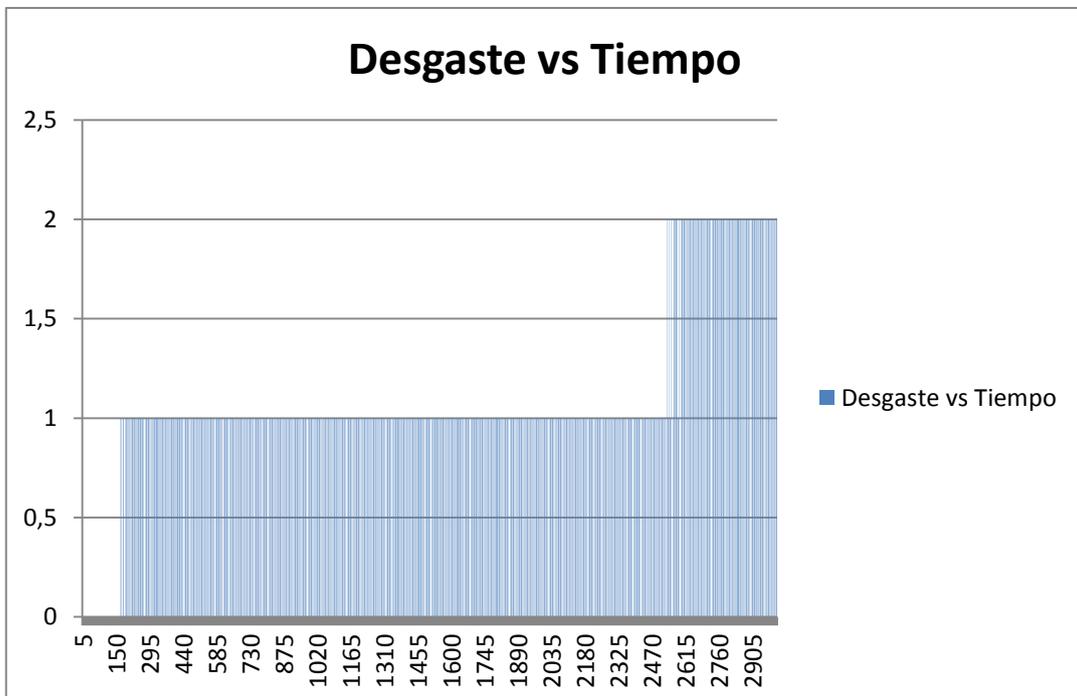
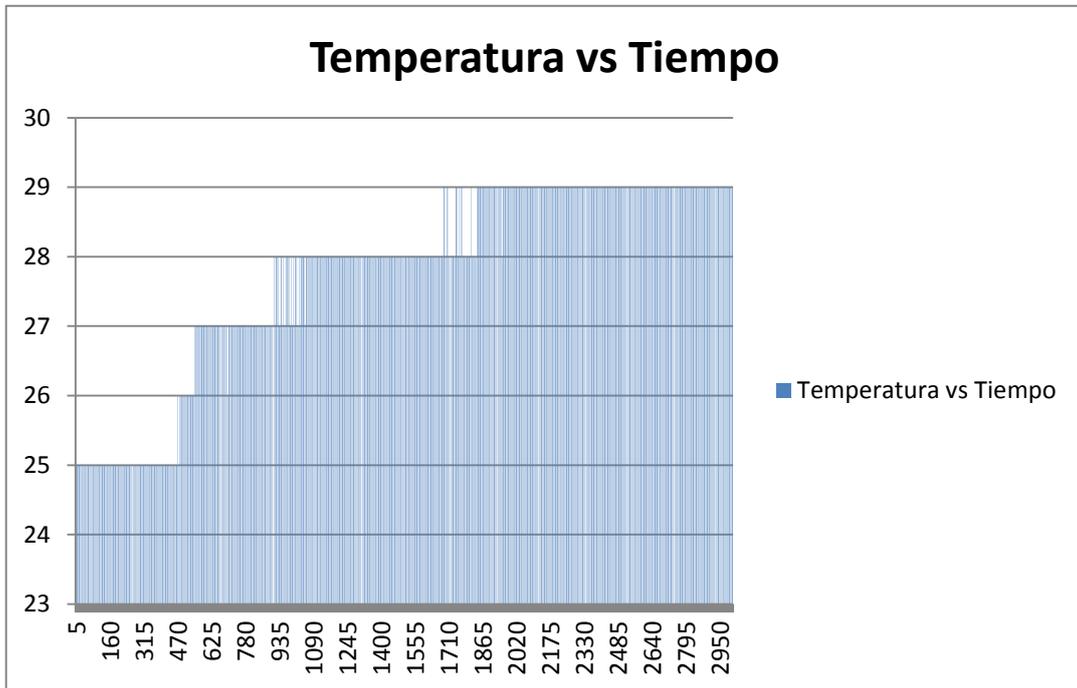
ENSAYO 6013

PRUEBA 1:



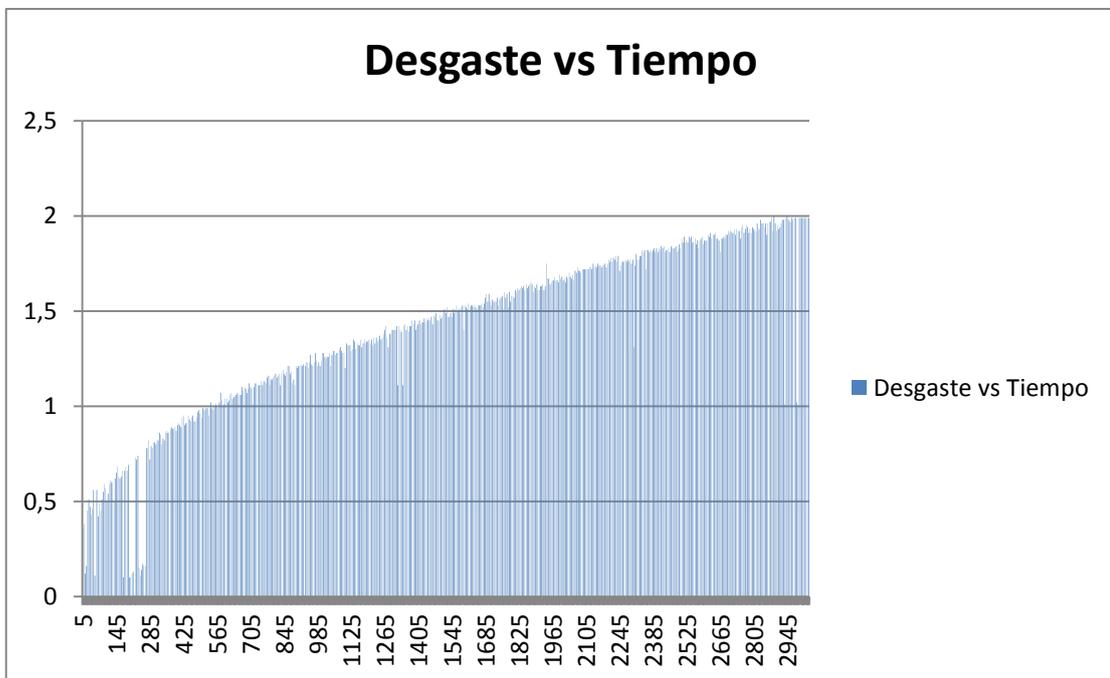
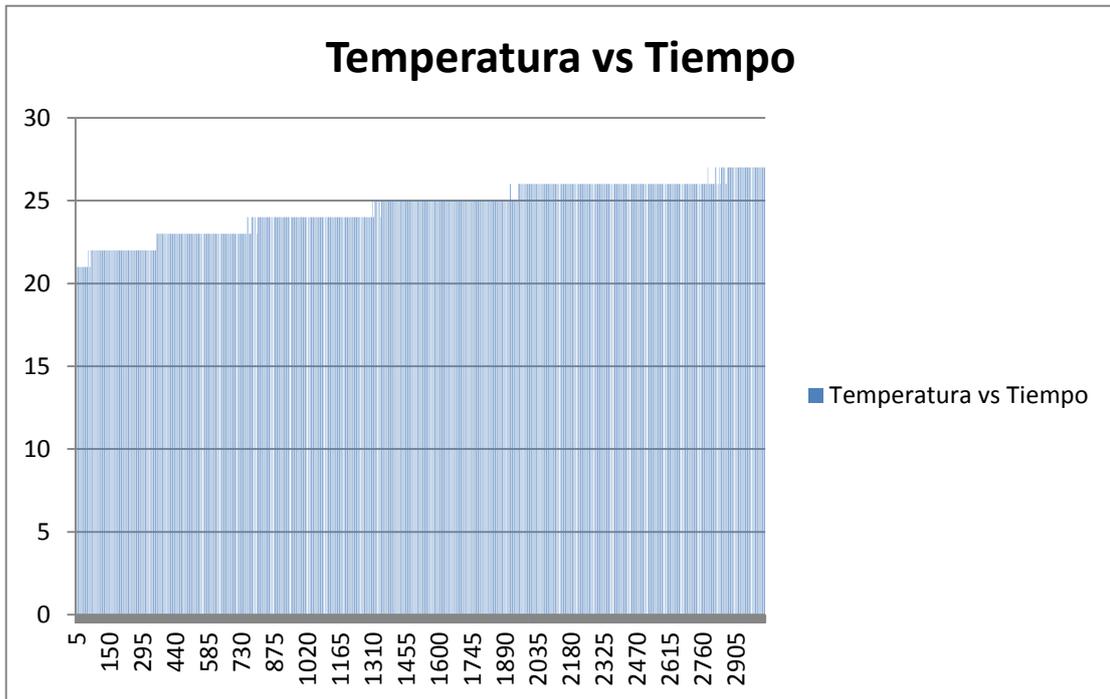
ENSAYO 6013

PRUEBA 2:



