



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“Comportamiento tribológico del acero AISI 1045 con  
presencia de lubricante SAE 10W-30 y 20W-50”.**

**Cuenca Mocha Horacio Germán  
Flores Toapanta Diego Aníbal**

## **TESIS DE GRADO**

**Previo a la obtención del título de:**

## **INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2014**

**ESPOCH**

---

## **CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2012-06-18

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**DIEGO ANÍBAL FLORES TOAPANTA**

---

Titulada:

**“COMPORTAMIENTO TRIBOLÓGICO DEL ACERO AISI 1045 CON LA  
PRESENCIA DE LUBRICANTE SAE 10 W- 30 Y 20 W- 50”.**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

Ing. Marco Santillán Gallegos

---

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación

---

Ing. José Antonio Granizo  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Aníbal Viñán Barragán  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** DIEGO ANÍBAL FLORES TOAPANTA

**TÍTULO DE LA TESIS:** “COMPORTAMIENTO TRIBOLÓGICO DEL ACERO AISI 1045 CON LA PRESENCIA DE LUBRICANTE SAE 10 W- 30 Y 20 W -50”.

**Fecha de Exanimación:**2014-22-04

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Manuel González Puente PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. José Antonio Granizo DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Aníbal Viñán Barragán ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Manuel González Puente  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2012-06-18

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**HORACIO GERMÁN CUENCA MOCHA**

---

Titulada:

**“COMPORTAMIENTO TRIBOLÓGICO DEL ACERO AISI 1045 CON LA  
PRESENCIA DE LUBRICANTE SAE 10 W- 30 Y 20 W- 50”.**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

Ing. Marco Santillán Gallegos

---

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación

---

Ing. José Antonio Granizo  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Aníbal Viñán Barragán  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** HORACIO GERMÁN CUENCA MOCHA  
**TÍTULO DE LA TESIS:** “COMPORTAMIENTO TRIBOLÓGICO DEL ACERO AISI 1045 CON LA PRESENCIA DE LUBRICANTE SAE 10 W- 30 Y 20 W -50”.

Fecha de Exanimación: 2014-22-04

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Manuel González Puente PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. José Antonio Granizo DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Aníbal Viñán Barragán ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Manuel González Puente  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos- científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Horacio Germán Cuenca Mocha

---

Diego Aníbal Flores Toapanta

## **DEDICATORIA**

Este plan de tesis va dedicado con mucho cariño para mis padres por haberme dado la oportunidad de estudiar y haberme brindado el apoyo incondicional.

A mi esposa por estar siempre en los buenos y malos momentos siendo una maravillosa persona, a mis hijas que son la inspiración de todos los días para demostrar que las metas se cumplen cuando uno se dedica y se llega a alcanzar cuando uno se propone.

Y a toda mi familia por el apoyo incondicional por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado seguir adelante cada día más.

**Horacio Cuenca Mocha**

La presente tesis está dedicada con mucho cariño para mi madre por haberme dado la oportunidad de estudiar y haberme brindado su apoyo incondicional.

A mi novio por estar siempre a mi lado en los buenos y malos momentos brindándome siempre su apoyo, confianza y amor siendo una maravillosa persona, a mi madre y abuelita por hacer de mí una mejor persona a través de sus consejos, enseñanzas y amor. A mi hermana por estar siempre presente, cuidándome y brindándome aliento.

Y a mis tíos por el apoyo incondicional ya que gracias a sus consejos y palabras de aliento crecí como persona, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida.

**Diego Flores Toapanta**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más sincero agradecimiento, primeramente y antes que nada a Dios por ser el portador de bendiciones en cada momento de vida y cada paso en el camino, es aquel quien ha iluminado la meta y al fortalecer el corazón y de esta manera me ha permitido culminar con la meta propuesta y realizar el sueño más preciado.

De manera muy especial el agradecimiento a mis padres, hermanos y tíos por todos sus apoyos incondicionales en todo momento y por toda aquella motivación dada durante mi trayectoria académica, creyendo siempre en mis destrezas y capacidades.

A toda mi Familia, Amigos y Docentes que con sus saberes día a día me llenaron de conocimientos e inculcaron el deseo de superación, de manera muy especial para el Dr. José Granizo por su tiempo y dedicación para guiarme en la elaboración de esta tesis.

**Horacio Cuenca Mocha**

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida, y de esta manera me ha permitido culminar con la meta propuesta y realizar el sueño más preciado.

De manera muy especial el agradecimiento a mi madre, abuelita, hermana, novia y tíos por todos sus apoyos incondicionales en todo momento y por toda la motivación dada durante mi trayectoria académica, creyendo siempre en mis destrezas y capacidades.

A toda mi Familia, Amigos y Docentes que con sus saberes día a día me llenaron de conocimientos e inculcaron el deseo de superación, de manera muy especial para el Dr. José Granizo por su tiempo y dedicación para guiarme en la elaboración de esta tesis.

**Diego Flores Toapanta**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.3.3 Hipótesis.....	3
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Análisis del comportamiento tribológico en función del estado actual del arte....	4
2.2 Estudio las normas de ensayo tribológico.....	9
2.2.1 <i>Norma ASTM (American Society for Testing and Materials)</i> .....	9
2.2.2 <i>Norma ISO (Organización Internacional de Normalización)</i> .....	10
2.2.3 <i>Norma GOST Gosudarstvenny Obshchesoyuzny Standart (La Agencia Federal sobre la Técnica Puesta a Punto y la Metrología)</i> .....	10
2.2.4 <i>Norma JIS (Normas Industriales Japonesas)</i> .....	10
2.3 Tipos de máquinas de ensayo .....	11
2.3.1 <i>Máquina de ensayo de cilindros cruzados</i> .....	11
2.3.2 <i>Máquina de ensayo perno sobre disco</i> .....	12
2.3.3 <i>Máquina de ensayo eje zapata</i> .....	14
2.3.4 <i>Máquina de ensayo de arena y disco plástico</i> .....	14
2.4 Parámetros de las máquinas de ensayo.....	15
2.4.1 <i>Máquina de cilindros cruzados</i>	15
2.4.1.1 <i>Parámetros de la norma ASTM G 83 -96</i> .....	16
2.4.1.2 Requerimientos establecidos por la Norma ASTM G 83-96.....	18
<b>3. SELECCIÓN DE LAS PARTES CONSTITUTIVAS DE LA MÁQUINA</b>	
3.1 Selección del motor. ....	19
3.2 Acoplamiento eje motor probeta.....	20
3.3 Variador de frecuencia.....	23
3.3.1 <i>Características y método de funcionamiento del variador de frecuencia</i> .....	23
3.3.1.1 <i>Indicadores del teclado numérico</i> .....	24
3.3.2 <i>Método de funcionamiento</i> .....	25
3.3.3 <i>Configuraciones de los parámetros</i> .....	27
3.3.4 <i>Información de código de fallas</i> .....	27
3.3.4.1 <i>Problemas comunes y soluciones</i> .....	28
3.3.5 <i>Reset</i> .....	28
3.4 Transformador de voltaje.....	28
<b>4. MÁQUINA DE FRICCIÓN</b>	
4.1 Ensamblaje de la máquina de fricción.....	30

4.1.1	<i>Partes que constituyen el tribómetro de cilindros cruzados.....</i>	31
4.1.2	<i>Proceso de ensamblaje.....</i>	33
4.1.3	<i>Esquema unifilar del tribómetro.....</i>	35
4.2	<i>Elaboración de probetas de ensayo.....</i>	36
4.3	<i>Procedimientos de ensayo.....</i>	39
4.3.1	<i>Medición de las probetas.....</i>	39
4.3.2	<i>Preparación del tribómetro de cilindros cruzados.....</i>	39
4.3.3	<i>Preparación de las probetas de ensayo.....</i>	39
4.3.4	<i>Colocación de la probeta fija y móvil en el tribómetro.....</i>	39
4.3.5	<i>Preparación del recipiente lubricador.....</i>	39
4.3.6	<i>Colocación de la bomba JAD.....</i>	40
4.3.7	<i>Preparación del variador de frecuencia.....</i>	40
4.3.8	<i>Protecciones del equipo.....</i>	40
4.3.9	<i>Funcionamiento del equipo.....</i>	40
4.1	<i>Ensayos metalográficos.....</i>	40
4.4.1	<i>Características del acero AISI-SAE 1045 (UNS G10450).....</i>	40
4.4.1.1	<i>Descripción.....</i>	40
4.4.1.2	<i>Normas involucradas ASTM A108.....</i>	43
4.4.1.3	<i>Propiedades mecánicas.....</i>	43
4.4.1.4	<i>Propiedades físicas.....</i>	43
4.4.1.5	<i>Propiedades químicas.....</i>	43
4.4.1.6	<i>Usos.....</i>	43
4.4.1.7	<i>Tratamientos térmicos.....</i>	44
<b>5.</b>	<b>ENSAYOS TRIBOLÓGICO</b>	
5.1	<i>Valores obtenidos en los ensayos.....</i>	45
5.2	<i>Comportamiento tribológico del material e influencia de cada uno de los materiales.....</i>	47
5.3	<i>Determinación de la intensidad gravimétrica del desgaste.....</i>	48
5.4	<i>Interpretación del mecanismo de desgates.....</i>	51
5.5	<i>Mantenimiento del tribómetro de cilindros cruzados.....</i>	55
5.5.1	<i>Parámetros del mantenimiento preventivo planificado.....</i>	55
5.5.1.1	<i>Aspectos selectivos.....</i>	55
5.5.1.2	<i>Parámetros directivos.....</i>	56
5.5.2	<i>Política de mantenimiento acorde con la categoría del equipo o máquina.....</i>	58
5.5.3	<i>Estado técnico o condiciones actuales de la maquinaria o equipos.....</i>	59
5.5.4	<i>Capacidad de carga con la cual son sometidos a trabajar los equipos.....</i>	59
5.5.5	<i>Decisiones acerca de la futura eliminación de los equipos.....</i>	60
5.5.6	<i>Decisiones acerca del armado de nuevos equipos.....</i>	60
5.5.7	<i>Decisiones acerca de la reconstrucción de los equipos existentes.....</i>	60
5.5.8	<i>Demanda futura de utilización de los equipos.....</i>	60
5.5.9	<i>Importancia de la maquinaria o equipos dentro del proceso productivo.....</i>	61
5.5.10	<i>Banco de tareas a realizarse en los equipos.....</i>	61
5.5.11	<i>Tiempo que se invertirá en la solución de reparaciones imprevistas.....</i>	61
5.5.12	<i>Parámetros del mantenimiento preventivo planificado.....</i>	61

5.5.13	<i>Banco de tareas del equipo tribómetro de cilindros cruzados</i> .....	69
5.6	Costos del proyecto.....	70
5.7	Financiamiento.....	71
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
6.1	Conclusiones.....	72
6.2	Recomendaciones.....	73

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1	Organigrama de tipos de máquinas de ensayo..... 12
2	Esquema de ensayo cilindros cruzados..... 12
3	Esquema de ensayo Pin-on-disk..... 13
4	Esquema de ensayo Block-on-disk..... 14
5	Esquema de ensayo arena y disco plástico..... 15
6	Motor Weg de 1Hp..... 20
7	Acoplamiento flexible L-075..... 22
8	VFD trifásico..... 23
9	Relación velocidad – frecuencia..... 24
10	Teclado numérico..... 25
11	Transformador elevador de voltaje..... 29
12	Partes del tribómetro de cilindros cruzados..... 31
13	Vista general del tribómetro..... 32
14	Proceso de montaje del tribómetro..... 33
15	Ensamblado final del tribómetro..... 35
16	Esquema eléctrico del tribómetro..... 35
17	Dimensiones de la probeta..... 36
18	Aceros existentes en el mercado..... 37
19	Probeta Maquinando de los centros..... 37
20	Desbaste de la probeta..... 38
21	Desbaste de ángulos permitidos..... 38
22	Acabado de la probeta..... 38
23	Ensayos metalográficos..... 41
24	Probetas a ensayar..... 46
25	Balanza..... 46
26	Intensidad gravimétrica..... 52
27	Dinámica de desgaste..... 53
28	Desgaste..... 54
29	Intensidad gravimétrica de desgaste en fricción seca..... 54

## LISTA DE TABLAS

		<b>Pág.</b>
1	Placa de características del motor Weg.....	20
2	Acoplamiento flexible L-075.....	22
3	Método de funcionamiento VFD.....	27
4	Tratamientos térmicos del acero AISI 1045.....	44
5	Parámetros de la prueba .....	45
6	Protocolo de ensayo.....	46
7	Resultado de ensayos.....	50
8	Ficha de datos técnicos y características del motor principal.....	62
9	Estado técnico del motor principal.....	62
10	Categorización del motor principal.....	63
11	Ficha de datos técnicos y características del VFD.....	64
12	Estado técnico del VFD.....	65
13	Categorización del VFD.....	65
14	Ficha de datos técnicos y características del transformador.....	67
15	Estado técnico del transformador.....	67
16	Categorización del transformador.....	68
17	Banco de tareas.....	69
18	Costos.....	70

## LISTA DE FÓRMULAS

		<b>Pág.</b>
1	Par nominal (Hp).....	21
2	Rendimiento.....	22
3	Radio del área de contacto.....	48
4	Sumatoria de los módulos de los de elasticidad de los materiales en contacto.....	48
5	Radio.....	48
6	Cálculo del área nominal.....	50
7	Intensidad gravimétrica de desgaste.....	50

## LISTA DE ABBREVIACIONES

SAE	Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotores).
AISI	American Iron and Steel Institute (Instituto americano del hierro y el acero)
AISI 1045	Es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarias en condición de suministro. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para
API	Instituto Americano del Petróleo.
SAE10W-30	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 10W, indica la viscosidad del aceite cuando esta frio. La letra W sirve para especificar la viscosidad a baja temperatura.</li><li>2. 30, indica la viscosidad cuando el aceite está caliente.</li><li>3. En tener dos grados el 10W y el 30 determina que el aceite es multigrado. 2 grados o múltiples grados de viscosidad.</li></ol>
SAE 20W50	El aceite multigrado se indica SAE 20W-50, indica que cuando el aceite esta frio= Winter = W el aceite tiene grado 20, conforme la temperatura sube va aumentando su viscosidad hasta quedar en 50.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
ISO	Organización Internacional de Normalización.
GOST	Gosudarstvenny Obshchesoyuzny Standart (Norma Estatal de la Federación Rusa)
JIS	Normas Industriales Japonesas.
ASTM G 83-96	Standard test method for wear testing with a crossed-cylinder apparatus.
C	Par nominal a transmitir.
VFD	Variador de frecuencia de CA.
JAD	Bomba electro sumergible.
ASTM A108	Standard Specification for Steel Bar, Carbon and Alloy, Cold-Finished (Especificación estándar para barras de acero, al carbono y aleados,

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Pesos de probetas
- B** Parámetros de usuario grupo 0-1-2 (configuración)
- C** Problemas comunes y soluciones
- D** Vista lateral y superior del contrapunto
- E** Vista frontal del contrapunto y sólido de la base de la probeta fija
- F** Vistas lateral, vista frontal y superior de la base de la probeta fija
- G** Vistas lateral y vista superior de la base de la probeta móvil
- H** Vista frontal de la base de la probeta móvil

## RESUMEN

El estudio del comportamiento tribológico del acero AISI 1045 sometido a desgaste adhesivo, con presencia de los lubricantes sintéticos SAE 10 W- 30y SAE 20 W 50, en un tribómetro de cilindros cruzados, bajo la norma técnica ASTM G 83 – 96, tiene como objetivo comprobar el desgaste del acero al aplicarle una carga y velocidad constantes, hecho que facilita a los industriales seleccionar un mejor plan de mantenimiento acorde a sus requerimientos.

La investigación inicia con la determinación del diseño y las partes de la máquina tribológica, que nos permitió construirla en base a la norma técnica ASTM G 83 – 96. Uno de sus componentes principales es el variador de frecuencia que fue alimentado con datos de velocidad y recorrido para poder manipular las pruebas; así mismo, fue necesario construir las probetas en las dimensiones que la norma lo indica. Antes de iniciar los ensayos se comprobó el estado correcto de funcionamiento para poder aplicar las pruebas de fricción y desgaste realizadas a una velocidad de 400 rpm, y carga constante de 71.2 N, con tiempos de 50, 100 y 200 minutos como establece la norma para este tipo de material.

Graficados los datos provenientes de las pruebas obtenemos curvas comparativas de desgaste para los dos tipos de lubricantes y cálculos de la Intensidad evaluados bajo el principio gravimétrico, espectros que nos permiten observar pérdidas de masa y de intensidad.

La pérdida de masa fue de 0,0368 mgr con el SAE 10W30; y, 0,0357 mgr con el SAE 20 W 50, este último presenta mejores propiedades tribotécnicas y mejor control del desgaste.

El estudio construyó una máquina tribológica que facilita la realización de pruebas, a un precio menor del mercado, tecnología que puede ser utilizada por la comunidad, y amplía posibilidades de mejoramiento con adaptaciones electrónicas y neumáticas.

## **ABSTRACT**

The study of the tribologic behavior of the steel AISI 1045 submitted to adhesive wear with presence of, synthetic lubricants SAE 10 W- 30 and SAE 20 W- 50 in a tribometer of crossed cylinders under the synthetic standard ASTM G 83 – 96 intends to check the wear of the steel applying a constant load and speed, fact that makes it easy to the manufactures to select a better maintenance schedule according to their requirements.

The investigation starts with the determination of designing parts of the tribologic machine to construct it based upon the technical regulation ASTM G 83 – 96. One of the main components was the fed inverter speed and route data in order to manipulate evidences; as well as, it was necessary to construct the test pieces in the dimensions indicating by the standard. Before starting the tests, the correct operating status was checked to apply the friction and wear tests performed at speed of 400 rpm and constant load of 71.2 N, with times of 50, 100 and 200 minutes set by the standard for this type of material.

Plotted the data from the comparative tests, wear curves for the two types of lubricants and the intensity calculations evaluated under gravimetric principle spectra for observing lost of mass and intensity, were obtained.

The lost of the mass was 0.0368 mgr with SAE 10 W 30; and 0.0357 mgr with SAE 20 W 50, the latter presented better tribotecnic properties and wear control.

The study built a tribologic machine to facilitate the accomplishment of tests at lower prices in the market, such a technology which can be used in the community and expand possibilities improved with electronic and pneumatic adaptations.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

El acero AISI SAE 1045 de acuerdo a especificaciones técnicas, se recomienda para elaborar piezas tales como: Tornillería grado 5 / 5.1 / 5.2, cable bananero, manivelas, chavetas, bulones, bielas, piezas de armas, acoples, ejes para motores, espárragos, pernos, pernos en U o grapas, pernos de anclaje, tuercas, bujes, piezas forjadas para la industria automotriz, máquinas y herramientas agrícolas, resortes no críticos, cabezas de cilindros, etc.

Muchos de estos elementos de máquinas forman pares tribológicos que trabajan con presencia de lubricantes sintéticos o minerales.

En el presente trabajo se realiza un estudio sobre el comportamiento del acero AISI 1045 con presencia de lubricantes como SAE 10 W- 30y 20 W 50, lubricantes sintéticos que al variar su grado de viscosidad, la intensidad del desgaste deberá variar.

De la revisión linkográfica y bibliográfica no se ha encontrado investigaciones realizadas sobre la morfología de las superficies desgastadas que hayan sido ensayadas en condiciones de desgaste con presencia de los lubricantes antes indicados.

Las pruebas de desgaste se realizaron en la máquina ensamblada por los autores bajo la norma ASTM G83-96 la misma que permite variar en amplio diapasón de velocidades utilizando un variador de frecuencia.

En este trabajo se observa la influencia del lubricante sobre la membrana de la probeta sujeta a experimentación de desgaste, se han consultado fuentes bibliográficas tales como: Ensayos y pruebas, Manual de normas UNE, Bhushan, Blau, ASM Handbook, Bowden, Timoshenko, Zaretsky, entre otros.

## **1.1 Antecedentes**

La tribología es la ciencia y tecnología de los fenómenos que tienen lugar en la interface de contacto entre dos sólidos, teniendo por objeto el estudio de los materiales en condiciones de fricción seca, fricción con presencia de lubricante, y representa una ciencia multidisciplinaria.

El estudio del desgaste y la fricción, constituyen uno de los últimos aspectos de la mecánica clásica que presenta interrogantes que no se han solucionado, bajo la óptica de la ingeniería, su importancia está en aumento en función de las cargas impuestas a los componentes mecánicos y la disminución constante de las tolerancias permitidas en los procesos de fabricación que generan grandes desafíos para la tribología.

En el presente trabajo se evalúa el comportamiento tribológico del acero AISI 1045 sometido a desgaste en condiciones de fricción por rodadura con presencia de los lubricantes sintéticos SAE 10 W-30 y SAE 20 W-50, para tal fin se construyó un tribómetro de configuración de cilindros cruzados.

## **1.2 Justificación**

El comportamiento tribológico del acero AISI 1045 en condiciones de fricción por rodadura con presencia de los lubricantes sintéticos SAE 10 W-30 y SAE 20 W-50 representa un tema de gran importancia, este material al ser utilizado para la construcción de elementos de máquinas tales como ejes, árboles y otros elementos de máquinas, se requiere conocer su intensidad de desgaste con la utilización de lubricantes sintéticos, para cumplir con este objetivo se ha ensamblado una máquina de fricción y desgaste.

## **1.3 Objetivos**

**1.3.1** *Objetivo general:* Analizar el comportamiento tribológico del acero AISI 1045 con presencia de los lubricantes SAE 10 W-30 y 20 W-50.

### **1.3.2***Objetivos específicos:*

Estudiar las normas de ensayo tribológico en condiciones de fricción por deslizamiento y rodadura.

Investigar los principales tipos de tribómetros.

Seleccionar los parámetros de ensayo.

Ensamblar la máquina de fricción.

Realizar los ensayos de fricción del acero AISI 1045 con presencia del lubricante SAE 10 W - 30.

Realizar los ensayos de fricción del acero AISI 1045 con presencia del lubricante SAE 20 W - 50.

Determinar la intensidad de desgaste en las probetas del acero AISI 1045 con presencia de los lubricantes SAE 10 W – 30, SAE20 W – 50y en condición seca sin presencia de lubricante.

Implementar un manual de mantenimiento y operación del tribómetro de cilindros cruzados.

### **1.3.3***Hipótesis*

El lubricante SAE 20 W – 50es más eficaz que el lubricante SAE 10 W – 30para el control del desgaste adhesivo en el acero AISI 1045, en los ensayos de fricción con una máquina tribológica de configuración de cilindros cruzados.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Análisis del comportamiento tribológico en función del estado actual del arte

En la actualidad el estudio de la tribología representa un tema de gran importancia, ya que gracias a este se puede evaluar la fricción, el desgaste y la lubricación que son factores importantes para la industria en el ámbito mundial, debido a que la tribología sirve para el diseño, mantenimiento de equipos y toda clase de elementos que están relacionados con la calidad, confiabilidad y seguridad de los operarios y que repercuten en los grandes problemas económicos de un país.

Para el análisis del comportamiento tribológico se realizan diferentes ensayos con una gama extensa de máquinas de laboratorio que simulan situaciones particulares como las de contacto deslizante en materiales, de los cuales basados en normas que estandarizan dichos ensayos, como la ASTM (American Society for Testing Materials), esto con el fin de tener homogeneidad en todas las pruebas, las condiciones ambientales controladas, para que estas mediciones puedan ser confiables y reproducibles.

A continuación se citan algunos trabajos de investigación realizados para el estudio del comportamiento tribológico:

*Estudio del fenómeno de desgaste adhesivo mediante la proposición de una máquina tribológica de configuración perno sobre disco.*

Se presenta una introducción, en el aspecto teórico de la fricción y el desgaste, en donde se abordan las características de las superficies, rugosidad de los sólidos, perfilómetro,

parámetros tradicionales de las asperezas, análisis estadístico del perfil de la superficie, la distribución de la altura en la textura superficial, contacto de sólidos, concepto de fricción, leyes de fricción, fricción adhesiva, fricción por deformación, concepto de desgaste, tipos de desgaste, desgaste adhesivo, desgaste adhesivo suave, desgaste severo y escofinado, leyes de Archard del desgaste adhesivo, medición del desgaste y mapas de desgaste.

Uno de los temas de este trabajo, está dirigido a la aplicación de los diferentes tipos de máquinas existentes en el mercado.

Las características de operación, relacionadas con la velocidad, carga de aplicación, controles y los sensores, son expuestos para la máquina perno sobre disco. Se presentan los métodos para la medición, en los que se utiliza las técnicas que calculan la pérdida por masa, volumen, longitud, y el daño causado por el desgaste adhesivo.

Finalmente, la propuesta de la máquina tribológica es abordada, donde se calculan diversos elementos que interactúan de manera importante en el funcionamiento del equipo, siendo estos: el brazo que soporta la porta perno, la columna, el balero y capacidad del motor, entre otros.(HERNÁNDEZ, 2011).

*Evaluación de la resistencia al desgaste adhesivo del acero austenítico al manganeso sometido a ciclos térmicos.*

Este artículo presenta el resultado de una investigación acerca del efecto de ciclos térmicos de temple y revenido sobre la resistencia al desgaste adhesivo del acero austenítico al manganeso.

El material se caracterizó química y metalográficamente. Posteriormente, el material fue sometido a la prueba de cilindros cruzados según norma ASTM G-83, con el fin de determinar su comportamiento al desgaste adhesivo. Los resultados indican que la probeta revenida a 200°C tiene un mayor periodo de endurecimiento por deformación

que las revenidas a 400 y 800°C, lo cual la hace más resistente al desgaste, mejorando así las características de la muestra en estado de suministro.(HIGUERA, y otros, 2010).