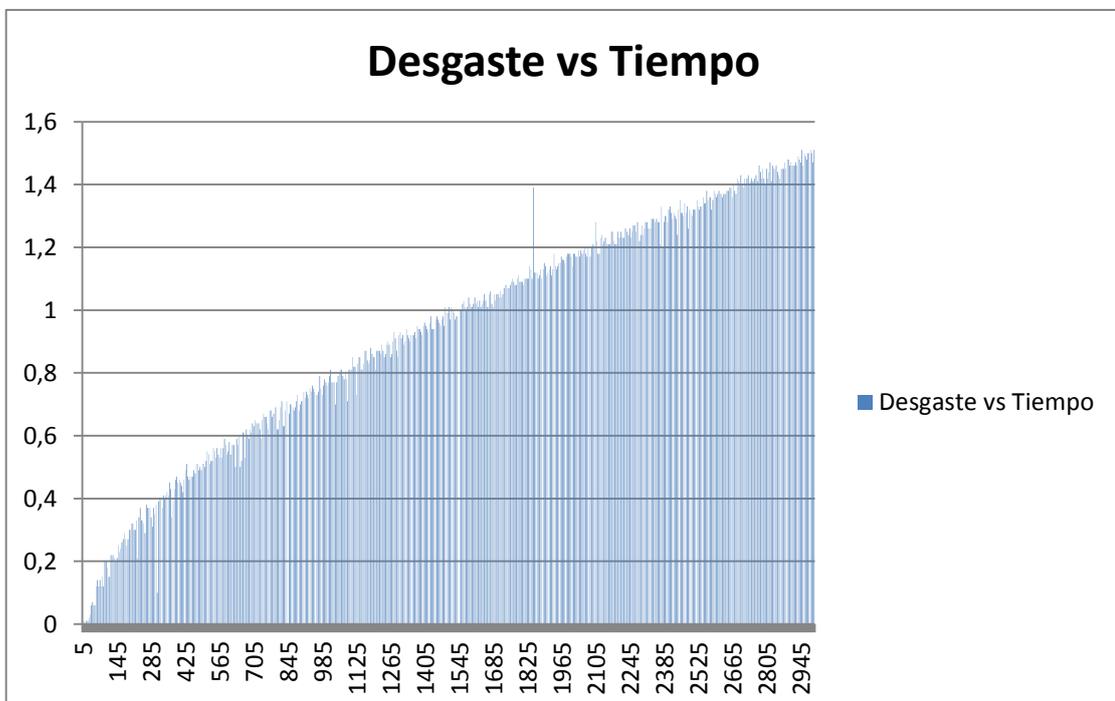
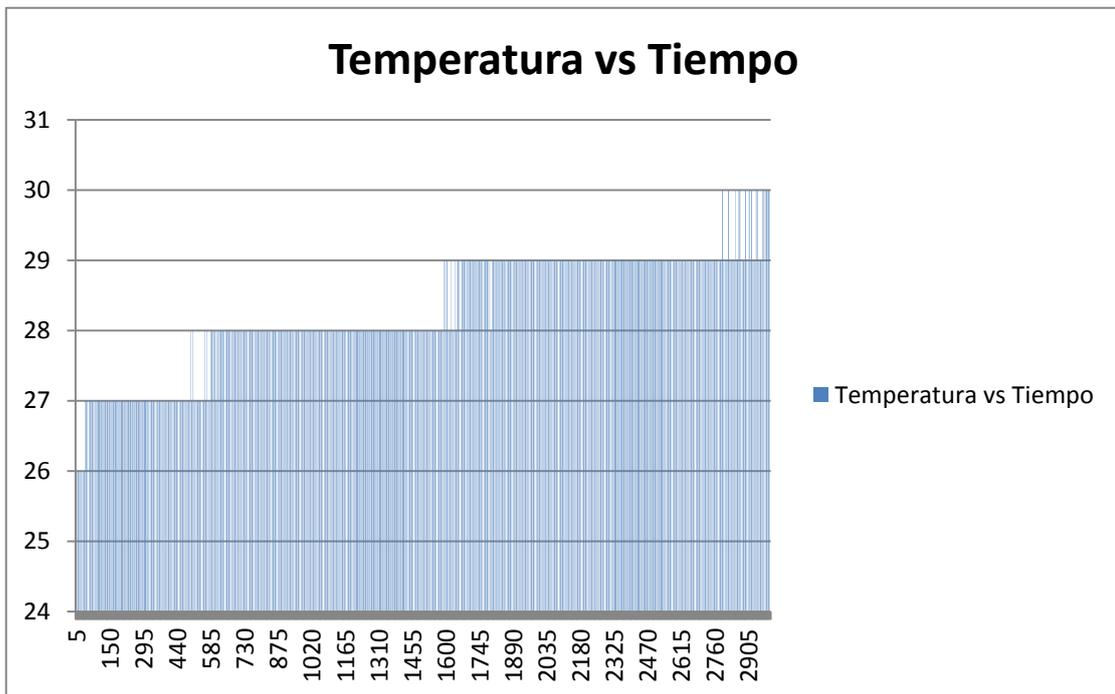
ENSAYO 6013

PRUEBA 3:



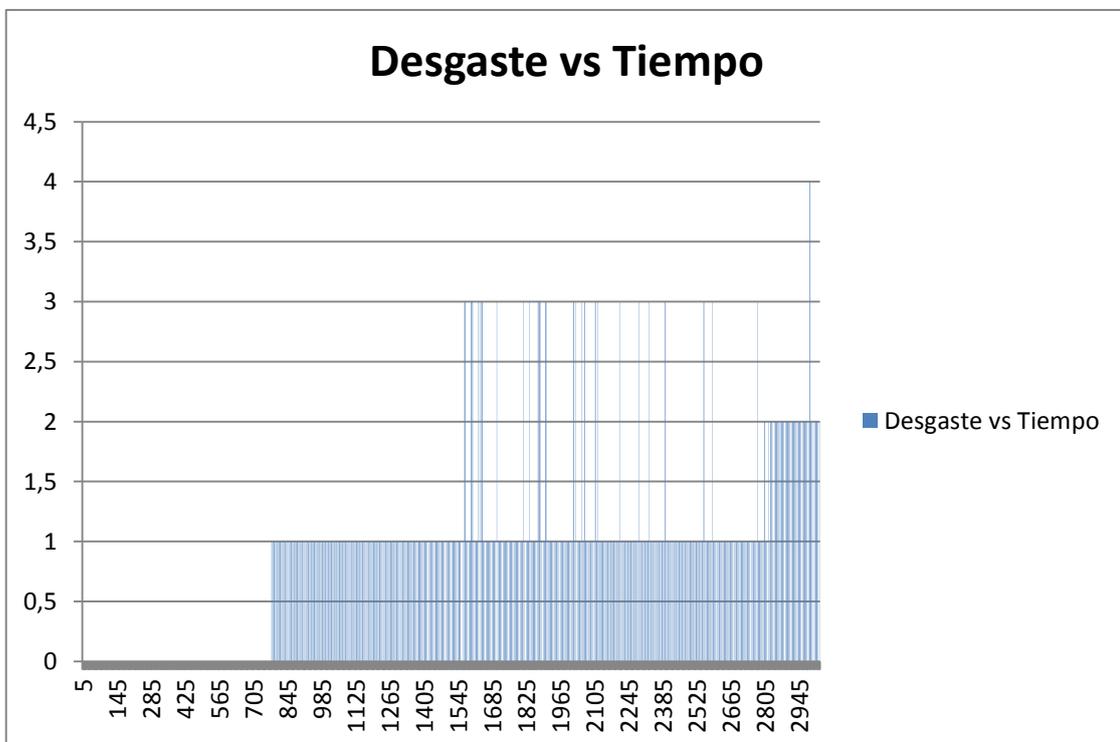
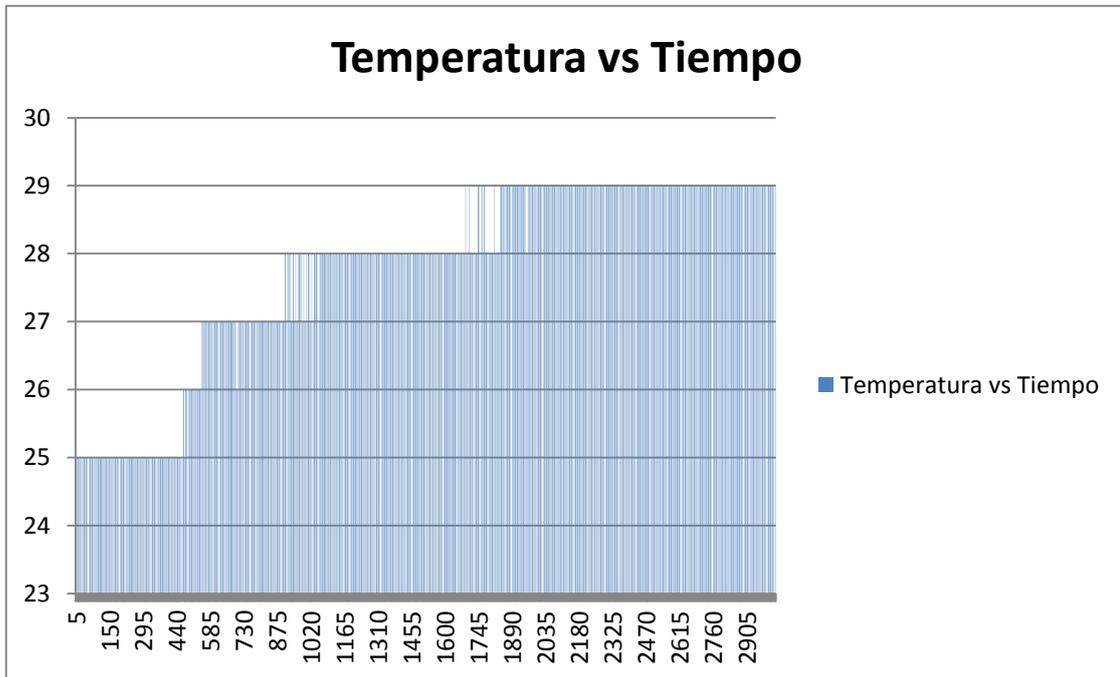
ENSAYO 6013

PRUEBA 4:



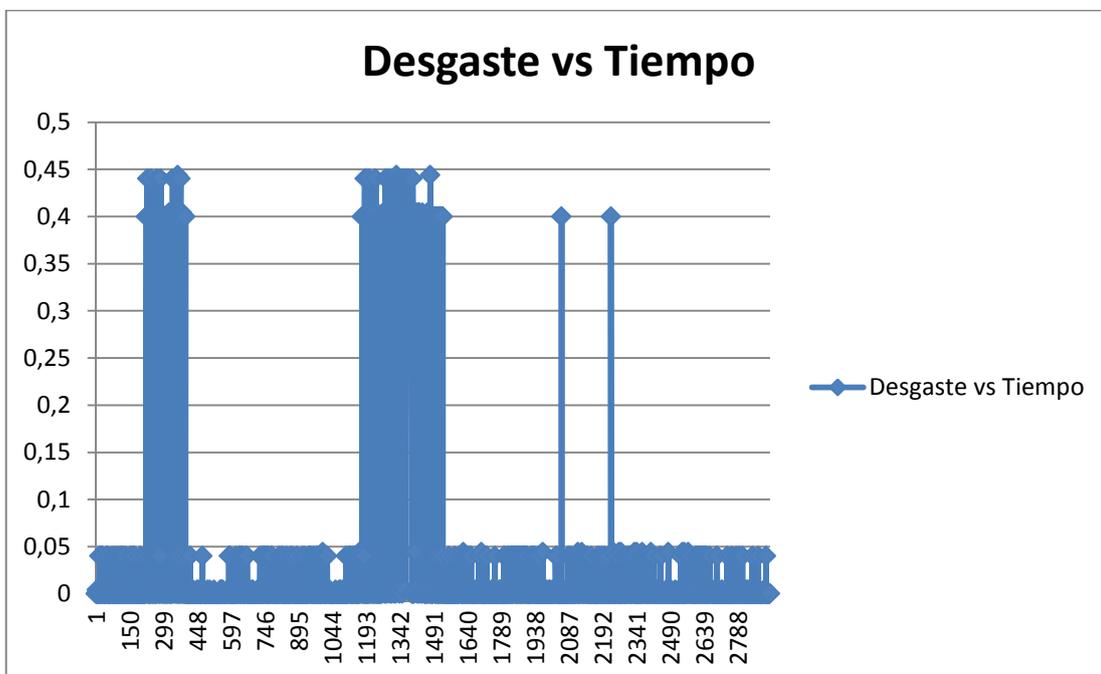
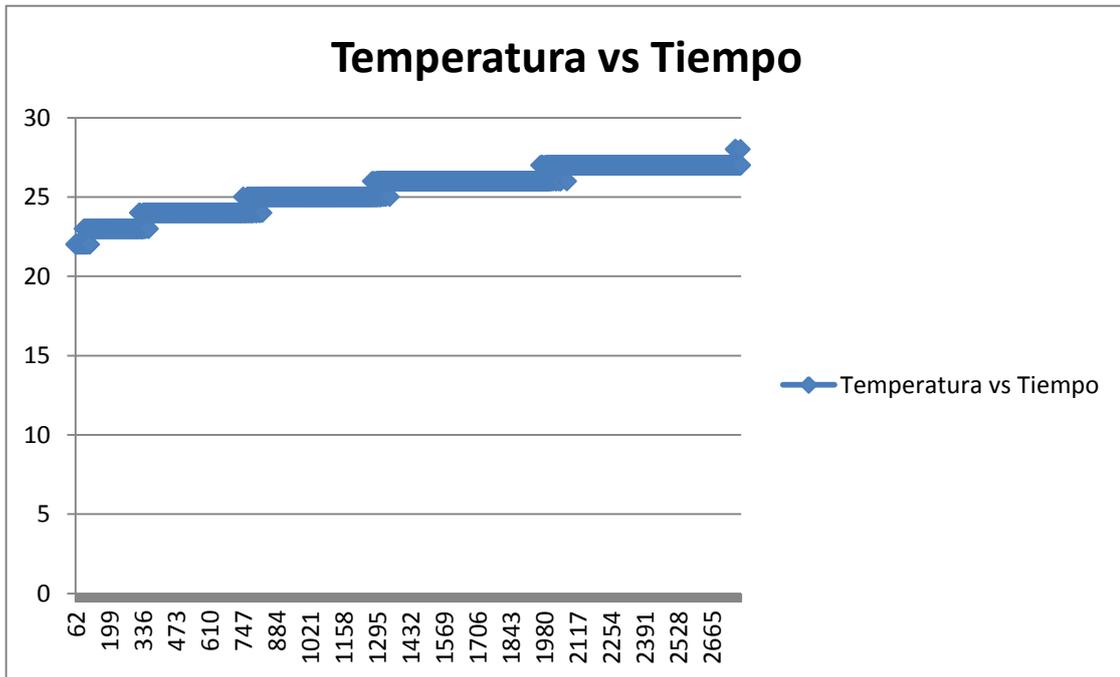
ENSAYO 6013