*Diseño y construcción de un tribómetro de cilindros cruzados para la evaluación del desgaste adhesivo.*

El desgaste de los metales representa un gran problema para toda empresa ya que puede ir desde el daño de una máquina hasta detener el proceso de su producción, lo cual genera grandes pérdidas y debido a este fenómeno se han optado por estudiar nuevas alternativas para evitar este tipo de problemas, debido a esto en el presente trabajo se hace un estudio detallado para poder diseñar y estudiar el comportamiento de los metales cuando se encuentran sometidos a un desgaste, provocado por algún tipo de carga, para predecir su comportamiento en determinadas condiciones de trabajo. (GARCÍA, y otros, 2003).

*Efecto del precalentamiento y la severidad de temple sobre la resistencia al desgaste adhesivo del acero austenítico al manganeso.*

En este trabajo de investigación se estudió el efecto del precalentamiento y la severidad de temple sobre la resistencia al desgaste adhesivo del acero austenítico al manganeso ASTM a 128°C. El material se sometió a ciclos térmicos de temple y revenido con y sin precalentamiento con el fin de evaluar su influencia sobre la resistencia al desgaste. Posteriormente el material fue sometido a prueba según norma ASTM G83 y se determine que el acero Austenítico al manganeso, es un material que presenta una microestructura meta estable en condiciones estables y no debe ser sometido a tratamiento térmico de revenido a altas temperaturas debido que favorece la descomposición de esta a ferrita (fase blanda de los acero) y por ende disminuye su resistencia al desgaste.(HIGUERA, y otros, 2009).

*Prototipo de tribómetro anillo sobre bloque para obtención de curvas de fricción.*

Este documento incluye el proceso de diseño que se debe seguir para llevar a cabo la construcción de un tribómetro que permita realizar pruebas de desgaste mediante una configuración de contacto mecánico del tipo anillo sobre bloque, buscando obtener los mejores resultados haciendo uso de todos los recursos disponibles. (Estudio del fenómeno de desgaste adhesivo. (BARRAL, y otros, 2014).

*Diseño y construcción de un tribómetro de cilindros cruzados, bajo la norma técnica ASTM G83 – 96.*

El conocimiento de las características mecánicas de los materiales que se utilizan en la construcción de máquinas que suplan los requerimientos tanto de las personas como de la industria es un factor importante en el diseño y mejoramiento de las mismas.

El desgaste de los materiales ha sido un fenómeno que siempre se ha evidenciado buscando combatirlo y prevenirlo. Durante el desarrollo de esta investigación se diseñó construyó y puso en funcionamiento una máquina de cilindros cruzados bajo norma técnica ASTM G83, con el fin de evaluar el desgaste adhesivo de diferentes materiales. (BAUTISTA, 2005).

*Construcción de una máquina para ensayo en desgaste abrasivo; según norma técnica ASTM G-65.*

Se diseñó, construyó y puso en funcionamiento una máquina tribológica de desgaste abrasivo, según norma técnica ASTM G65, se realizaron ensayos, demostrando la confiabilidad de la máquina bajo esta norma.

La máquina permitirá realizar ensayos confiables de desgaste, siendo otra herramientas para evaluar las características de los materiales y así mejorar el conocimiento de la tribología, además se podrá analizar el comportamiento de diferentes materiales y de esta manera predecir el ciclo de vida de piezas de maquinaria que están sometidas a este

tipo de desgaste, para saber cuándo cambiar una pieza y ahorrar dinero y tiempo a las industrias. (MARULANDA, y otros, 2009).

*Evaluación del desgaste adhesivo del acero AISI –SAE 1020.*

En el momento en que se da inicio a la construcción de los primeros mecanismos se presenta el desgaste de los materiales que los conforman; la tribología, que no es más que la evaluación del desgaste de los materiales, cobra importancia tanto a nivel industrial como académico. En esta investigación se evaluó el comportamiento del acero AISI –SAE 1020 al ser sometido a desgaste adhesivo en un tribómetro de cilindros cruzados, el ensayo se realizó bajo norma ASTM G83 – 96. (TRISTACHO, y otros, 2007).

*Construcción y puesta en funcionamiento de una máquina de cilindros cruzados para la evaluación del desgaste adhesivo.*

En esta investigación se evaluó el desgaste adhesivo de cuatro metales (fundición gris, latón 60-40, bronce fosforado y un acero AISI 1020), en un tribómetro de cilindros cruzados, bajo la norma ASTM G-83-96. Para lograr dicho objetivo, se diseñó, construyó y puso en marcha una máquina de cilindros cruzados, la cual contiene dos probetas cilíndricas (una estática y una giratoria), que fueron maquinadas y pulidas con lijas hasta obtener una superficie con una rugosidad máxima de 0.34 mm.

Con el volumen de metal perdido por cada material, se calculó su velocidad promedio de corrosión y se determinó el coeficiente de desgaste. Además, se realizaron ensayos a cada material, para determinar los perfiles de desgaste respectivos (Gramos de metal perdido vs Tiempo). En este trabajo se obtuvo un coeficiente de variación máximo, entre los cuatro metales, de 4.3%, indicando una buena correlación de los resultados obtenidos.

Los coeficientes de desgaste se consideraron aceptables, puesto que sus valores corresponden y son del mismo orden a los establecidos en la literatura. Igualmente, los

perfiles del desgaste mostraron las tres etapas del proceso, similares a los encontrados en otros trabajos realizados. (BAUTISTA, 2005).

## **2.2 Estudio de las normas de ensayo tribológico**

### **2.2.1 Norma ASTM (American Society for Testing and Materials), creada en 1898.**

Es la mayor organización científica y técnica para el establecimiento y la difusión de normas relativas a las características y prestaciones de materiales, productos, sistemas y servicios.

Los estándares A.S.T.M. cubren una amplia gama de ensayos: desde la metalurgia, los materiales de construcción, los lubricantes y productos petrolíferos en general. En particular, la A.S.T.M. ha contribuido, junto con la S.A.E. (*Society of Automotive Engineers*) (Sociedad de Ingenieros de Automoción) y el A.P.I. (*American Petroleum Institute*) basada en las prestaciones y los servicios a que se destinan; la función desarrollada por la asociación ha consistido en establecer métodos de ensayo y sus límites de aceptación.

Las normas que establecen los procedimientos para realizar ensayos de fricción y desgaste son:

- G77-98 Norma método por alinear resistencia de materiales a uso corredizo que usa la prueba de bloque-en-anillo.
- G83-96 Norma para la comprobación de uso con la máquina de cilindro-cruzado.
- G98-91(1996) Norma para la resistencia irritante de materiales.
- G99-95ae1 Norma para la comprobación de uso con el aparato del pin-on-disk.

En razón de que en la presente tesis evalúa el desgaste por fricción del material AISI/SAE 1045 bajo el esquema de cilindros cruzados, se ha utilizado la norma ASTM (American Society for Testing and Materials). G83-96 Norma para la comprobación de uso con la máquina de cilindro-cruzado.

**2.2.2 Norma ISO (Organización Internacional de Normalización).** Su función principal es buscar la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas u organizaciones (públicas o privadas) a nivel internacional.

Algunos estándares son los siguientes:

- ISO 9001 — Sistemas de Gestión de la Calidad – Requisitos
- ISO 14000 — Estándares de Gestión Medioambiental en entornos de producción
- ISO 17025 - Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

**2.2.3 Norma GOST Gosudarstvenny Obshchesoyuzny Standart (Norma Estatal de la Federación Rusa)** que designan un sistema de evaluación de sensibilidades empleadas en la Ex Unión Soviética y algunos países del este de Europa.

- GOST 28841-90: para pruebas de fatiga de materiales. Requisitos técnicos generales

**2.2.4 Norma JIS (Normas Industriales Japonesas).** Especifica los estándares utilizados para las actividades industriales en Japón . La estandarización del proceso es coordinada por Japanese Industrial Standards Committee y publicada por la Asociación de Normas japonés.

En las normas "JIS X 0208:1997", la letra X denota división de área, siendo estas áreas las siguientes:

- D - Ingeniería Automotriz

- G - ferrosos Materiales y Metalurgia
- H - no ferrosos materiales y metalurgia

A esta letra le siguen un sistema de cuatro dígitos, luego separado por dos puntos el año de revisión de la norma. (AENOR, 2013; BRUSHAN, 1999).

### **2.3 Tipos de máquinas de ensayo**

Existe una amplia variedad de máquinas tribológicas de diferentes configuraciones geométricas, cuyo propósito es simular y reproducir el desgaste de equipos o máquinas que están realizando un trabajo específico, es necesario identificar los parámetros de funcionamiento.

Durante la prueba, se debe considerar los procedimientos normalizados, donde se indica la preparación de las probetas, procedimiento de toma de lectura, así como el análisis de los resultados.

Los tribómetros son mecanismos que nos permiten determinar la resistencia al desgaste de un material cuando se pone en contacto consigo mismo o con otro material y existe movimiento relativo entre ellos, en un determinado medio. (Ver figura 1)

La posible construcción de estos mecanismos se hace de acuerdo a cada sistema de desgaste a estudiar, entre ellos se tiene:

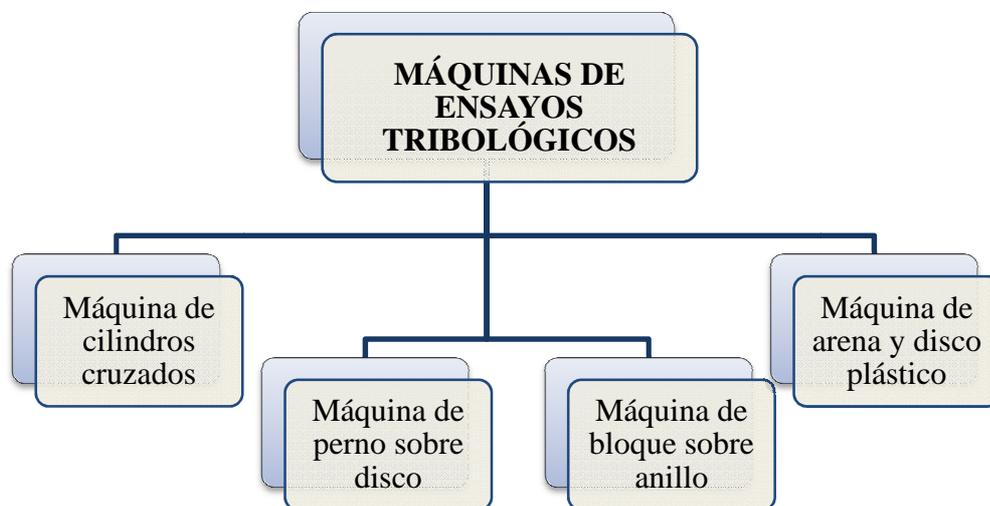
- Máquina de ensayo de cilindros cruzados.
- Máquina de ensayo perno sobre disco.
- Máquina de ensayo eje zapata.
- Máquina de ensayo de arena y disco plástico. (LÓPEZ, 2010)

**2.3.1** *Máquina de ensayo de cilindros cruzados:* El ensayo para medir el desgaste con un aparato de cilindros cruzados según la norma técnica ASTM G 83-96 estandariza el

ensayo que consiste en realizar una prueba de laboratorio para determinar el desgaste por fricción de dos materiales.(Ver figura 2).(BAUTISTA, 2005).

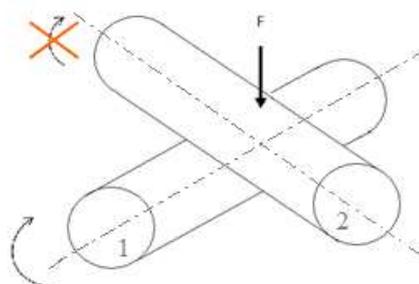
El ensayo puede realizarse para materiales iguales o diferentes, cuando el par tribológico está conformado por el mismo material (materiales iguales) los resultados de la prueba será reportada como el volumen total perdido por el par tribológico, así como el volumen perdido por cada componente del par.

Figura1: Organigrama de tipos de máquinas de ensayo



Fuente: Autores

Figura 2: Esquema de cilindros cruzados



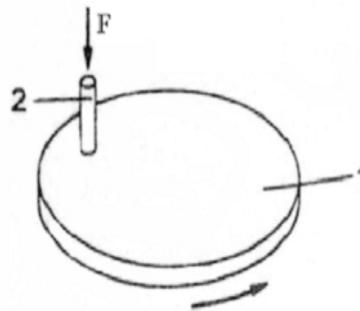
Fuente: Norma Técnica ASTM G 83-96

**2.3.2 Máquina de ensayo perno sobre disco:** Conforme a la norma ASTM G99-05, debido a su principio de funcionamiento, los sistemas *pin-on-disks* han representado una

forma sencilla y económica de evaluar el desgaste en condiciones controladas de laboratorio en cualquier tipo de material, empleado en la manufactura de elementos protésicos.

En este tipo de sistemas, la aproximación a las condiciones reales de funcionamiento de la cadera humana se da a través del análisis correcto de la carga por aplicar en la prueba, así como de la correcta determinación de la superficie de contacto, y la selección adecuada del lubricante.

Figura 3: Esquema de Pin-on-disk



Fuente: GARCÍA, J; GONZALES, E; VILLATORO, R. Diseño y construcción de una máquina para ensayos de desgaste tipo espiga sobre disco. Universidad de El Salvador. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Tesis. 2003.

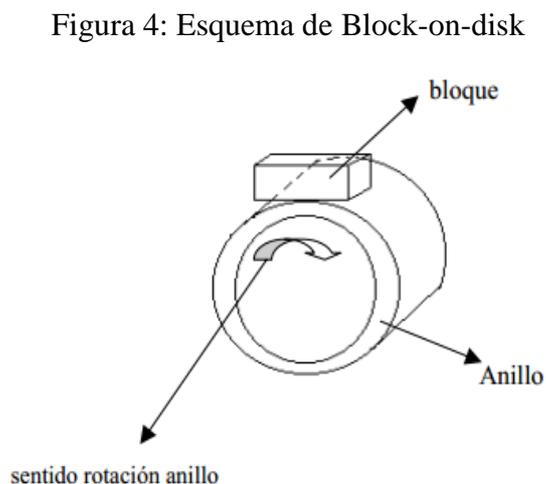
Un factor importante por considerar en el fenómeno de desgaste por deslizamiento es el lubricante utilizado. Entre los más empleados se encuentran el agua destilada y el suero bovino para este método de ensayo.

Este último, debido a su constitución a base de proteínas presenta propiedades de lubricación similares al líquido sinovial lo que permite replicar las condiciones de operación bajo las cuales se encuentra sometida la prótesis una vez colocada dentro del cuerpo humano.

Además, ha demostrado ser un buen lubricante al disminuir considerablemente el número de partículas desprendidas en los ensayos de desgaste, esto debido a las proteínas y globulinas, pero en mayor parte a la albúmina, que es la portadora de lípidos y minerales. Estos elementos incrementan la viscosidad y reducen el esfuerzo al corte,

durante las pruebas se utilizó suero bovino en los ensayos de desgaste.(GARCÍA, y otros, 2003).

**2.3.3 Máquina de ensayo eje zapata:** La metodología experimental utilizada para la realización de este trabajo se encuentra establecida en la norma ASTM G77-98, para ensayos de desgaste utilizando la configuración eje zapata (“Block-on-Ring”), su esquema de ensayo se presenta en la figura 4.(GARCÍA, y otros, 2003).



Fuente: GARCÍA, J; GONZALES, E; VILLATORO, R. Diseño y construcción de una máquina para ensayos de desgaste tipo espiga sobre disco. Universidad de El Salvador. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Tesis. 2003.

**2.3.4 Máquina de ensayo arena y disco plástico:** La máquina bajo la norma ASTM G-65, es uno de los ensayos que se hacen a los materiales para conocer sus propiedades frente al desgaste.

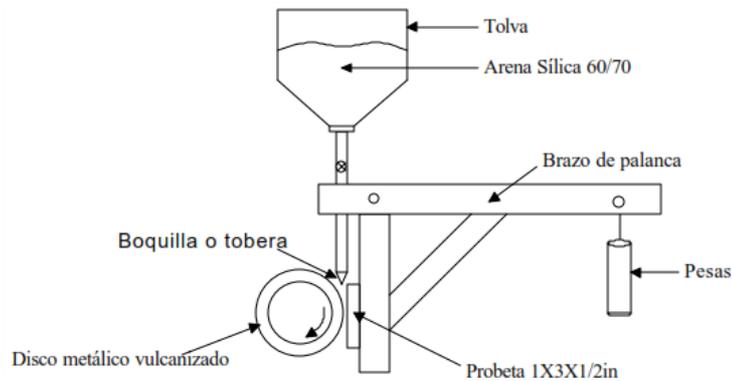
La arena debe cumplir con las especificaciones AFS 50/70 American Foundry Society (Sociedad Americana de Fundidores) uno de los requisitos fundamentales para la realización de la prueba, la arena debe estar completamente seca, la humedad relativa debe ser menor o igual al 0.5%.

El flujo de arena para la prueba debe estar entre 300 a 400 gramos por minuto, esta variable es garantizada por la sección de salida de la boquilla, para lo cual debe examinarse que no se encuentre tapada, o con cualquier defecto que modifique el área

de salida de la arena ya que esto ocasionara medidas erróneas. Antes de comenzar la prueba se debe garantizar una cortina uniforme de arena (flujo laminar).

Para garantizar medidas confiables en la máquina se recomienda seguir las recomendaciones de la norma ASTM G-65 y tener en cuenta variables como las características de la arena, las características de la rueda vulcanizada, las características de la probeta sobre la que se realiza la prueba y la fuerza aplicada.

Figura 5: Esquema de arena y disco plástico



Fuente: Norma Técnica ASTM G-65

Cada uno de estos elementos debe tener ciertas características específicas que se describen en la norma. Esta norma permite determinar la resistencia al desgaste abrasivo de un material en un amplio diapason de velocidades.(MARULANDA, y otros, 2009).

## 2.4 Parámetros de las máquinas de ensayo

**2.4.1 Máquina de cilindros cruzados.** La máquina tribológica de configuración de cilindros cruzados, cuyo procedimiento de operación se basa en la norma ASTM G 83-96, implica someter dos cuerpos cilíndricos de materiales, en este caso las probetas giratoria y estática son de acero AISI/SAE 1045 en estudio a contacto y movimiento relativo, aplicando una carga normalizada sobre éstos, al hallarse en movimiento relativo sufren desgaste, que por su naturaleza se conoce como desgaste adhesivo,

también llamado desgaste deslizante que se asocia con la formación de uniones en la interface de las superficies en contacto, éstas se entrelazan íntimamente y la fuerza de las uniones, depende en gran parte de la naturaleza física y química de las superficies en contacto, mismo que es posible evaluarlo siguiendo el procedimiento de la norma en mención. Los principales parámetros de la máquina de ensayo dependen del grado de simulación y las características de la prueba, entre ellos están:

- Propósito de la misma.
- Características de la máquina.
- Carga aplicada.
- Distancia de desplazamiento.
- Velocidad de deslizamiento.
- Propiedades de los materiales.
- Método de lubricación.
- Ergonomía.
- Medio ambiente.

Se utiliza un variador de velocidad el cual nos permite realizar el ensayo en un amplio rango de velocidad.(ASTM, 1996).

**2.4.1.1** *Parámetros de la norma ASTM G 83 -96*:(GARCÍA, y otros, 2003; ASTM, 1996).Método de prueba estándar para pruebas de desgaste en una máquina de cilindros cruzados, usa la designación de la G83, el número que lo sigue, inmediatamente, indica el año cuando se adoptó originalmente, en caso de revisión.

La prueba especificada por la ASTM G 83-96 consiste en lo siguiente:

**1.** La prueba se realiza con un cilindro giratorio y un cilindro estacionario los cuales deben estar en contacto permanente durante la prueba, sometidos a una carga. Además se encuentran orientados perpendicularmente entre sus longitudinales o sea que forman un ángulo de 90° entre sus ejes axiales.

2. Requisitos indicados por la norma ASTM G 83-96, para el aparato de cilindros cruzados.

a. **Descripción general:** Debe tener un dispositivo que pueda sujetar a la probeta giratoria, un brazo donde se coloque la probeta no giratoria a la cual se aplica, una carga controlada, opcionalmente se puede integrar un medidor de fuerza de fricción.

b. **Agujero sujetador de la probeta giratoria:** Esta es una de las partes críticas del instrumento para realizar la prueba, se debe seleccionar en lo posible un mandril robusto.

c. **Motor principal:** Debe ser un motor de velocidad variable, capaz de mantener constante la velocidad durante la prueba, aplicando la carga requerida en la prueba. Podrá ser un motor con un mínimo de  $\frac{3}{4}$  HP o 0.75 kW. El motor debe estar montado de tal forma que no transmita vibración y afecte a las dos probetas cilíndricas.

d. **Sujeción de probeta no giratoria y nivel del brazo:** La probeta no giratoria debe estar posicionada en el brazo, este cuenta con dos bases en la que se mueve el brazo de arriba hacia abajo y viceversa. Si el nivel no está balanceado, es importante revisar que la carga aplicada sea la carga medida o demandada por la norma. Los diseños comerciales utilizan un calibrador de nivel para balancear el equipo y posteriormente se aplica la carga normada por la prueba, para balancear el peso, de acuerdo a la norma establecida se construyó una pesa para completar el peso requerido.

e. **Balanza analítica:** La balanza analítica usada para medir la pérdida de masa de la probeta debe tener una sensibilidad de 0.1mg.

### 3. Probeta de prueba y su preparación

a. **Materiales:** Las probetas pueden ser de una gran variedad de materiales metálicos, como hierro forjados, hierros fundidos, probetas con recubrimientos depositados por plasma y polvos metálicos. El único requerimiento es que las probetas tengan las dimensiones especificadas y estén preparadas para que puedan resistir los esfuerzos mecánicos como la flexibilidad cuando se sometan a carga.

Los materiales utilizados deben describir su composición, tratamiento térmico, forma de producción y dureza.

**b. Especificaciones de las probetas:** La típica probeta es cilíndrica, y tiene las siguientes dimensiones:

- 12.7 mm de diámetro
- 102 mm de longitud

**c. Acabado de las probetas:** Las probetas, deben estar rectas y dentro de la escala de rugosidad, esta es aceptable si es de 1.25 micrómetros, como promedio aritmético o menor. Las mediciones deben hacerse con respecto a un trazo paralelo de su eje horizontal.

**2.4.1.2 Requerimientos establecidos por la Norma ASTM G 83-96**(GARCÍA, y otros, 2003; ASTM, 1996).Las probetas se encuentran orientadas perpendicularmente entre sus ejes longitudinales o sea presentan un ángulo de 90° entre sus ejes axiales.

1. Debe contar con un sujetador de la probeta giratoria.
2. Debe alojar a las probetas de longitud 102 mm.
3. El diámetro de la probeta es de 12.7 mm.
4. Evitar la excentricidad de la probeta giratoria.
5. Evitar al máximo la vibración entre las dos probetas cuando esté trabajando el sistema.
6. Velocidad requerida para pruebas: 400 r.p.m. +/- 2% de acuerdo a la norma.
7. Recorrido total de la prueba 1= 80000 revoluciones.
8. Recorrido total de la prueba 2= 40000 revoluciones.
9. Recorrido total de la probeta 3=20000 revoluciones.
10. Utilizar cargas de trabajo de 71.2 Nw +/- 3%.
11. Que el motor sea como mínimo de ¾ HP de velocidad variable capaz de mantener la velocidad designada y que no transmita vibraciones a las probetas durante la prueba

## CAPÍTULO III

### 3. SELECCIÓN DE LAS PARTES CONSTITUTIVAS DE LA MÁQUINA

La determinación de las partes que constituyen la máquina de cilindros cruzados de acuerdo a la norma establece un motor de  $\frac{3}{4}$  Hp, en éste caso se reemplazará por un motor de 1Hp utilizando la potencia necesaria para el ensayo correspondiente, se instaló un variador de frecuencia el cual permite realizar los ensayos bajo diferentes revoluciones del motor de acuerdo a la norma establecida para diferentes ensayos, para sujetar las probetas se diseñaron bases, tanto para la probeta fija como para la probeta móvil, se instaló una bomba sumergible para proporcionar el lubricante en la zona de contacto de las probetas.

#### 3.1 Selección del motor

Para la máquina tribológica de configuración de cilindros cruzados se seleccionó un motor trifásico de 1 Hp de tipo Jaula de Ardilla, el mismo que cumple con las necesidades requeridas para los distintos ensayos que se realicen en este equipo.

Puntos que se debe tener en cuenta para seleccionar un motor:

1. Placa de datos
2. Clase de diseño
3. Deslizamiento
4. Tamaño de armazón
5. Elevación de temperatura y clase de aislamiento
6. Factor de servicio
7. Factor de potencia
8. Desempeño y factor de carga

Figura 6: Motor Weg de 1Hp



Fuente: Autores

A continuación se detalla la placa de características del motor que es utilizado para el tribómetro de cilindros cruzados:

Tabla 1: Placa de características del motor

<b>Placa de características del motor Weg</b>	
V= 220/380/460	IP= 55
I= 3.08/1.78/1.54	Ah= 1000
Hz= 60	Mod= TEBFX!
SF= 1.15	Duty= S1
Pf= 0.82	Hp= 1
Rpm= 1730	Amb= 40°C

Fuente: Autores

### 3.2 Acoplamiento eje motor probeta

La potencia nominal a transmitir es la que tiene la máquina impulsora expresada en kW o caballos de potencia, mediante la utilización del variador de frecuencia podemos controlar la velocidad del motor.