PRUEBA 5:



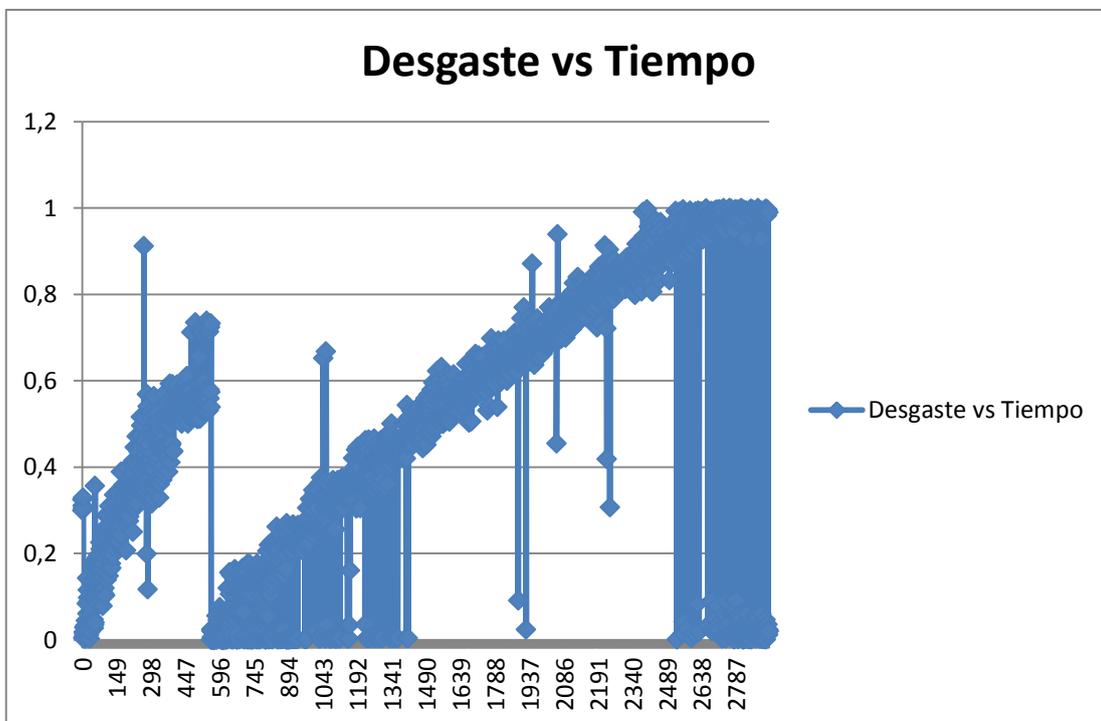
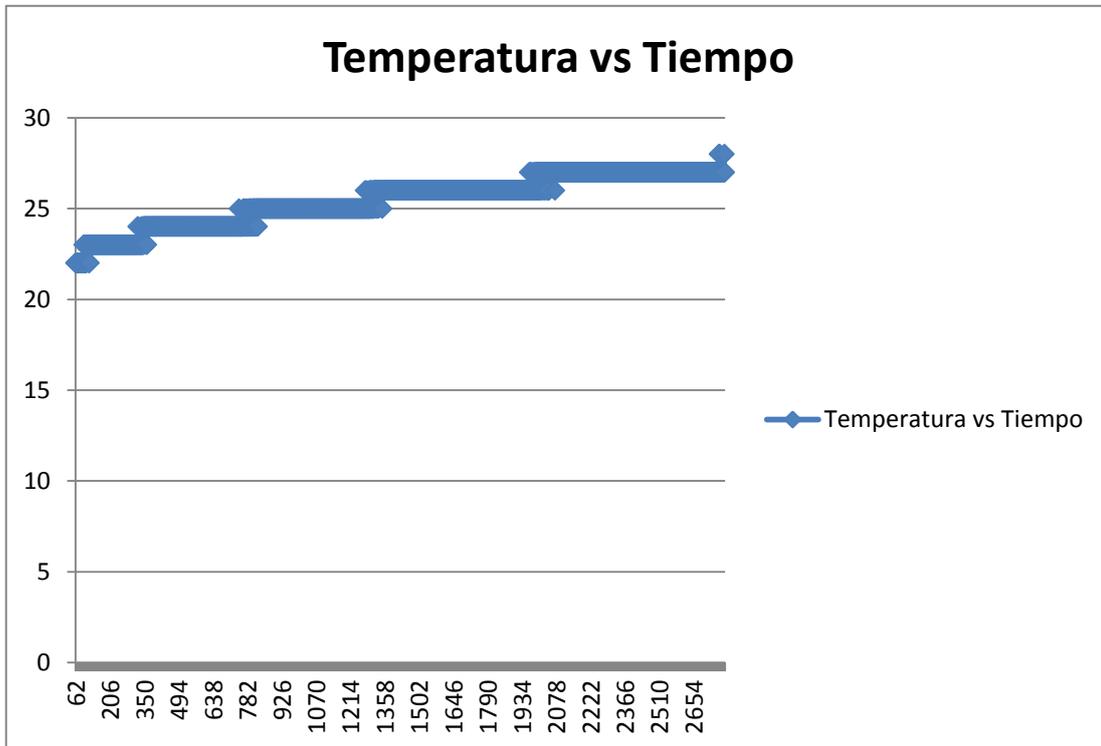
ENSAYO 7018

PRUEBA 1:



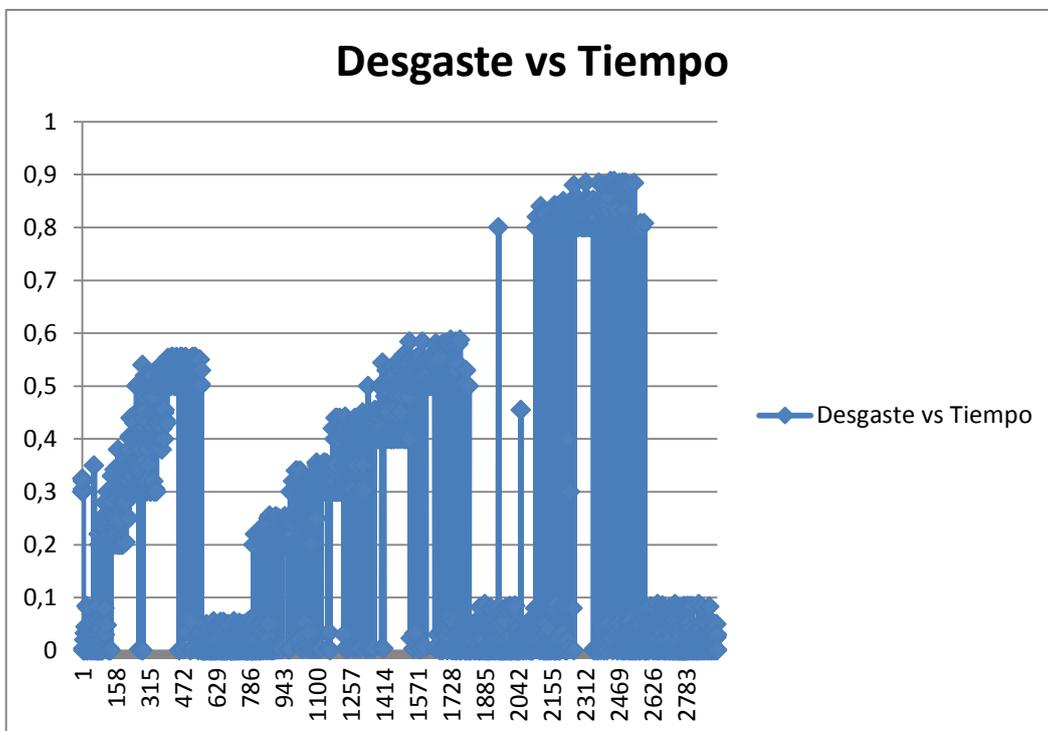
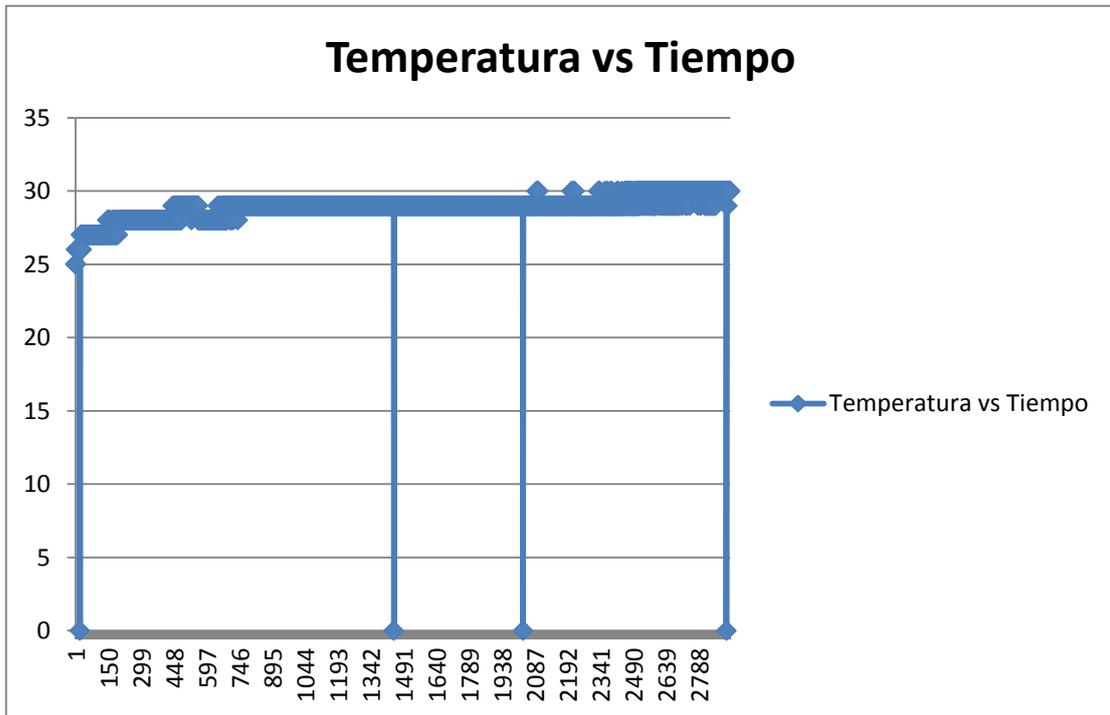
ENSAYO 7018

PRUEBA 2:



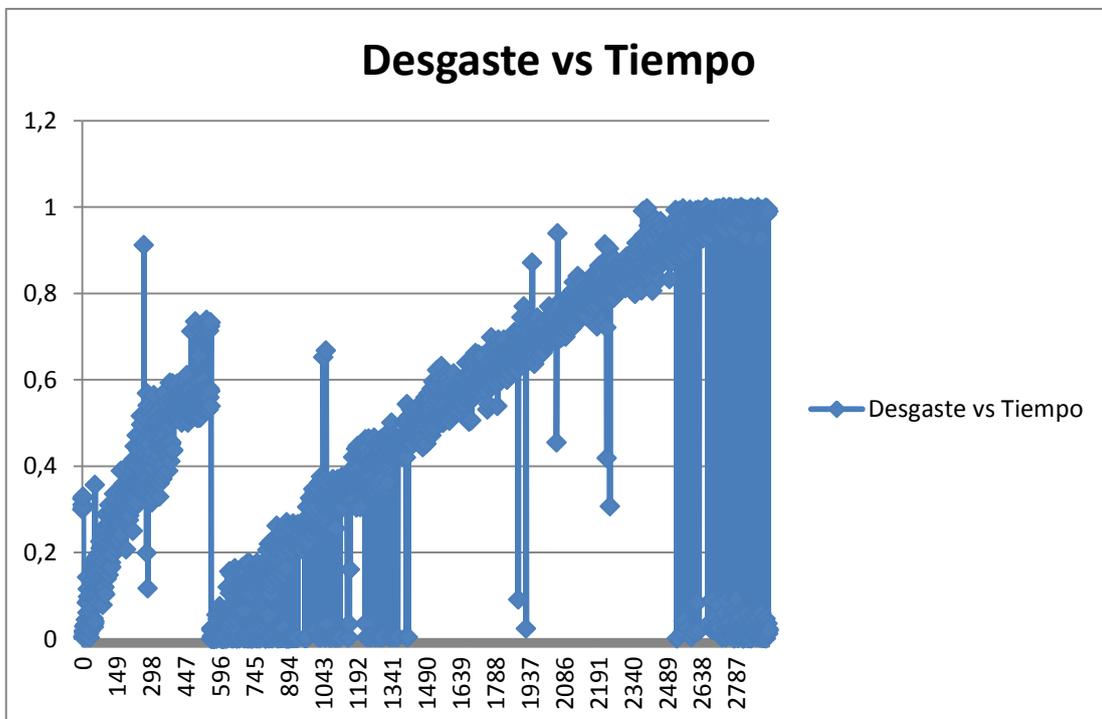
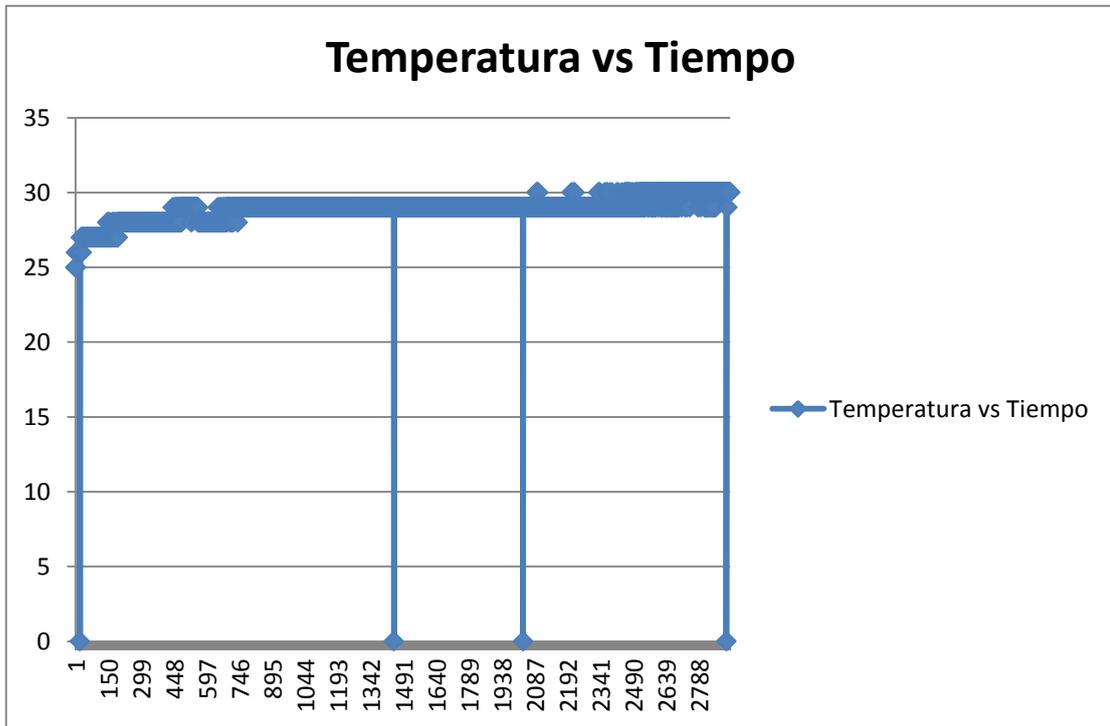
ENSAYO 7018

PRUEBA 3:



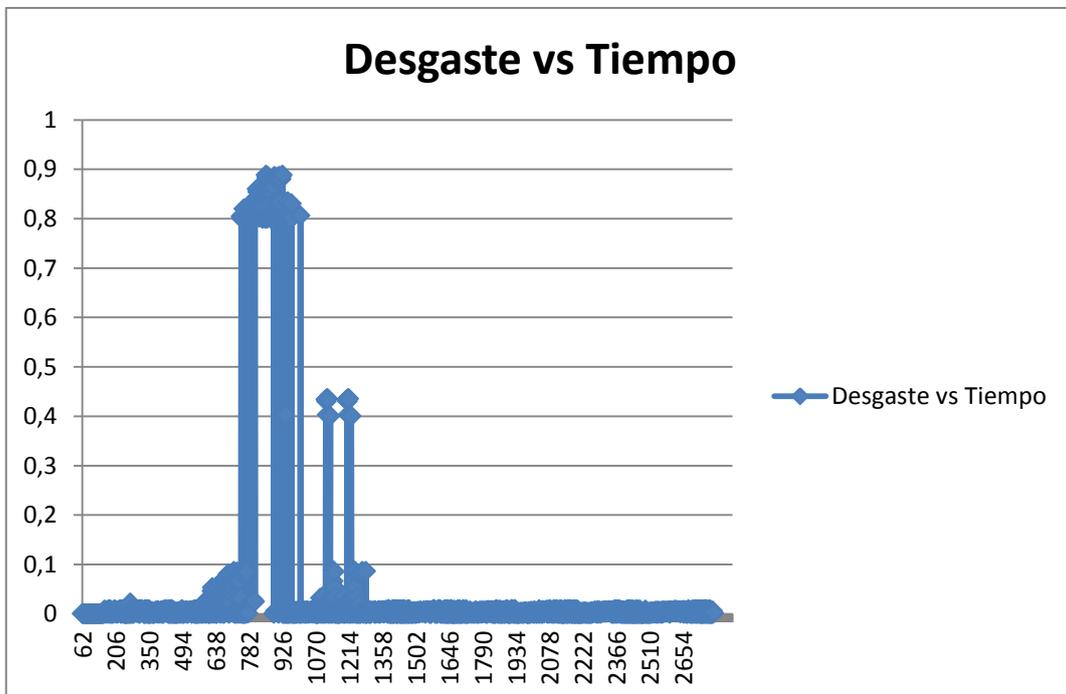
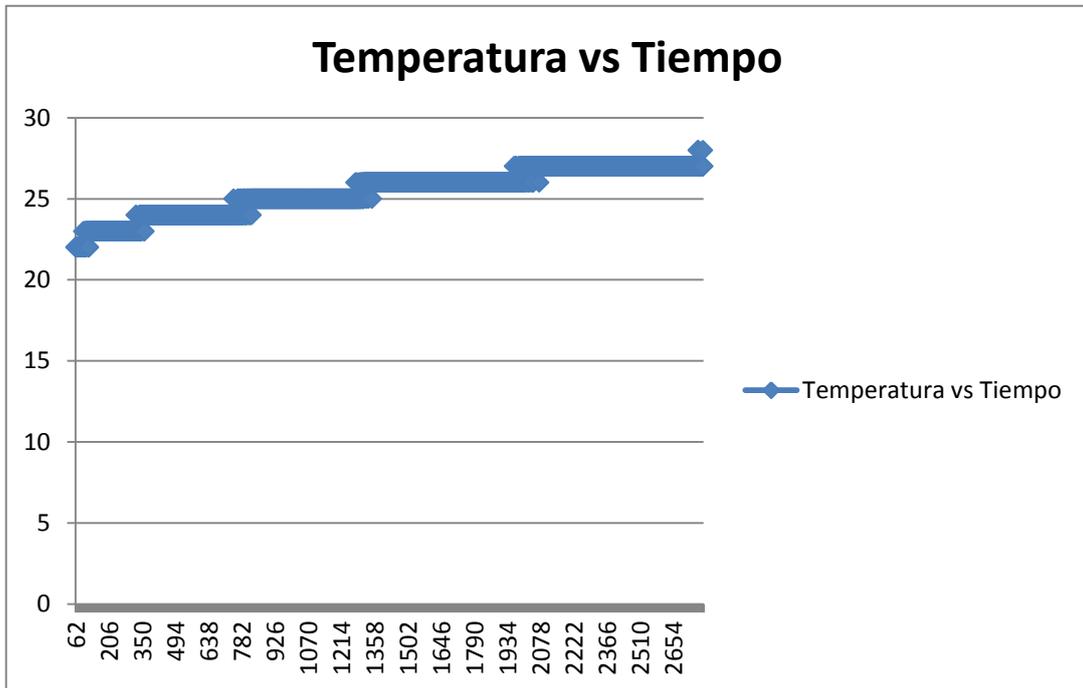
ENSAYO 7018

PRUEBA 4:



ENSAYO 7018

PRUEBA 5:



ANEXO E. ENSAYO DE FRICCIÓN SECA

 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO 					
FACULTAD DE MECANICA					
CARRERA DE MANTENIMIENTO					
Ensayo:	Fricción seca		Método:	ASTM G83-96	
Tamaño de la muestra	5		N. Ensayo	1	
Material Probeta:	Acero AISI SAE 1018 con recubrimiento de E6011		Material Contraprobeta:	Bronce fosfórico	
PARAMETROS					
Velocidad:	400 rpm		Fuerza aplicada	71,2 N	
Revoluciones	4000		Tiempo	50 min	
RESULTADOS					
Desgaste(mm)					
10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	Promedio
0,48	0,815	0,009	0,2	0,49	0,3988
0,613	0,903	1,15	1,362	1,583	1,06225
0,483	0,815	0,079	0,203	0,49	0,414
0,613	0,903	1,15	1,362	1,583	1,1222
0,643	0,982	0,194	0,426	0,551	0,5592
N.	Probeta Móvil:	Acero AISI SAE 1018 con recubrimiento de E6011			
	Temperatura	Volumen perdido de material	Distancia recorrida	Volumen de desgaste	Coefficient e de fricción (K experimental)
D01-1	23	2,53186786	159593,077	0,0506373 6	0,0001482
D01-2	27	0,1326134	159593,077	0,0026522 7	0,0000078
D01-3	23	0,13171712	159593,077	0,0026343	0,0000077

				4	
D01-4	27	0,26487612	159593,077	0,0052975 2	0,0000155
D01-5	29	0,13299286	159593,077	0,0026598 6	0,0000078
Promedio	25,8	0,63881347	159593,0768	0,0127762 7	0,0000374
N.	Probeta Fija:	Bronce fosfórico			
	Temperatura	Volumen perdido de material	Distancia recorrida	Volumen de desgaste	Coefficiente de fricción (K experimental)
D04-1	23	51,735	159593,077	1,035	0,003
D04-2	27	46,787	159593,077	0,936	0,003
D04-3	23	51,046	159593,077	1,021	0,003
D04-4	27	55,754	159593,077	1,115	0,003
D04-5	29	52,498	159593,077	1,05	0,003
Promedio	25,8	51,564	159593,0768	1,0314	0,003
Observaciones					

 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECANICA CARRERA DE MANTENIMIENTO 			
Ensayo:	Fricción seca	Método:	ASTM G83-96
Tamaño de la muestra	5	N. Ensayo	2
Material Probeta:	Acero AISI SAE 1018 con recubrimiento de E6013	Material Contraprobeta:	Bronce fosfórico
PARAMETROS			