Los acoplamientos elastómeros pueden transmitir potencias dentro de un rango de 1 hasta 2000 kW. La velocidad de rotación expresada en rpm, es la que tiene la máquina motriz y debe ser inferior a la velocidad máxima del acoplamiento. En general, los

acoplamientos pueden soportar velocidades de hasta 10000 rpm, valor superior a velocidades de los motores eléctricos.

El par nominal es el factor principal de dimensionamiento de los acoplamientos de los ejes y de las máquinas directamente conectadas a ellos. El par nominal a transmitir está en función de la potencia a transmitir y de la velocidad de rotación:

$$C \text{ (N*m)} = \frac{7160 P(\text{Hp})}{n \text{ (rpm)}} \quad (1)$$

$$C \text{ (Nm)} = \frac{7160 * 1(\text{Hp})}{1730 \text{ (rpm)}}$$

$$C \text{ (Nm)} = 4,1387$$

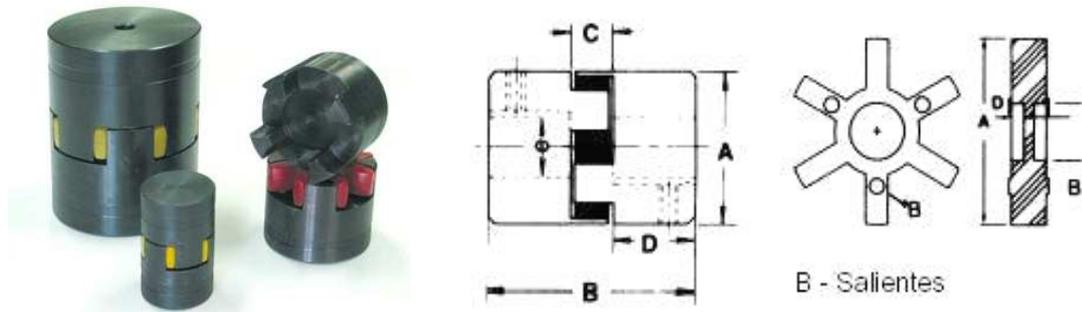
Dónde:

- C: Par nominal a transmitir. (Nm)
- P: Potencia a transmitir. (Hp)
- n: velocidad de rotación. (rpm)
- 7160: constante de cálculo para el par a transmitir en (Hp).

La elección de un acoplamiento con el tamaño correcto es muy importante, por ello es necesario conocer no sólo la potencia y velocidades requeridas, sino también la severidad del servicio que debe absorber, es decir, será necesario aplicar un factor de corrección o de servicio.

Para la transmisión del movimiento rotatorio, se selecciona un acoplamiento L-075 ¼”, con capacidad para transmitir un momento torsor de hasta 2000 kgf/m, que permite trabajar en un rango variable de velocidades hasta las 1730 rpm.

Figura7: Acoplamiento flexible L-075



Fuente: Acoplamientos elásticos INDARBELT S.A

Tabla 2: Acoplamiento flexible tipo L

Acoplamiento tipo "L"									Cubo				
									Acero sinterizado	Fundición	Aluminio	Acero inox.	Bronce
Ref.	A	B	C	D	E	A máx.	y	Peso Kg.					
L.035	15,9	20,6	7,1	6,7	15,9	10		0,05	X	X		X	
L.050	27,4	43,6	11,9	15,9	27,4	15		0,14	X	X	X	X	
L.070	34,5	50,8	12,7	19,1	34,5	19		0,27	X	X	X	X	
L.075	44,5	54,0	12,7	20,6	44,5	24		0,45	X	X	X	X	X
L.090	53,6	54,0	12,7	20,6	53,6	28	65	0,68	X	X	X	X	X
L.095	53,6	63,5	12,7	25,4	53,6	28	65	0,81	X	X	X	X	X
L.100	64,3	89,0	19,1	34,9	64,3	32	77	1,58	X	X	X	X	X
L.110	84,1	108,0	22,2	42,9	84,1	42	99	2,97	X	X	X	X	X
L.150	95,3	114,3	25,4	44,4	95,3	48	103	4,10	X	X	X	X	X
L.190	114,3	123,8	25,4	49,2	101,6	55	146	7,65		X		X	X
L.225	127,0	136,5	25,4	55,6	108,0	60		10,35		X		X	

Fuente: Acoplamientos elásticos, INDARBELT S.A

El rendimiento del acoplamiento se calculó a partir de la siguiente fórmula; tomada de la fuente bibliográfica. (CHICHINADZE A. V., 2003)

$$= \frac{1 - (3 \div 5)fe}{D}$$

$$= \frac{1 - (5)0.25(3.6)}{4.5}$$

$$= 0.78$$

Dónde:

- **f**: coeficiente de fricción (0.12÷ 0.25)
- **e**:excentricidad, calculado de acuerdo al desplazamiento radial del eje: 3.6
- **D**: diámetro del acoplamiento.
- **N**: rendimiento del acoplamiento

### 3.3 Variador de Frecuencia(DELTA, 2007)

Para que el tribómetro trabaje en un amplio diapasón de velocidades y de acuerdo a las necesidades requeridas se adaptó un variador de frecuencias el cual permite obtener la velocidad requerida por la norma para el ensayo.

Placa de características del variador:

- Model: VFD007E23A
- INPUT: 3HP 200/240V
- Hz: 50/60
- I: 5.1 A
- OUTP: 3HP 0/240V
- I: 4.2<sup>a</sup> 1.6 KWA
- 0.75KW/1HD
- Frucueni Range: 0.1- 600Hz
- Versión: 01.16/ 02.16

Figura 8: VFD trifásico



Fuente: Autores

**3.3.1 Características y método de funcionamiento del variador de frecuencia:** La elección del motor variador de CA adecuado para la aplicación es muy importante y tiene gran influencia sobre su vida útil.

Debe existir una relación motor- variador para que pueda ofrecer protección integral al motor. Si la capacidad del motor- variador de CA es demasiado pequeña, éste no puede ofrecer el desempeño requerido y el motor- variador de CA podría resultar dañado debido a una sobrecarga. (Ver figura 9).

### 3.3.1.1 Indicadores del teclado numérico:

- *Indicador listo:* Se enciende al aplicar corriente eléctrica. Después de desconectar la corriente, la luz no se apagará hasta que los condensadores se descarguen, hasta alcanzar niveles de tensión seguros.
- *Indicador de funcionamiento:* Se encenderá si el motor se encuentra funcionando.
- *Indicador de falla:* Se encenderá al producirse un fallo. (Ver figura 10).

Figura 9: Relación velocidad - frecuencia



Fuente: Autores

Figura 10: Teclado numérico



Fuente: DELTA Electronic INC. Manual de usuario VFD007E23A

**3.3.2 Método de funcionamiento:** El método de funcionamiento se puede establecer por comunicación, por medio de las terminales de control y mediante el teclado numérico opcional KPE-LE02. (Ver tabla 3).

*Ejecución de prueba:* La configuración que trae de fábrica la fuente de operación se obtiene de un terminal externo (Pr.02.01=2).

1. Tanto MI1-DCM como MI2-DCM se deben conectar a un interruptor para cambiar hacia FWD/STOP y REV/STOP.
2. Por favor conecte un potenciómetro entre AVI, 10V y DCM o aplique un voltaje de 0-10Vdc a AVI-DCM.
3. El Voltaje del potenciómetro o AVI-DCM 0-10Vdc debe ser menos de 1V.
4. Configure MI1=On (Encendido) para funcionamiento hacia adelante. Y si desea obtener un movimiento de retroceso, se debe establecer MI2=On (Encendido). Y si

desea desacelerar la velocidad para detener, por favor establecer a MI1/MI2=Off (Apagado).

5. Revisar las siguientes cuestiones:

- Revisar si la dirección de rotación del motor es la correcta.
- Revisar si el motor funciona sostenidamente, sin ruidos y vibraciones anormales.
- Revisar si la aceleración y desaceleración de la velocidad se producen sin problemas. (Ver tabla 3).

Si desea realizar un arranque de prueba utilizando el teclado numérico opcional, por favor, siga las siguientes instrucciones.

1. El teclado numérico se debe conectar correctamente al variador para motor AC.
2. Después de aplicar corriente, verifique que el INDICADOR muestra F 0.0Hz.
3. Establecer las siguientes configuraciones Pr.02.00=0 y Pr.02.01=0.

4. Oprima la  tecla para establecer la frecuencia alrededor de 5Hz.

5. Oprima la tecla  para funcionar hacia adelante. Y si se desea obtener un movimiento de retroceso, se debe presionar  € en la página  en la página. Y si desea desacelerar la velocidad para detener, por favor, presione la tecla

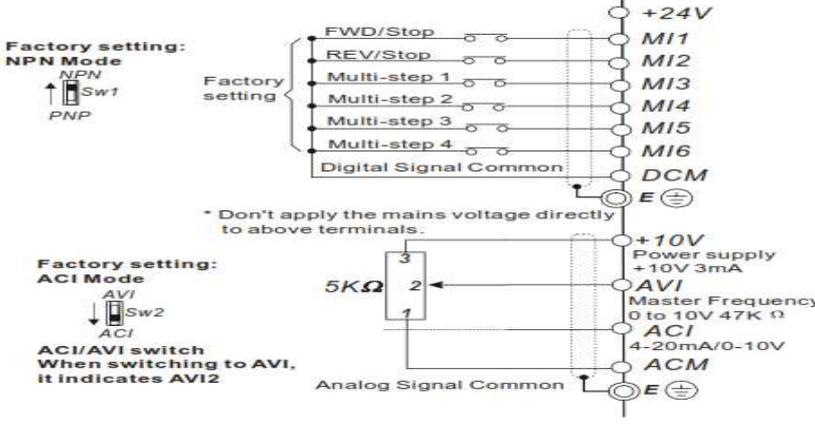


6. Revise los siguientes detalles:

- Revise si la rotación del motor es la correcta.
- Revise si el motor funciona sostenidamente sin ruido o vibración anormal.
- Revisar si la aceleración y la desaceleración se producen sin problemas.

Si los resultados de la prueba de arranque son normales, por favor inicie el arranque regular.

Tabla 3: Método de funcionamiento VFD

Método de funcionamiento.	Fuente de la Frecuencia	
Funciona a partir de un teclado numérico opcional (KPE-LE02)	Cuando el mensaje es enviado por una computadora, se debe emplear el convertidor VFD-USB01 o IFD8500 para conectarlo a ésta. Para más detalles, consultar la dirección del mensaje 2000H y 2101H.	
		Entrada de terminales
	MI3-DCM (Set Pr.04.05=10)	
		

Fuente: DELTA Electronic INC. Manual de usuario VFD007E23A

### 3.3.3 Configuraciones de los parámetros: (Ver Anexo B)

El parámetro se puede fijar durante la operación en vacío se programa todos los parámetros que utilizaremos en los diferentes ensayos.

**3.3.4 Información de código de fallas:** El controlador de motor AC tiene un sistema de diagnóstico de fallas completo que incluye diversas y diferentes alarmas y mensajes de fallas.

Una vez que se detecta la falla, las funciones protectoras correspondientes serán activadas. Las siguientes fallas se visualizan tal como se muestra en la pantalla del teclado digital del controlador de motor AC.

Las cinco fallas más recientes se pueden leer desde el teclado digital o la comunicación. Espere 5 segundos luego de que la falla se haya borrado antes de realizar un reinicio a través del teclado o terminal de entrada.

### **3.3.4.1 Problemas comunes y soluciones (Ver Anexo C).**

Los códigos de los problemas y soluciones que pueden darse en el variador de velocidad lo podemos visualizar en los anexos, como soporte en el buen funcionamiento del equipo

### **3.3.5 Reset**

Existen dos métodos para reiniciar el motor variador AC luego de resolver la falla:

- Fije el terminal externo a "RESET" y luego coloque en ON.
- Envíe el comando "RESET" por comunicación.

Asegúrese de que la señal o el comando RUN estén en OFF antes de ejecutar el RESET para evitar daños o heridas a las personas debido a la operación inmediata.

## **3.4 Transformador de voltaje**

Este elemento eléctrico se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética, ya que si aplicamos una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario, debido a la variación de la intensidad y sentido de la corriente alterna, se produce la inducción de un flujo magnético variable en el núcleo de hierro.

Este flujo originará por inducción electromagnética, la aparición de una fuerza electromotriz en el devanado secundario. La tensión en el devanado secundario dependerá directamente del número de espiras que tengan los devanados y de la tensión del devanado primario.

El transformador utilizado para la alimentación del tribómetro se da para que el equipo se pueda conectar a un sistema monofásico.

Las características son las siguientes:

## AC- CONVERT

- Tc-1000
- 110 V a 220 V
- 50 Hz – 60 Hz
- Max. 1000W

Figura 11: Transformador elevador de voltaje



Fuente: Autores

## **CAPÍTULO IV**

### **4. MÁQUINA DE FRICCIÓN**

La máquina de ensayos tribológicos de cilindros cruzados se caracteriza por ser una máquina donde es posible determinar el desgaste debido a la fricción por rodadura o deslizamiento.

Se utiliza probetas de 12.7mm de diámetro y 102 mm de largo que son fijadas en su respectiva porta probetas, una probeta móvil y otra fija con el fin de que las dos se mantengan en contacto.

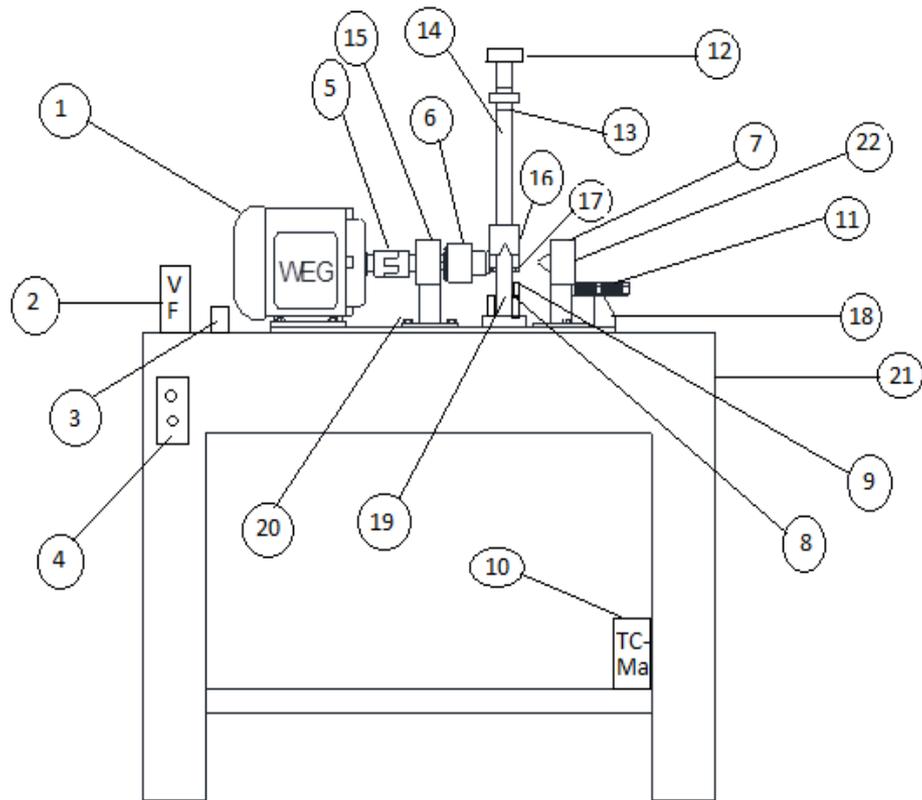
La máquina puede ajustarse a las velocidades requeridas para el ensayo mediante un variador de velocidad a 400 rpm +/- 2%, utilizando una carga de trabajo de 71.2 Nw +/- 3% al momento de su funcionamiento el motor arranca en cascada a 10 segundos para que absorba lentamente la carga a la cual está sometida la probeta fija.

La cantidad de desgaste se determina por el peso de las probetas antes y después del ensayo cabe recalcar que los ensayos se los realiza con lubricantes SAE 10W30, SAE 20W50 y sin lubricante para su respectiva comparación.

#### **4.1 Ensamblaje de la máquina de fricción**

Dependiendo de las piezas maquinadas en su forma definitiva y teniendo en cuenta los diferentes mecanismos de sujeción y de unión entre las piezas como son: acoples, soldadura, pernos etc., pueden generar alteraciones en las dimensiones finales de las piezas, se procede a realizar un ensamble general del tribómetro.

Figura 12: Partes del tribómetro de cilindros cruzados



Fuente: Autores

#### 4.1.1 Partes que constituyen el tribómetro de cilindros cruzados:

1. Motor eléctrico trifásico de 1HP de velocidad variable.
2. VFD de 1HP trifásico con alimentación monofásica de dos líneas.
3. Guardamotor electromagnético de 3.5 A de capacidad.
4. Botonera (pulsador marcha y paro).
5. Acople L-075 1/4" y caucho de acople L-075.
6. Mandril de tres puntas 3/8."
7. Base posterior (chumacera) para dos rodamientos FAG 6205-2NSE C3–Roda/Rígido/Bolas- NA.
8. Probeta de 15x10x8 en sus dimensiones.
9. Bomba sumergible JAD.
10. Transformador monofásico elevador 110V a 220 V monofásico de dos líneas.
11. Perno 3/4" de graduación y templador del punto móvil.
12. Contrapeso.

13. Bocín de 1" de diámetro como guía para la barra de pesos y base del contrapeso.
14. Barras de guía para la base de la probeta fija.
15. Base delantera (chumacera hechiza) para dos rodamientos.
16. Base de la probeta fija construida de bloque acero.
17. Contraprobeta.
18. Base para perno  $\frac{3}{4}$ " de graduación y templador del punto móvil.
19. Barras 1" de guía para la base de la probeta fija.
20. Pernos de anclaje de la placa metálica con la base de las chumaceras.
21. Mesa de madera para evitar las vibraciones que produce el motor.
22. Rodamientos FAG 6205-2NSE C3 –Rígido/Bolas- NA
23. Placa metálica que sirve como esquí del equipo acoplada a la mesa con 10 pernos  $\frac{5}{16}$ ".

Figura 13: Vista general del tribómetro



Fuente: Autores

#### 4.1.2 *Proceso de Ensamblaje:*

1. Se ha construido una mesa de madera de 90cm de alto, 1m de largo y 70cm de ancho de característica robusta en función de absorber las vibraciones del motor.
2. Se montó una placa de metal de 60cm de largo, 20cm de ancho como base del tribómetro, fijada a la mesa con 4 pernos 5/16 en sus extremos.
3. Se ubicó y emperno el motor trifásico de 1HP en la placa ya fijada en la mesa.
4. Elaborada la base para la contraprobeta se montó y emperno en la placa ya fijada en la mesa con 6 pernos 5/16.
5. Se elaboró el contrapeso con medidas y peso especificado para completar los 71,2Nw.
6. Una vez fijada la base para la probeta fija montamos sobre la placa el punto móvil que esta acoplada al motor por un acople mediante el cual absorbe la vibración del motor, el punto móvil está diseñado con un mandril a un extremo y un punto móvil por el otro.

Figura 14: Proceso de montaje del tribómetro



Fuente: Autores

7. La conexión del motor se realiza momentáneamente para comprobar el funcionamiento y la distancia entre el mandril y el punto móvil para realizar las perforaciones de recorrido y para fijar el perno de regulación del punto móvil.
8. La unión eje motor, eje transmisor de movimiento de la probeta se realizó con un acople LT750 común mente conocido.
9. VFD que permite realizar la variación de la velocidad del motor de acuerdo a las especificaciones de la norma.
10. Guardamotor que protege al motor de sobrecorrientes.
11. Mandril de 3 puntas utilizado para la sujeción de la probeta móvil.
12. Probetas elaboradas bajo la norma mencionada.
13. Base para perno  $\frac{3}{4}$ " de graduación y templador del punto móvil
14. Barras 1" de guía para la base de la probeta fija
15. Lubricantes utilizados para el ensayo (CASTROL 10W30 Y MOVIL 20W50).
16. Una vez acoplados los equipos sobre la mesa se procedió a pintar para posteriormente realizar el cableado eléctrico.
17. La máquina funciona a 220 VCA, se utiliza un transformador para conectar a una línea de 120 VCA, una botonera de encendido, un variador de velocidad y un guarda motor.
18. Para el sistema de lubricación se utiliza un recipiente de 15x10x8 en sus dimensiones y una bomba sumergible JAD

Figura 15: Ensamblado final del tribómetro

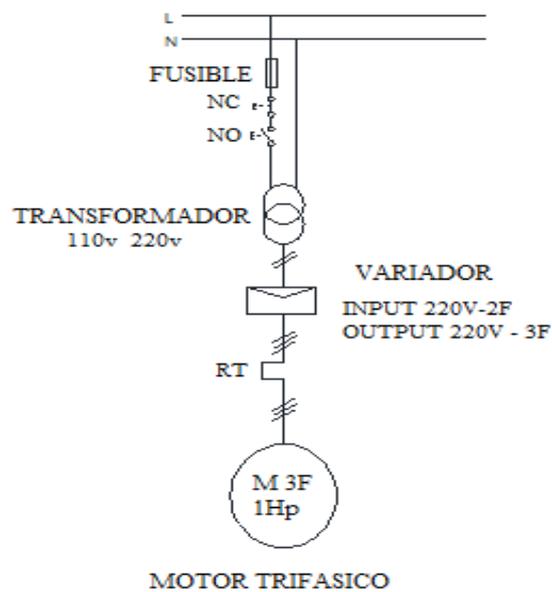


Fuente: Autores

#### 4.1.3 Esquema eléctrico unifilar del tribómetro

El esquema eléctrico unifilar del tribómetro demuestra cómo está conectado el variador y el motor.

Figura 16: Esquema eléctrico del tribómetro



Fuente: Autores

Dónde:

**L**= Línea 110 VCA

**N**= Neutro

**F**= Fusible

**RT**= Protección térmica

**NO**= Pulsador normalmente abierto

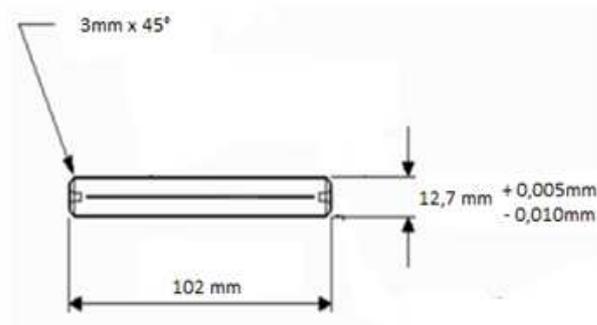
**NC**= Pulsador normalmente cerrado

#### 4.2 Elaboración de probetas de ensayo

Para la realización de las probetas se inicia tomando como referencia la norma ASTM G83-96, se diseñan las probetas que se utilizarán para el ensayo requerido, y deben presentar las siguientes dimensiones:

- 12.7mm de diámetro
- 102 mm de largo

Figura 17: Dimensiones de la probeta



Fuente: Norma ASTM G83-96

Primer paso: adquisición de las varillas de acero AISI/SAE 1045 (705) de 20mm de diámetro, se ha tomado el acero de menor diámetro existente en el mercado. (Ver figura 18).

Segundo paso: se corta las probetas de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM G83-96, en una cortadora eléctrica utilizando taladrina, 42 probetas de 102mm de longitud cada una.

Tercer paso: se determinan el centro de cada lado de la probeta para realizar los centros maquinados permitidos. (Ver figura 19).

Cuarto paso: Realizado el tercer paso se procede al desbaste de la probeta en el torno hasta conseguir el diámetro requerido por la norma ASTM G 83-96, mediante el cual se utiliza taladrina y una cuchilla de widea de desbaste de 1/2, con revoluciones iniciales de torneado de 800 rpm. (Ver figura 20).

Figura 18: Aceros existentes en el mercado



Dimensión, e mm		Masa kg/m	Dimensión, e pulg		Masa kg/m
8	-	0,395	19,1	3/4"	2,24
10	-	0,617	22	-	2,98
12	-	0,888	22,2	7/8"	3,05
12,7	1/2"	0,994	25	-	3,85
15,8	5/8"	1,55	25,4	1"	3,98
16	-	1,58	28,6	1 1/8"	5,03
18	-	2,00	31,7	1 1/4"	6,22
19	-	2,23	38,1	1 1/2"	8,95

Fuente: Catálogo aceros

Figura 19: Probeta maquinado de los centros



Fuente: Autores

Figura 20: Desbaste de la probeta



Fuente: Autores

Quinto paso: se realizan los ángulos de  $3\text{mm} \times 45^\circ$  en los extremos de cada probeta.

Sexto paso: Para tener un acabado perfecto de la probeta y obtener una rugosidad del material mínimo posible dentro de los estándares de la norma utilizamos una cuchilla apropiada en el torno y una lija # 500.

Figura 21: Desbaste de ángulos permitidos



Fuente: Autores

Figura 22: Acabado de la probeta



Fuente: Autores

Antes y después de realizar los ensayos se procede a la toma de pesos de cada una de las probetas que conforman el par tribológico.

### **4.3 Procedimiento de ensayo**

Para determinar las características tribológicas del acero AISI/SAE 1045 mediante ensayos se ha planteado las siguientes actividades:

**4.3.1** *Medición de las probetas:* las probetas deben tener las medidas establecidas por la norma ASTM G83-96 con el fin de evaluar estos parámetros antes del ensayo, la medición se lo realiza con un calibrador digital.