Velocidad:	400 rpm	Fuerza aplicada	71,2 N		
Revoluciones	4000	Tiempo	50 min		
RESULTADOS					
Desgaste(mm)					
10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	Promedio
0	1	1	1	2	1
1	1	1	1	2	1,2
1,04	1,35	1,58	1,83	1,99	1,558
0,55	0,85	1,09	1,28	1,51	1,056
0	1	1	1	2	1
N.	Probeta Móvil:	Acero AISI SAE 1018 con recubrimiento de E6013			
	Temperatura	Volumen perdido de material	Distancia recorrida	Volumen de desgaste	Coefficiente de fricción (K experimental)
D02-1	28	0	159593,077	0	0,0000000
D02-2	27	0,40155765	159593,077	0,008031153	0,0000257
D02-3	24	0,80499161	159593,077	0,016099832	0,0000514
D02-4	28	6,68930135	159593,077	0,133786027	0,0004275
D02-5	28	0	159593,077	0	0,0000000
Promedio	27	1,57917012	159593,0768	0,031583402	0,0001009
N.	Probeta Fija:	Bronce fosfórico			
	Temperatura	Volumen perdido de material	Distancia recorrida	Volumen de desgaste	Coefficiente de fricción (K experimental)
D04-1	23	51,735	159593,077	1,035	0,004
D04-2	27	46,787	159593,077	0,936	0,004

D04-3	23	51,046	159593,077	1,021	0,003
D04-4	27	55,754	159593,077	1,115	0,004
D04-5	29	52,498	159593,077	1,05	0,003
Promedio	25,8	51,564	159593,0768	1,0314	0,004
Observaciones					

 <p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECANICA CARRERA DE MANTENIMIENTO</p> 					
Ensayo:	Fricción seca		Método:	ASTM G83-96	
Tamaño de la muestra	5		N. Ensayo	2	
Material Probeta:	Acero AISI SAE 1018 con recubrimiento de E6011		Material Contraprobeta:	Bronce fosfórico	
PARAMETROS					
Velocidad:	400 rpm		Fuerza aplicada	71,2 N	
Revoluciones	4000		Tiempo	50 min	
RESULTADOS					
Desgaste(mm)					
10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	Promedio
0,0087	0,0033	0,0033	0,0072	0,002	0,0049
0,002	0,426	0,642	0,906	0,02	0,3992
0,026	0,372	0,607	0,85	0,01	0,373
0,757	0,262	0,348	0,631	0,745	0,5486
0,026	0,529	0,607	0,987	1,01	0,6318
N.	Probeta Móvil:	Acero AISI SAE 1018 con recubrimiento de E7018			
	Temperatura	Volumen perdido de material	Distancia recorrida	Volumen de desgaste	Coefficiente de fricción (K experiment)

					tal)
D01-1	23	2,53186786	159593,077	0,050637 357	0,0000000
D01-2	27	0,1326134	159593,077	0,002652 268	0,0000236
D01-3	23	0,13171712	159593,077	0,002634 342	0,0000612
D01-4	27	0,26487612	159593,077	0,005297 522	0,0000000
D01-5	29	0,13299286	159593,077	0,002659 857	0,0000683
Promedio	25,8	0,63881347	159593,0768	0,012776 269	0,0000306
N.	Probeta Fija:	Bronce fosfórico			
	Temperatura	Volumen perdido de material	Distancia recorrida	Volumen de desgaste	Coefficiente de fricción (K experimental)
D04-1	23	51,735	159593,077	1,035	0,003
D04-2	27	46,787	159593,077	0,936	0,003
D04-3	23	51,046	159593,077	1,021	0,003
D04-4	27	55,754	159593,077	1,115	0,003
D04-5	29	52,498	159593,077	1,05	0,003
Promedio	25,8	51,564	159593,0768	1,0314	0,003
Observaciones					

ANEXO F. ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Plan de Soldadura y WPS (E7018)

PLAN DE SOLDADURA										
VARIABLES DEL PROCESO										
5.9	5.10			5.10.3	5.12			5.12		5.13
	5.10.1	5.10.2	5.10.3		5.12.1			5.12.1		
	QW-404			QW-404 6/.7		QW-409				
PROCESO	MATERIAL APORTE			DIÁMETROS		TIPO DE CORRIENTE		AMPERAJE		TÉCNICA
	QW-432	QW-442	ELECTRODO	Raíz	Relleno	Raíz	Relleno	Raíz	Relleno	Cordón: Recto
	# F	# A								Pase: Múltiple
SMAW	4	1	SFA 5.1 E7018	3,25 mm	3,25 mm	DC-	DC-	80	110	

VARIABLES TERMICAS								
5.1.1	5.1.4	5.2	5.3	5.4		5.6	5.7	5.8
		5.2.1						
QW-403	QW-403	QW-403	QW-406			QW-407	QW-402	QW-405
Material 1	# P 1	Espesor	T° de Pre-Calentamiento	T° entre Pases		PWHT	Recargue	Posición

AISI SAE 1018	1	12,7 mm	70°C - 100°C	70°C - 100°C	N/A	Unión con recargue	1G	1F
---------------	---	---------	--------------	--------------	-----	--------------------	----	----

		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO					
		FACULTAD: MECANICA					
		CARRERA: MANTENIMIENTO					
Área		Tribología	Realizado por		Dayana Andino		
Especificación		WPS 01	Fecha de realización				
Proceso		SMAW					
Tipo		Manual					
RELLENO							
Respaldo		No					
Material de Respaldo		Metal(x)	No metálico()	Refractario()	Otros()		
METAL BASE		AISI SAE 1018					
Rango de espesor		12,7 mm					
Metal base		Acero de bajo contenido de carbono					
Filete		N/A					
METAL APORTE							
				POSICIONES			
Especificación		AWS A5.1	Posición		1G		
Clase		E7018	PRECALENTAMIENTO				
Numero F		4	Temperatura				
Numero A		1	Mínima		70 °C		
Diámetro del electrodo		3,25 mm	Máxima		100°C		
Forma del producto		Barra					
Rango de espesores de los cordones		5-7 mm					

Otros						
CARACTERISTICAS ELECTRICAS						
Pases de soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Velocidad de avance
		Clase	Diámetro	Tipo/ Polaridad	Amperaje	
1	SMAW	E7018	3,25 mm	DC (-)	110	7
2	SMAW	E7018	3,25 mm	DC (-)	110	7
Relleno	SMAW	E7018	3,25 mm	DC (-)	110	7
Observaciones						

Plan de Soldadura y WPS (E6011)

PLAN DE SOLDADURA							
VARIABLES DEL PROCESO							
5.9	5.10			5.10.3	5.12	5.12	5.13
	5.10.1	5.10.2	5.10.3		5.12.1	5.12.1	QW-410

	QW-404			QW-404 6/7		QW-409				
	MATERIAL APORTE			DIÁMETROS		TIPO DE CORRIENTE		AMPERAJE		TÉCNICA
PROCESO	QW-432	QW-442	ELECTRODO	Raíz	Relleno	Raíz	Relleno	Raíz	Relleno	Cordón: Recto Pase: Múltiple
	# F	# A								
SMAW	3	1	SFA 5.1 E6011	2,5 mm	2,5 mm	AC	AC	80	65	

VARIABLES TERMICAS									
5.1.1	5.1.4	5.2	5.3	5.4	5.6	5.7	5.8		
		5.2.1							
QW-403	QW-403	QW-403	QW-406			QW-407	QW-402	QW-405	
Material 1	# P 1	Espesor	T° de Pre- Calentamiento	T° entre Pases		PWHT	Recargue	Posición	
AISI SAE 1018	1	12,7 mm	70°C - 90°C	70°C - 90°C		N/A	Unión con recargue	1G	1F

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO			
FACULTAD: MECANICA			
CARRERA: MANTENIMIENTO			
Área	Tribología	Realizado por	Dayana Andino
Especificación	WPS 01	Fecha de realización	
Proceso	SMAW		
Tipo	Manual		

RELLENO						
Respaldo	No					
Material de Respaldo	Metal(x)	No metálico()	Refractario()	Otros()		
METAL BASE	AISI SAE 1018					
Rango de espesor	12,7 mm					
Metal base	Acero de bajo contenido de carbono					
Filete	N/A					
METAL APORTE						
			POSICIONES			
Especificación	AWS A5.1		Posición	1G		
Clase	E6011		PRECALENTAMIENTO			
Numero F	3		Temperatura			
Numero A	1		Mínima	70 °C		
Diámetro del electrodo	2,5 mm		Máxima	90°C		
Forma del producto	Barra					
Rango de espesores de los cordones	6 mm					
Otros						
CARACTERISTICAS ELECTRICAS						
Pases de soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Velocidad de avance
		Clase	Diámetro	Tipo/ Polaridad	Amperaje	
1	SMAW	E6011	2,5 mm	AC	65	7
2	SMAW	E6011	2,5 mm	AC	65	7
Relleno	SMAW	E6011	2,5 mm	AC	65	7

Observaciones

Plan de Soldadura y WPS (E6013)

PLAN DE SOLDADURA											
VARIABLES DEL PROCESO											
5.9	5.10			5.10.3	5.12		5.12		5.13		
	5.10.1	5.10.2	5.10.3		5.12.1		5.12.1		QW-410		
	QW-404			QW-404 6/7		QW-409					
	MATERIAL APORTE			DIÁMETROS		TIPO DE CORRIENTE		AMPERAJE		TÉCNICA	
PROCESO	QW-432	QW-442	ELECTRODO	Raíz	Relleno	Raíz	Relleno	Raíz	Relleno	Cordón: Recto Pase: Múltiple	
	# F	# A									
SMAW	2	1	SFA 5.1 E6013	2,5 mm	2,5 mm	AC	AC	80	80		

VARIABLES TERMICAS								
5.1.1	5.1.4	5.2	5.3	5.4		5.6	5.7	5.8
		5.2.1						
QW-403	QW-403	QW-403	QW-406			QW-407	QW-402	QW-405
Material 1	# P 1	Esesor	T° de Pre- Calentamiento	T° entre Pases		PWHT	Recargue	Posición

AISI SAE 1018	1	12,7 mm	70°C - 80°C	70°C - 80°C	N/A	Unión con recargue	1G	1F
------------------	---	---------	-------------	-------------	-----	-----------------------	----	----

		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO					
		FACULTAD: MECANICA					
		CARRERA: MANTENIMIENTO					
Área	Tribología		Realizado por		Dayana Andino		
Especificación	WPS 01		Fecha de realización				
Proceso	SMAW						
Tipo	Manual						
RELLENO							
Respaldo	No						
Material de Respaldo	Metal(x)	No metálico()	Refractario()	Otros()			
METAL BASE	AISI SAE 1018						
Rango de espesor	12,7 mm						
Metal base	Acero de bajo contenido de carbono						
Filete	N/A						
METAL APORTE							
				POSICIONES			
Especificación	AWS A5.1		Posición		1G		
Clase	E6013		PRECALENTAMIENTO				
Numero F	2		Temperatura				
Numero A	1		Mínima		70 °C		
Diámetro del electrodo	2,5 mm		Máxima		80°C		
Forma del producto	Barra						

Rango de espesores de los cordones	6 mm					
Otros						
CARACTERISTICAS ELECTRICAS						
Pases de soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Velocidad de avance
		Clase	Diámetro	Tipo/ Polaridad	Amperaje	
1	SMAW	E6013	2,5 mm	AC	80	7
2	SMAW	E6013	2,5 mm	AC	80	7
Relleno	SMAW	E6013	2,5 mm	AC	80	7
Observaciones						

ANEXO G. ENCUESTA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
ESCUELA DE INGENIERIA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



PROYECTO DE TESIS

Esta encuesta tiene como fin recoger información sobre los tipos de recuperación de elementos de máquinas, tipos de soldadura y tipos de electrodos que se utiliza con mayor frecuencia en talleres de las ciudades de Latacunga y Riobamba

Nombre:.....
.....