**4.3.2** *Preparación del tribómetro de cilindros cruzados:* el tribómetro debe simular los ensayos de fricción y desgaste por rodadura, mediante fricción de la probeta inferior que es móvil y la probeta superior que es fija.

**4.3.3** *Preparación de las probetas de ensayo:* las probetas tienen que estar libres de impurezas las mismas que pueden adherirse del medio ambiente o del contacto con las manos, se procede a limpiar con una manta con alcohol o acetona para eliminar todas las impurezas que pueda crear una película en la capa en la superficie de las probetas.

**4.3.4** *Colocación de la probeta fija y móvil en el tribómetro:* con mucha precaución y con el tribómetro desenergizado se procede a colocar las probetas primero se coloca la probeta fija siempre tomando como referencia el centro de la misma para observar con más precisión el desgaste ocurrido en la misma, después se procede a colocar la probeta móvil al igual que la anterior tomando referencia la mitad, se asegura con el mandril el lado derecho que este bien sujeta, para después con el contrapunto fijar la probeta para tenga un movimiento uniforme en el tribómetro y pueda soportar el peso del ensayo propuesto.

**4.3.5** *Preparación del recipiente lubricador:* una vez colocadas las probetas se procede a ubicar el recipiente que llevara el aceite requerido para el ensayo pudiendo ser en este caso el 20W50 o el 10W30, no se debe llenar completamente el recipiente se mide la mitad por que el volumen de la bomba ocupa un cierto porcentaje del recipiente.

**4.3.6** *Colocación de la bomba JAD:* se coloca la bomba con una extensión de manguera de 3.5mm de diámetro y 150mm de longitud para lubricar las probetas y realizar las pruebas con lubricación por goteo.

**4.3.7** *Preparación del variador de frecuencia:* se energiza el equipo y se procede a calibrar el variador para el ensayo requerido, se realiza la prueba en vacío para controlar el sentido de giro y la uniformidad de la probeta giratoria, y observar que este bien sujeta, el rango del variador depende del ensayo que se realice.

**4.3.8** *Protecciones del equipo:* el tribómetro en si está protegido con el variador de frecuencia y un relé térmico para el motor los cuales están calibrados para la carga de la placa de características del motor, así se protege la integridad del motor y de todo el sistema.

**4.3.9** *Funcionamiento del equipo:* tomando en cuenta todos los pasos anteriores se procede a realizar el ensayo a plena carga siempre teniendo en cuenta:

- Tiempo de ensayo según el recorrido.
- El variador empieza a funcionar en maxpoint (cascada) permitiendo así absorber la carga de 71.2 Nw que es aplicada a las probetas.

**4.1 Ensayos metalográficos:**Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. (Ver figura 22).

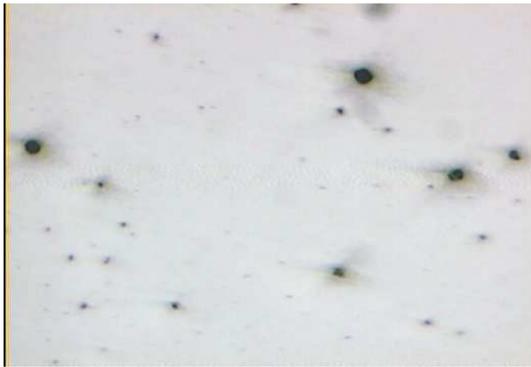
**4.4.1** *Características del acero AISI-SAE 1045 (UNS G10450)*

**4.4.1.1** *Descripción:* es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarios en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado.

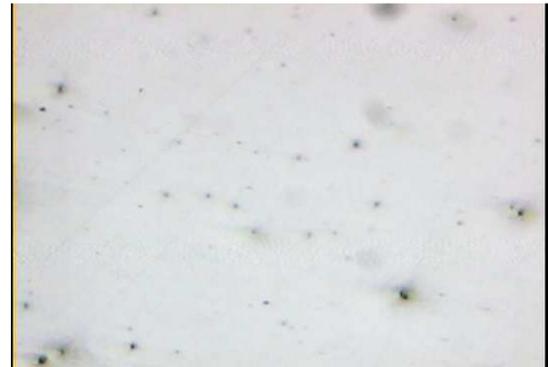
Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada, por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

Figura 23: Ensayos metalográficos probetas móvil y fija

**Probeta móvil antes del ataque químico**

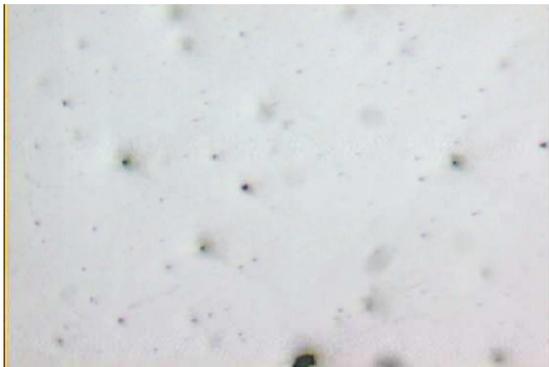


a) 200<sup>x</sup>

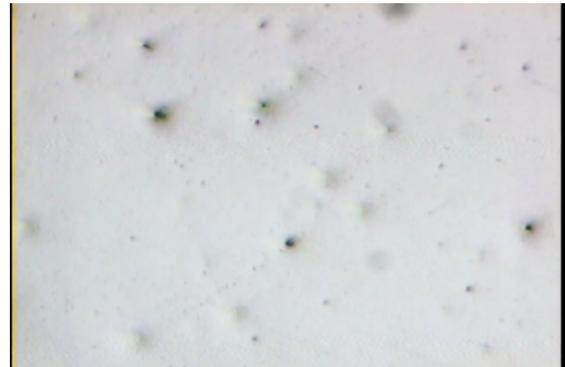


b) 500<sup>x</sup>

**Probeta fija antes del ataque químico**

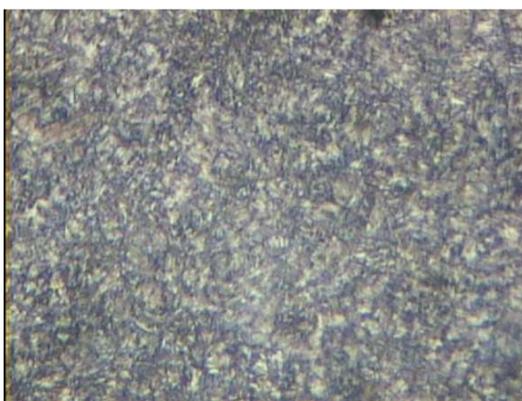


a) 200<sup>x</sup>



b) 500<sup>x</sup>

**Probeta móvil despues del ataque químico**

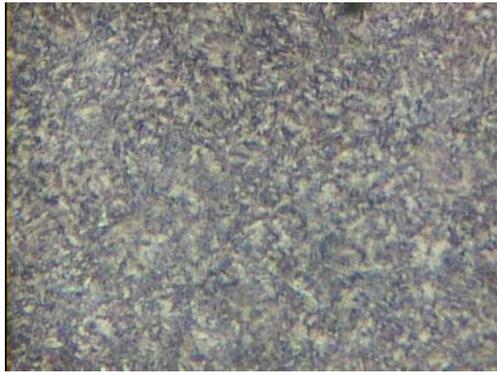


a) 200<sup>x</sup>

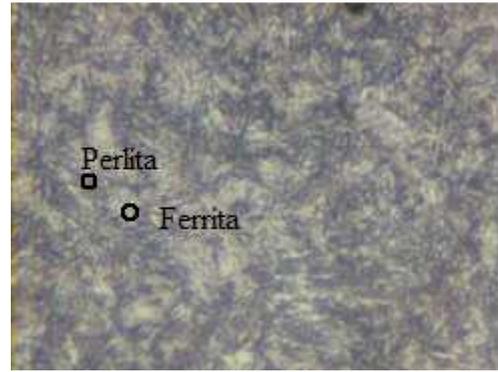


b) 500<sup>x</sup>

### Probeta fija despues del ataque químico



a) 200<sup>x</sup>



b) 500<sup>x</sup>

### Probeta sin ensayo despues del ataque químico

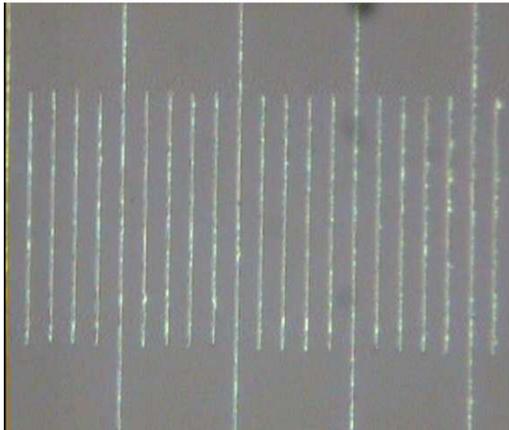


a)200<sup>x</sup>

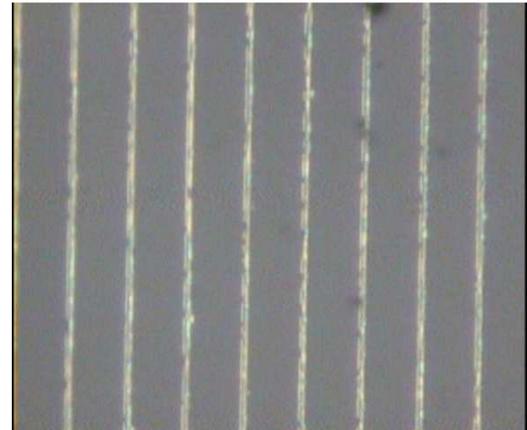


b)500<sup>x</sup>

### Medidas de las probetas



a) 200<sup>x</sup>



b) 500<sup>x</sup>

Fuente: Autores

**4.4.1.2 Normas involucradas ASTM A108:** Standard Specification for Steel Bar, Carbon and Alloy, Cold-Finished (Especificación estándar para barras de acero, al carbono y aleados, acabadas en frío).

**4.4.1.3 Propiedades mecánicas:**

Dureza 163 HB (84 HRb)

- a) Esfuerzo de fluencia 310 MPa (45000 PSI)
- b) Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)
- c) Elongación 16% (en 50 mm)
- d) Reducción de área (40%)
- e) Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
- f) Maquinabilidad 57% (AISI 1212 = 100%)

**4.4.1.4 Propiedades físicas:** Densidad 7.87 g/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>).

**4.4.1.5 Propiedades químicas:**

- a) 0.43 – 0.50 % C
- b) 0.60 – 0.90 % Mn
- c) 0.04 % P máx.
- d) 0.05 % S máx.

**4.4.1.6 Usos:** los usos principales para este acero es: Tornillería grado 5 / 5.1 / 5.2, cable bananero, manivelas, chavetas, bulones, bielas, piezas de armas, acoples, ejes para motores, espárragos, pernos, pernos en U o grapas, pernos de anclaje, tuercas, bujes,

piezas forjadas para la industria automotriz, máquinas y herramientas agrícolas, resortes no críticos, cabezas de cilindros, etc.

#### 4.4.1.7 *Tratamientos térmicos:*

Tabla 4: Tratamientos térmicos del acero AISI 1045

<b>Estado del acero</b>	<b>Temperatura</b>
Normalizado	900°C
Recosido	840°C
Temple en agua	790°C
Temple en aceite	810°C
Revenido (herramientas de corte)	100-3000°C
Revenido de bonificación	550-650°C
Cementación	900-930°C

Fuente: Autores

## CAPÍTULO V

### 5. ENSAYOS TRIBOLÓGICOS

Los ensayos se realizan a 400 rpm, con una carga constante de 16 libras/fuerza o 71.2 Nw, con la finalidad de tener datos confiables para cada ensayo se utilizó nueve probetas por lubricante se introdujo el lubricante en tres distintos tiempos los cuales fueron de tres horas veinte minutos, una hora cuarenta minutos y cincuenta minutos. Como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5: Parámetros de la Prueba.

Procedimiento	Fuerza Aplicada.			Revoluciones	Velocidad (rpm)
	(Nw)	(Kgf)	(lb)		
A	71.2	7.26	16	80000	400
B	71.2	7.26	16	40000	400
C	71.2	7.26	16	20000	400

Fuente: Autores

#### 5.1 Valores obtenidos en los ensayos

Los valores que se presentan en la siguiente tabla son los resultados obtenidos en los ensayos pesados antes y después de cada ensayo, tomando en cuenta el tiempo y las fechas cuando fueron realizados y con qué lubricante fueron ensayados, también los ensayos que se realizó sin lubricación para determinar el desgaste que produjo cuando el material no está lubricado y diferenciar las probetas realizadas con lubricación y sin lubricación a los tiempos similares determinando así que es lo que sucede y qué cantidad de material se pierde en cada ensayo.

Para lo cual se utilizó una balanza eléctrica Pioneer en donde se obtiene los resultados de pérdida de masa, el cual será utilizado para el cálculo de la intensidad gravimétrica de desgaste como se puede apreciar en la siguiente figura: (Ver figura 25).