¿Qué tipo de piezas con mayor frecuencia se recuperan en su taller?

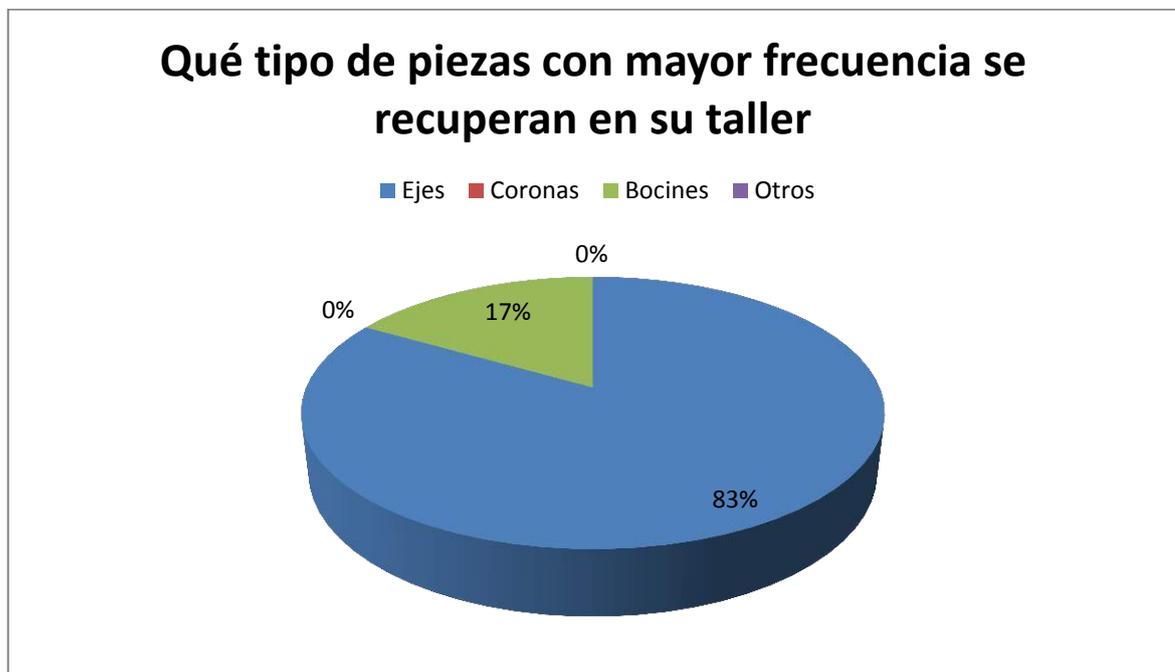
Ejes

Coronas

Bocines

Otros

Especifique.....
.....



¿Qué métodos de recuperación usted utiliza en su taller?

Soldadura

Metalización

Cromado

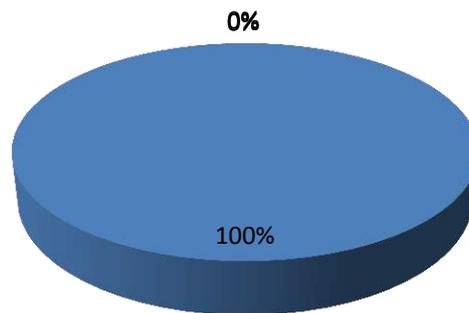
Otros

Especifique.....

.....

Qué métodos de recuperación usted utiliza en su taller

■ Soldadura ■ Metalización ■ Cromado ■ Otros



¿Qué tipo de soldadura utiliza usted con mayor frecuencia?

Eléctrica

TIG

MIG

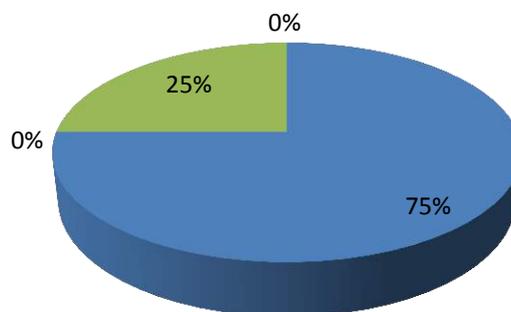
Otros

Especifique.....

.....

Qué tipo de soldadura utiliza usted con mayor frecuencia

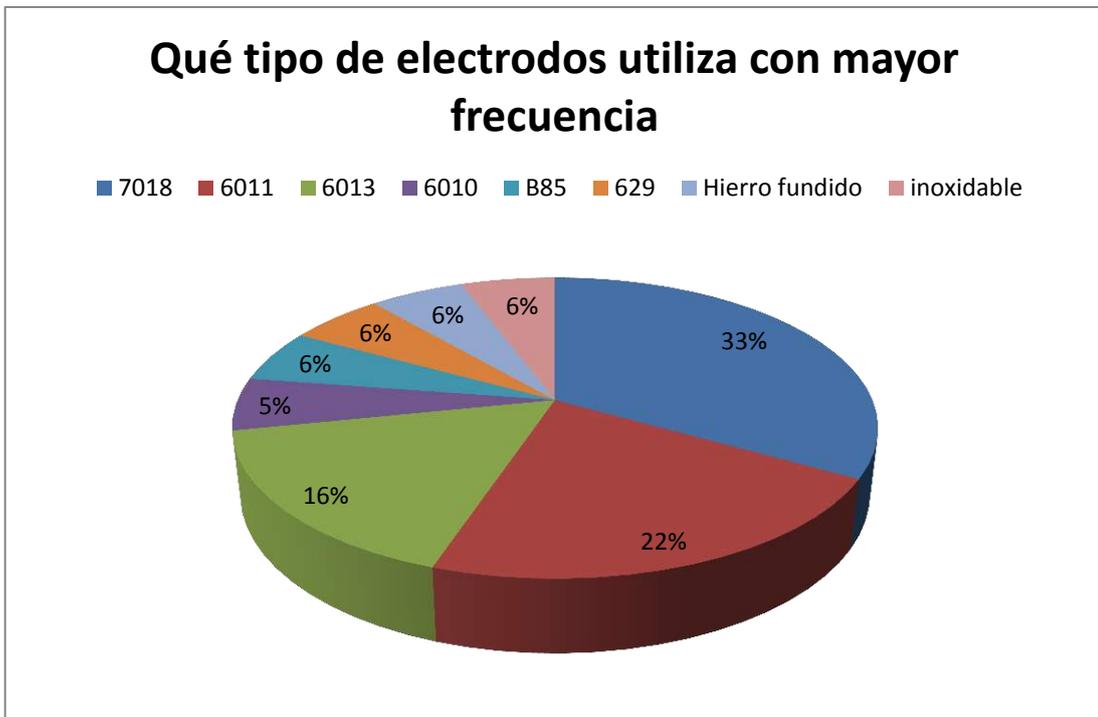
■ Eléctrica ■ TIG ■ MIG ■ Otros



¿Qué tipo de electrodos utiliza con mayor frecuencia? (Mencione 3 tipos).

.....

.....



Estos electrodos los utiliza debido a la :

Guía del fabricante

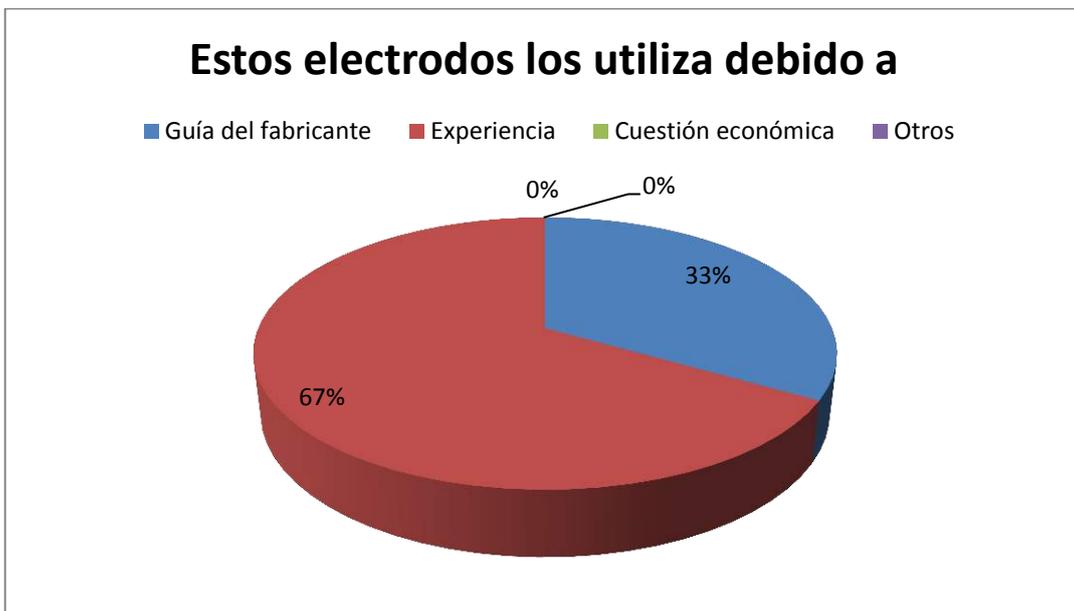
Experiencia

Cuestión económica

Otros

Especifique.....

.....



Cree usted que sería de importancia realizar un estudio de la resistencia al desgaste de los recubrimientos que usted realiza:

SI

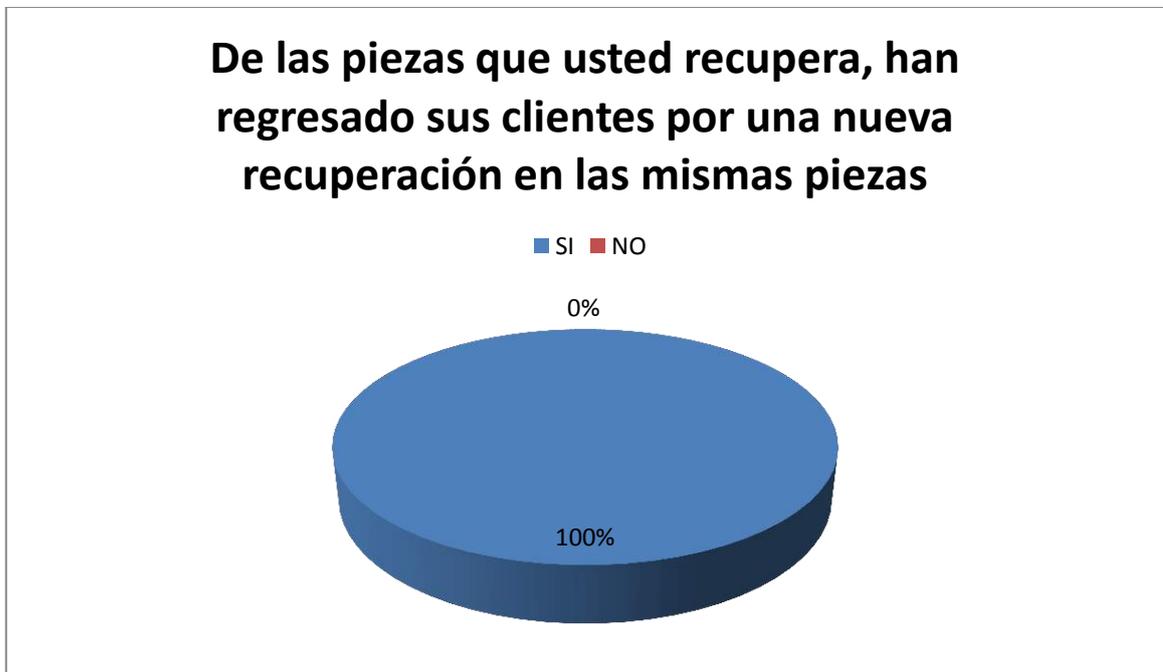
NO



De las piezas que usted recupera, han regresado sus clientes por una nueva recuperación en las mismas piezas

SI

NO



En caso de contestar si, usted cree que es debido:

Al mal uso de las piezas durante su recuperación

Mala calidad del recubrimiento

Confía usted en las sugerencias de los catálogos

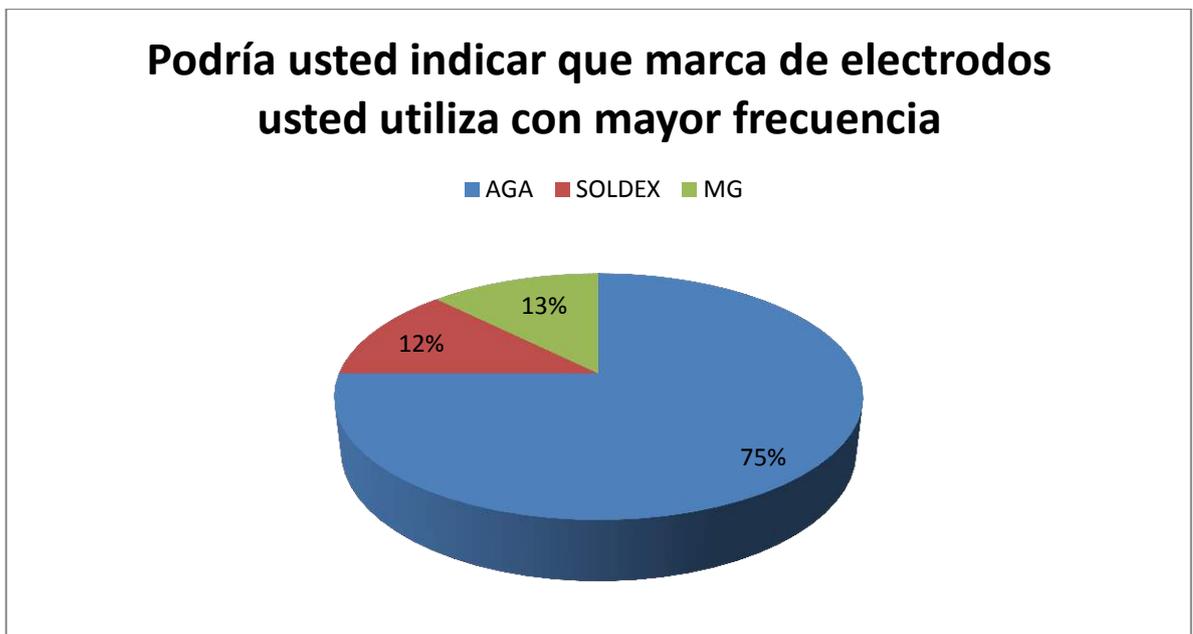
SI

NO



Podría usted indicar que marca de electrodos usted utiliza con mayor frecuencia

.....
.....





Designation: G 83 – 96

Standard Test Method for Wear Testing with a Crossed-Cylinder Apparatus¹

This standard is issued under the fixed designation G 83; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 This test method covers a laboratory test for ranking metallic couples in their resistance to sliding wear using the crossed-cylinder apparatus. During the test, wear occurs at a contact between a rotating cylinder and a stationary cylinder which have their long axes oriented normal to each other.

1.2 When the rotating and stationary cylinders are of the same material, wear test results are reported as the total volume loss in cubic millimetres for the rotating and stationary cylinders. The manner of recording the results also specifies the particular test procedure used. The value is obtained by adding the volume loss of the rotating member to the volume loss of the nonrotating member. Materials of higher wear resistance will have lower volume loss.

NOTE 1—To attain uniformity among laboratories, it is the intent of this test method to require that volume loss due to wear be reported only in the metric system as cubic millimetres ($1 \text{ mm}^3 = 6.102 \times 10^{-5} \text{ in.}^3$).

1.3 When dissimilar materials are being tested, wear test results are reported as the total volume loss in cubic millimetres for the rotating and stationary test cylinders as well as the volume loss of each cylinder separately. When two different metals or alloys are tested, it is also recommended that each metal or alloy be tested in both the stationary and moving positions. Then, for each metal or alloy, the combined volume of wear in both positions should be used in comparisons with self-mated wear volume.

1.4 The test method describes three recommended procedures that are appropriate for different degrees of wear resistance.

NOTE 2—The crossed-cylinder wear test inherently exhibits a time varying contact area. A plot of wear volume versus sliding distance is typically nonlinear. Therefore, results obtained using parameters other than those specified in the test method cannot be used to calculate an expected value.

1.4.1 *Procedure A*—This is a relatively severe test that will rank metallic materials which have high-wear resistance. Materials with wear resistance in the high-speed tool steel category are particularly suited to this test.

1.4.2 *Procedure B*—This is a short-term variation of Procedure A.

1.4.3 *Procedure C*—This is a lower speed and shorter term variation of Procedure A that is particularly useful in ranking materials of low-wear resistance.

1.5 In reporting, the values stated in SI units are preferred.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process²

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

G 40 Terminology Relating to Wear and Erosion³

3. Terminology

3.1 Definitions used in this test method are defined in accordance with Terminology G 40 as follows:

3.1.1 *coefficient of friction or f in tribology*—the dimensionless ratio of the friction force (F) between two bodies to the normal force (N) pressing these bodies together

$$\mu = (F/N)$$

3.1.2 *debris*—in tribology, particles that have become detached in a wear or erosion process.

3.1.3 *lubricant*—any substance interposed between two surfaces for the purpose of reducing the friction or wear between them.

3.1.4 *wear*—damage to a solid surface generally involving progressive loss of material, due to relative motion between that surface and a contacting substance or substances.

3.1.5 *wear rate*—the rate of material removal or dimensional change due to wear per unit of exposure parameter for example, quantity of material removed (mass, volume, thickness) in unit distance of sliding or unit time.

3.1.5.1 *Discussion*—Because of the possibility of confusion, the manner of computing wear rate should always be carefully specified.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee G-2 on Wear and Erosion and is the direct responsibility of Subcommittee G02.40 on Non-Abrasive Wear.

Current edition approved Nov. 11, 1996. Published January 1997. Originally published as G 83 – 89. Last previous edition G 83 – 90.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.02.

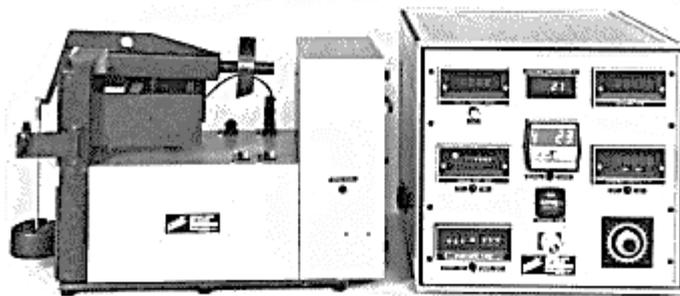


FIG. 1 Belt-Crossed-Cylinders Test Machine

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *applied load*—the dead-weight load placed on the crossed-cylinders.

3.2.1.1 *Discussion*—The weight of the stationary specimen holder is included.

3.2.2 *crossed-cylinder apparatus*—machine capable of testing two cylindrical specimens, positioned perpendicular to each other under load, one rotating at a specified speed while the other is stationary.

3.2.3 *sliding distance*—the distance computed, as the product of the circumference of the unworn cylinder and the number of revolutions.

3.2.4 *sliding speed*—the test speed of the rotating specimen.

3.2.5 *wear track*—the visual surface damage due to relative motion between the crossed cylinder specimens.

4. Summary of Test Method

4.1 For the crossed-cylinder wear test, two cylindrical specimens are positioned perpendicular to each other. The test machine should allow one specimen to rotate at speeds up to 400 r/min. The second, nonrotating specimen is pressed against the rotating specimens at a specified load by means of an arm and attached weights. It is the intent of the apparatus design that dead-weight loading be used. The test duration and rotational speed are varied as noted in Procedures A through C (see Section 8).

4.2 The amount of wear is determined by weighing the specimens before and after the test. Because of the wide differences in the density of materials, it is necessary to convert the weight loss to volume loss in cubic millimetres. Wear measurements are reported as volume loss per specified procedure.

5. Significance and Use

5.1 The amount of wear in any system will, in general, depend upon a number of factors such as the applied load,

sliding speed, the sliding distance, environment as well as the material properties. In this test method, these conditions are standardized to provide a means of determining the relative wear rates of different metal couples. The value of the test method lies in predicting the relative ranking of various materials where metal-to-metal contact takes place. Since the test method does not attempt to duplicate all the conditions that may be experienced in service (for example, lubricant, load, removal of wear debris, and presence of corrosive environment), there is no assurance that the test will predict the relative wear rate of a given material under conditions differing from those in the test.

6. Apparatus

6.1 *General Description*—Fig. 1 shows a commercially available design of this test equipment. This type of machine will typically consist of a belt-driven spindle, a chuck or collet device for holding the rotating specimen, a lever-arm device to hold the nonrotating specimen and attachments to allow the nonrotating specimen to be forced against the rotating specimen with a controlled load. The commercially available unit has an optional friction force measuring system that allows coefficient of friction to be calculated.^{1,2}

6.2 *Rotating Specimen Holder*—This critical part of the test device consists of a chuck or collet and an accurate bearing system. A three-jaw chuck has been found to be unsatisfactory and its use is not recommended.

6.3 *Motor Drive*—A variable speed motor, capable of maintaining constant speed under load is required. A minimum

¹ Original users of this test method designed and fabricated their own test machines.

² The sole source of supply of a commercially built apparatus known to the committee at this time is Felen, Corp., 2055 Comprehensive Dr., Aurora, IL 60505. If you are aware of other source suppliers, please provide this information to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration as a means of the responsible technical committee, which you may attend.

motor size should be 0.56 kW (¾ hp). The motor should be mounted in such a manner that its vibration does not affect the two cylinders. The drive system between the rotating specimen and the motor should be positive so that there is no slippage. A variable test speed up to 400 r/min (41.9 rad/s) should be obtainable. The test speed should be accurately set, preferably with a digital speed readout.

6.4 *Revolution Counter*—The machine shall be equipped with a revolution counter that will record the number of specimen revolutions as specified in the procedure. It is recommended that the cycle counter have the ability to shut off the machine after a preselected number of revolutions is obtained.

6.5 *Nonrotating Specimen Holder and Lever Arm*—The specimen holder is attached to the lever arm which has a pivot. If the lever is unbalanced, it is necessary to check the loading at the specimens with a direct-force measurement. The commercial design utilizes a calibrated lever that is balanced and the weights produce a test force proportional to the weights applied.

6.6 *Analytical Balance*—The balance used to measure the loss in mass of the test specimen shall have a sensitivity of 0.1 mg.

7. Test Specimens and Their Preparation

7.1 *Materials*—This test may be applied to a variety of metallic materials, such as wrought metals, castings, plasma spray deposits, and powder metals. The only requirement is that specimens having the specified dimensions can be prepared and that they will withstand the stresses imposed during the test without failure or excessive flexure. The materials being tested shall be described by composition, heat treatment, product form, and hardness.

7.2 *Specimen Specifications*—The typical specimen is cylindrical in shape having dimensions 12.7-mm diameter times 102-mm long (0.5-in. diameter times 4.0-in. long) as shown in Fig. 2. Since the runout is critical all specimens shall be ground on centers capable of maintaining cylindricity of the specimen outside diameter within 0.0025 mm (0.0001 in.).

7.3 *Specimen Finish*—Test specimens shall be straight and free from scale. Surface roughness of 1.25 µm (52 µin.) arithmetic average or less is acceptable. Measurements shall be made with the trace parallel to the cylinder axis. State the type of surface or surface preparation in the data sheet.

8. Test Parameters

8.1 Table 1 specifies the applied force, the number of

TABLE 1 Test Parameters

Specified Procedure	Applied Force ^A			Revolutions	Speed, r/min ^B
	Equivalent (Newtons)	Force kgf	(Pounds Equivalent)		
A	71.2	7.26	16	80 000	400
B	71.2	7.26	16	40 000	400
C	71.2	7.26	16	10 000	100

^A Force Tolerance is ±3%.
^B Speed Tolerance is ±2%.

revolutions, and the test speed for the three test procedures.

8.2 *Duration*—The duration of the test will be approximately 200 min for Procedure A, and 100 min for Procedures B and C. The number of revolutions and not the time shall be the controlling parameter.

9. Procedure

9.1 *Cleaning*—Immediately prior to weighing, the specimens must be cleaned and dried. Care must be taken to remove all dirt and foreign matter from the specimen. Materials with open grains (some powder metals) must be dried to remove all traces of the cleaning solvent which may be entrapped in the material. Demagnetize steel specimens having residual magnetism. Record the methods used for cleaning.

9.2 Weigh the specimens to the nearest 0.0001 g.

9.3 The rotating cylinder is inserted in the chucking device. A dial gage is placed perpendicular to the rotating cylinder on the likely location of the wear track. The dial indicator is read continuously as the rotating cylinder goes through one or more complete revolutions. The deviation from the center reading on the dial gage shall be less than 0.0051 mm (0.0002 in.). The final determination of concentricity shall be determined at the speed of the desired test.

9.4 Insert the nonrotating specimen securely in its holder and add the proper mass to develop the prescribed force pressing the nonrotating specimen against the rotating specimen. The force may be measured by means of an accurate spring scale that is hooked around the specimen and pulled back to lift the specimen away from the wheel.

9.5 Set the revolution counter to the prescribed number of revolutions.

9.6 Start the rotation, adjust the speed to within the ± 2 r/min at 100 r/min and ± 8 r/min at 400 r/min.

9.7 When the test has run the desired number of revolutions, lift the stationary specimen away from the rotating specimen.

9.8 Remove the specimens and clean the specimen of wear debris. Note the existence of any lip, displaced metal, retained oxide, discoloration, microcracking, or spotting.

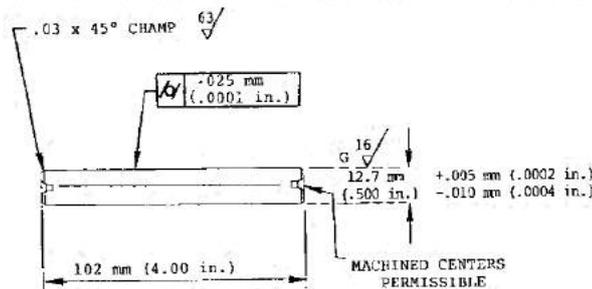


FIG. 2 Typical Test Specimen

9.9 Reweigh the specimens to the nearest 0.0001 g.

10. Report

10.1 The wear test results should be reported as the total volume loss in cubic millimetres for like couples per the specified procedure used in the test. The volume loss for each bar in each position should be reported for dissimilar couples.

10.1.1 For example, _____ mm³ 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. Care should be taken to use the best available density value for the specific materials(s) tested.

10.1.2 The following equation for conversion of mass loss to volume loss shall be used:

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

10.2 If the materials being treated exhibit considerable transfer without loss from the system, volume loss may not adequately reflect the actual amount or severity of wear. In these cases, this test method should not be used.

10.3 If the materials being tested exhibit physical deformation during the test and the displaced metal increases the specimen diameter by more than 0.002 in. (0.051 mm) then this test method should not be used.

11. Precision and Bias

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

11.2 The reproducibility of repeated tests on the same material will depend upon material homogeneity, machine and material interaction, and careful adherence to the specified test procedure by a competent machine operator.

11.3 Normal variations in the procedure will tend to reduce the accuracy of the method as compared to the accuracy of such material property tests as hardness, density, or thermal expansion rate. Properly conducted tests will, however, maintain a within laboratory coefficient of variation of 15 % or less for the volume-loss values. Interlaboratory tests have shown a coefficient of variation of 30 % between laboratories.

11.4 *Initial Machine Operation and Qualification*—The number of tests required to establish the precision of the machine for initial machine operations shall be at least five for each of the Test Procedures A, B, and C. The test samples shall be taken from the same homogeneous material.

11.5 The standard deviation from the mean average shall be calculated from the accumulated test results and reduced to the coefficient of variation. The coefficient of variation shall not

exceed 15 %. If this value is exceeded, the machine operation shall be considered out of control and steps taken to eliminate erratic results.

11.6 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 obvious faulty machine operation.

11.7 While two or more laboratories may develop test data which is within the acceptable coefficient of variation for their own individual test apparatus, the actual data of each laboratory 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 method of Practice E 122, Practice E 177, and STP 15D.⁶

11.8 Table 2 shows volume loss ranges of typical materials

TABLE 2 Typical Volume Loss Ranges

NOTE 1—All Samples Were Self-Mated

	Material		
	M4	1020	304
Condition	hardened, tempered	hot rolled	hot rolled, annealed
Microstructure	alloy carbides and tempered martensite	pearlite and ferrite	austenite
Hardness	64 HRC	69 HRB	78 HRB
Volume Loss:			
Procedure A, mm ³	1.00 ± 0.30
Procedure B, mm ³	0.5 ± 0.15	...	24.5 ± 2
Procedure C, mm ³	...	210 ± 20	9 ± 2

established in interlaboratory testing by the sub-Committee. They may be used as a general indication of the bias of test results.

12. Typical Volume Loss Values

12.1 The crossed-cylinder wear test will produce volume losses in metallic materials. The more wear resistant materials will develop the least volume loss. Table 2 shows typical volume loss ranges which can be expected in the metals listed. They are offered as guidelines only and not as purchasing specifications.

12.2 Any material specifications involving this test method must be agreed upon between the material vendor and the purchaser.

13. Keywords

13.1 crossed-cylinder apparatus; metallic couples; non-abrasive wear; sliding wear; tribology; wear resistance ranking; wear test

⁶ *Manual on Quality Control of Materials, ASTM STP 15D, ASTM, 1951.*

X1. SOME STATISTICAL CONSIDERATIONS FOR CROSSED CYLINDER WEAR TESTING

X1.1 *Background*—This method has been in various stages of evolution and use over the last two or more decades. A number of variations of the test procedure have been used by several research and industrial laboratories in the United States who were faced with the problem of evaluating hardsurfacing alloys, powdered metal tool steels, and wrought products for their resistance to 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, ASTM subcommittee G02.40 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 which must be considered. Not only must the test method, apparatus, and individual operator generate correct results (bias), but the test results must be consistently reproducible (precision) within an acceptable narrow range. Another important consideration in developing accurate and precise test results was the selection of adequate sample size. More specifically, there 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, STP 15D, and in the references.

X1.2 *Statistical Equations*—Several equations for the calculation of optimum sample size, standard deviation, and coefficient of variation are used in the statistical analysis of data. To ensure uniformity among laboratories using this method, the standard deviation and coefficient of variation of results produced from a series of tests shall be calculated by the following:

$$s = \text{standard deviation (small sample size, 2 to 10)} = R d_2 \quad (X1.1)$$

$$s = \text{standard deviation (any sample size)} = [\sum (x - \bar{x})^2 / (n - 1)]^{1/2} \quad (X1.2)$$

$$v = \% \text{ coefficient of variation} \\ v = (s/\bar{x}) 100 \quad (X1.3)$$

$$n = \text{sample size} \\ (95 \% \text{ Confidence level}) = (1.96 v/e)^2 \quad (X1.4)$$

where:

- s = standard deviation from the mean,
- v = variability of the test procedure expressed in %,
- x = value of each test result (volume loss in mm³),

- \bar{x} = mean or arithmetic average for n tests,
- n = number of tests or observations,
- e = allowable sampling error expressed in %,
- R = difference between the highest and lowest test value, and
- d_2 = deviation factor which varies with sample size (see Table X1.1).

X1.3 *Use of Statistical Methods*—In evaluating the precision and bias of any test procedure, new users must deal with the concepts of mean, average, standard deviation from the mean, variability of test results, range of results, allowable sampling error, and particularly the effect of sample size. While it is obvious that a large number of tests on the same material is desirable and will yield a high confidence level in evaluating test results, many wear-test evaluations are made on a small number of samples. This is due to the fact that in much wear-resistance testing, large numbers of test specimens are just not available. In addition to this, a new user is concerned with evaluating the bias of his first few (two or three) test results during the initial test campaign which certainly should not inspire much confidence because of the small number of tests. However, even with this admittedly small sample size, the user may calculate the variability of results, which may give a general indication of precision of the apparatus and test method. As more data is accumulated from the same homogeneous material and new data is accumulated from different materials, the accumulated variability values may be averaged to provide a better estimate of the precision of the apparatus and procedure.

X1.4 *Small Sample Size (2 to 10)*—In statistical analysis, the estimated standard deviations of large sample sizes (over ten) are derived from the square root of the mean square of deviations from the average. A typical user of this test procedure will more likely start out with less than ten test results. In these cases, the standard deviation (s) is more accurately derived by the range (R) of the sample observation than from the root mean square. For such samples, the standard deviation is obtained by multiplying the range of available observations (the difference between the highest and the lowest

TABLE X1.1 Factors for Estimating Standard Deviation from the Range on the Basis of Sample Size

Sample Size (n)	d_2	$1/d_2$
2	1.128	0.8885
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4298
6	2.534	0.3946
7	2.704	0.3698
8	2.847	0.3512
9	2.970	0.3367
10	3.078	0.3249

numerical value) by a deviation factor (Eq X1.1) that varies with the sample size. Once the standard deviation is obtained, the percent coefficient of variation is attained by dividing the standard deviation by the average test value and multiplying by 100. The deviation factor is obtained from Table X1.1:

X1.5 *Example*—Table X1.2 shows a typical analysis for standard deviation of six tests (Procedure A) made upon hardened tool steel. This data, as well as subsequent data shown in the table, is taken from actual interlaboratory test data obtained in the early stages of the standardization of this test procedure.

TABLE X1.2 Results of Typical Analysis

NOTE 1—Sample Size (2 to 10), M2 Tool Steel—400 r/min, (16 lbs.) is 71.2 N, 80 000 Cycles

Test No.	Fixed Specimen		Moving Specimen, Weight Loss, mg. mils	Total Wear, mg
	Weight Loss, mg	Scar Diameter, 64 ^{ths} in., mm		
1	6.7	8 (3.2)	4.6 (1.6)	11.3
2	6.3	8 (3.2)	4.5 (0.4)	10.8
3	7.2	8.5 (3.4)	6.0 (2.5)	13.2
4	6.9	8 (3.2)	5.0 (4.5)	11.9
5	8.3	8.5 (3.4)	4.3 (3.0)	12.6
6	7.6	8.5 (3.2)	4.6 (3.5)	12.2
	$\bar{x} = 7.17$		$\bar{y} = 4.83$	$\bar{z} = 12.0$
	$R = 8.3 - 6.3 = 2.0$		$R = 6.0 - 4.3 = 1.7$	$R = 13.2 - 10.8 = 2.4$
	$d_2 = 2.534$		$d_2 = 2.534$	$d_2 = 2.534$
	$s = R/d_2 = 2.0/2.534$		$s = R/d_2 = 1.7/2.534$	$s = R/d_2 = 2.4/2.534$
	$s = 0.7893$		$s = 0.6709$	$s = 0.9471$
	$v = s/\bar{x} = 0.7893/7.17$		$v = s/\bar{y} = 0.6709/4.83$	$v = s/\bar{z} = 0.9471/12.0$
	$v = 11.0 \%$		$v = 13.9 \%$	$v = 7.9 \%$

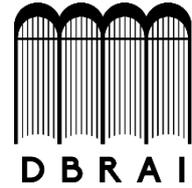
The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9555 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (<http://www.astm.org>).



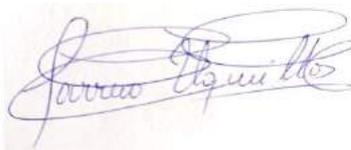
**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

Fecha de entrega: 11 / 08 / 2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Dayana Celeste Andino Vásquez
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Mantenimiento Industrial
Título a optar: Ingeniera de Mantenimiento
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. CPA. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas MBA   <p>11-08-2020 0189-DBRAI-UPT-2020</p>