Figura 24: Probetas a ensayar



Fuente: Autores

Para realizar el ensayo se debe limpiar las probetas para que queden libres de impurezas que puedan afectar la prueba, una vez puesto en marcha el ensayo y finalizada la actividad se procede a retirar del tribómetro para limpiar nuevamente las probetas para determinar la pérdida de masa mediante la balanza electrónica.

Figura 25: Balanza



Fuente: Autores

## 5.2 Comportamiento tribológico del material e influencia de cada uno de los materiales

Tabla 6: Protocolo de ensayo

PROTOCOLO DE ENSAYO										
N°	Hora		Probeta (AISI/SAE 1045) Valores en miligramos		Contraprobeta (AISI/SAE 1045) Valores en miligramos		Lubricante	Rp m	# Rev.	Fecha
	Inicio del ensayo	Final del ensayo	Peso antes del ensayo	Peso después del ensayo	Peso antes del ensayo	Peso después del ensayo				
	1	9:52	13:12	100697,50	100697,47	99790,321				
2	16:03	19:23	100697,50	100697,47	98883,136	98883,104	SAE 10W30	400	8000	27/06/2
3	9:00	12:20	100243,91	100243,87	99790,321	99790,283	SAE 10W30	400	8000	28/06/2
4	16:03	17:43	100697,50	100697,48	97975,951	97975,925	SAE 10W30	400	4000	28/06/2
5	10:00	11:40	103872,65	103872,62	100697,50	100697,48	SAE 10W30	400	4000	02/07/2
6	17:53	19:33	100697,50	100697,48	101604,69	101604,66	SAE 10W30	400	4000	04/07/2
7	16:23	17:13	99790,321	99790,299	95707,990	95707,966	SAE 10W30	400	2000	05/07/2
8	11:00	11:50	100697,50	100697,48	98883,136	98883,112	SAE 10W30	400	2000	08/07/2
9	16:05	16:55	98883,136	98883,114	99336,705	99336,682	SAE 10W30	400	2000	10/07/2
10	16:19	19:39	98883,136	98883,114	99336,705	99336,682	SAE 20W50	400	8000	12/07/2
11	14:15	17:35	99790,321	99790,288	98883,136	98883,104	SAE 20W50	400	8000	15/08/2
12	16:00	19:20	98883,136	98883,099	99336,705	99336,667	SAE 20W50	400	8000	16/08/2
13	08:00	9:40	102965,46	102965,44	101604,69	101604,66	SAE 20W50	400	4000	12/07/2
14	09:00	10:40	99790,321	99790,294	97975,951	97975,926	SAE 20W50	400	4000	22/08/2
15	15:25	16:45	100697,50	100697,48	99336,705	99336,679	SAE 20W50	400	4000	23/08/2
16	13:00	13:50	99790,321	99790,299	98883,136	98883,113	SAE 20W50	400	2000	24/08/2
17	08:45	09:35	100697,50	100697,48	97975,951	97975,928	SAE 20W50	400	2000	05/09/2
18	14:00	14:40	99336,705	99336,683	99790,321	99790,297	SAE 20W50	400	2000	05/09/2
19	09:15	12:35	99790,321	93.440,028	97975,951	94.347,212		400	8000	05/09/2
20	14:00	15:40	100697,50	89.811,289	98883,136	91.625,658		400	4000	07/09/2
21	16:00	16:40	102965,46	85.275,365	101604,69	87089,735		400	2000	07/09/20

Fuente: Autores

### 5.3 Determinación de la intensidad gravimétrica de desgaste

La intensidad gravimétrica de desgaste se determina utilizando la siguiente fórmula:

$$I_g = \frac{g}{Sf \cdot An} \quad v = \frac{\pi * d * rpm}{60000} \quad Sf = v * t$$

Dónde:

Ig: Intensidad gravimétrica de desgaste

g: Pérdida de peso(mgr)

Sf: Recorrido de la fricción.

An: Área nominal de contacto.

v: Velocidad de ensayo.

d: Diámetro de la probeta

El cálculo de An para probetas de configuración de cilindros cruzados y radios iguales, se realiza a partir de la fórmula propuesta por Chichinadze en su obra Manual de fricción, desgaste y lubricación.

$$\rho = 0.909 \sqrt[3]{\theta z \cdot r \cdot N} \quad (3)$$

Dónde:

$\rho$  =Radio del área de contacto

$\theta z$  =Sumatoria de los módulos de los de elasticidad de los materiales en contacto.

$$\theta z = \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \quad (4)$$

$\mu_1$  y  $\mu_2$  = Coeficientes de Poisson.

$$r = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \quad (5)$$

Dónde:

$N$  = Carga nominal (71.2 N)

$E_1$  y  $E_2 = 207 \text{ Gpa} = 207000 \text{ N/mm}^2$

$\mu_1$  y  $\mu_2 = 0.3$

$r_1$  y  $r_2 = 6.35 \text{ mm}$ .

Cálculo de la sumatoria de los módulos de elasticidad de los materiales en contacto.

$$\theta z = \frac{1 - (0.3)^2}{207000 \text{ N/mm}^2} + \frac{1 - (0.3)^2}{207000 \text{ N/mm}^2}$$

$$\theta z = \frac{1 - 0.09}{207000 \text{ N/mm}^2} + \frac{1 - 0.09}{207000 \text{ N/mm}^2}$$

$$\theta z = \frac{0.91}{207000 \text{ N/mm}^2} + \frac{0.91}{207000 \text{ N/mm}^2}$$

$$\theta z = 4.3961 \times 10^{-6} + 4.3961 \times 10^{-6}$$

$$\theta z = 8.7922 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{N}$$

$$r = \frac{6.35 * 6.35}{6.35 + 6.35}$$

$$r = \frac{40.3225}{12.7}$$

$$r = 3.175 \text{ mm}$$

**Cálculo de radio de área de contacto**

$$\rho = 0.909 \sqrt[3]{8.7922 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{N} * 3.175 \text{ mm} * 71.2 \text{ N}}$$

$$\rho = 0.909 * 0.1259 \text{ mm}$$

$$\rho = 0.1144 \text{ mm}$$

### Cálculo del área nominal

$$a_n = \pi \cdot \rho^2 \quad (6)$$

$$a_n = \pi \cdot (0.1144\text{mm})^2$$

$$a_n = 0.041\text{mm}^2$$

### Cálculo de la intensidad gravimétrica de desgaste

$$I_g = \frac{g}{S_f * A_n} \quad (7)$$

$$I_g = \frac{g}{319200\text{mm} * 0.041\text{mm}^2}$$

### Resultados obtenidos del ensayo propuesto

Tabla 7: Resultado de ensayos

LUBRICANTE SAE 10 W 30						
Pérdida de masa (mgr)	Velocidad del ensayo	Tiempo (s)	Recorrido de fricción sf (m)	Recorrido de fricción sf (mm)	Área Nominal de Fricción (mm <sup>2</sup> )	Intensidad gravimétrica de desgaste (mgr/mm <sup>3</sup> )
0,0368	0,26599	12000	3192	3191858	0,041	2,81203E-07
0,0362	0,26599	12000	3192	3191858	0,041	2,76618E-07
0,0367	0,26599	12000	3192	3191858	0,041	2,80439E-07
0,0365	0,26599	12000	3192	3191858	0,041	2,78911E-07
0,0367	0,26599	12000	3192	3191858	0,041	2,80286E-07
0,0364	0,26599	12000	3192	3191858	0,041	2,78147E-07
0,0222	0,26599	6000	1596	1595929	0,041	3,39278E-07
0,0219	0,26599	6000	1596	1595929	0,041	3,34693E-07
0,0223	0,26599	6000	1596	1595929	0,041	3,40806E-07
0,0220	0,26599	6000	1596	1595929	0,041	3,36374E-07
0,0225	0,26599	6000	1596	1595929	0,041	3,43404E-07
0,0219	0,26599	6000	1596	1595929	0,041	3,35304E-07
0,0124	0,26599	3000	798	797965	0,041	3,79013E-07
0,0122	0,26599	3000	798	797965	0,041	3,72900E-07
0,0123	0,26599	3000	798	797965	0,041	3,75957E-07
0,0119	0,26599	3000	798	797965	0,041	3,63730E-07
0,0122	0,26599	3000	798	797965	0,041	3,72900E-07

0,0119	0,26599	3000	798	797965	0,041	3,63730E-07
--------	---------	------	-----	--------	-------	-------------

Continuación Tabla. 7

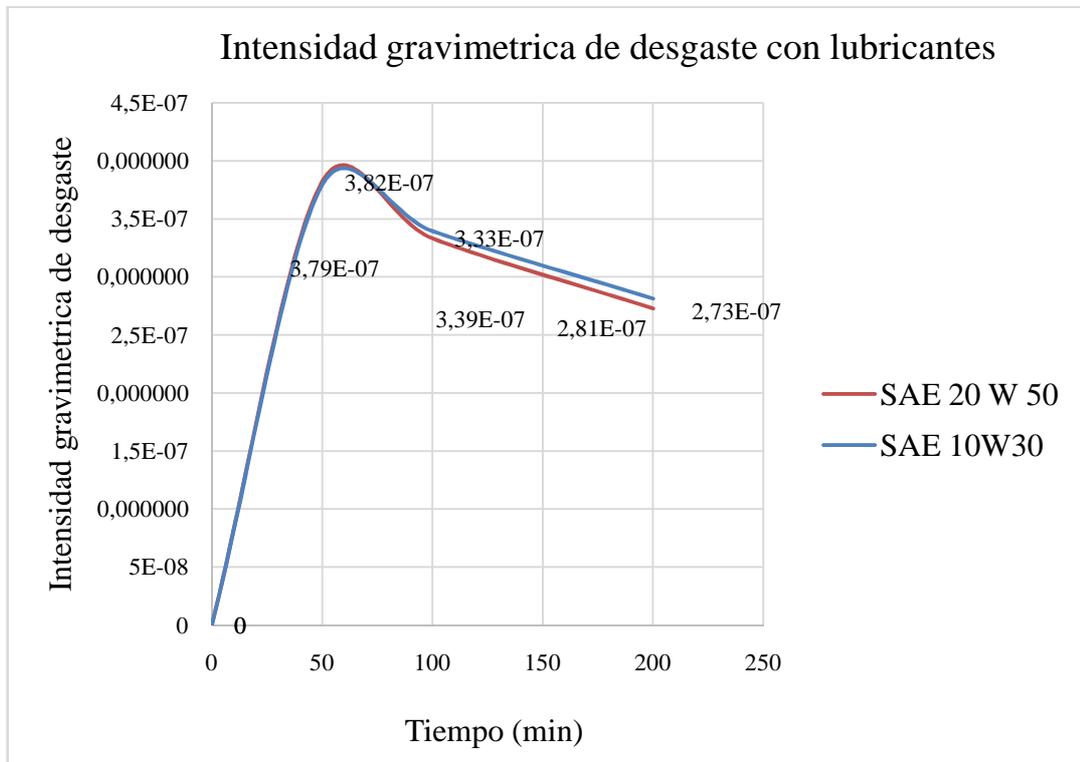
<b>LUBRICANTE SAE 20 W 50</b>						
<b>Pérdida de masa (mgr)</b>	<b>Velocidad del ensayo</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Recorrido de fricción sf (m)</b>	<b>Recorrido de fricción sf (mm)</b>	<b>Área Nominal de Fricción (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Intensidad gravimétrica de desgaste (mgr/mm<sup>3</sup>)</b>
0,0357	0,26599	12000	319	3191858	0,041	2,72798E-07
0,0349	0,26599	12000	3192	3191858	0,041	2,66685E-07
0,0357	0,26599	12000	3192	3191858	0,041	2,72416E-07
0,0352	0,26599	12000	3192	3191858	0,041	2,68977E-07
0,0358	0,26599	12000	3192	3191858	0,041	2,73562E-07
0,0353	0,26599	12000	3192	3191858	0,041	2,69741E-07
0,0218	0,26599	6000	1596	1595929	0,041	3,33165E-07
0,0217	0,26599	6000	1596	1595929	0,041	3,31636E-07
0,0221	0,26599	6000	1596	1595929	0,041	3,37750E-07
0,0220	0,26599	6000	1596	1595929	0,041	3,35610E-07
0,0223	0,26599	6000	1596	1595929	0,041	3,40348E-07
0,0220	0,26599	6000	1596	1595929	0,041	3,36374E-07
0,0125	0,26599	3000	798	797965	0,041	3,82070E-07
0,0122	0,26599	3000	798	797965	0,041	3,72900E-07
0,01231	0,26599	3000	798	797965	0,041	3,76262E-07
0,01201	0,26599	3000	798	797965	0,041	3,67093E-07
0,0123	0,26599	3000	798	797965	0,041	3,75957E-07
0,0120	0,26599	3000	798	797965	0,041	3,66481E-07
<b>FRICCIÓN SECA</b>						
<b>Pérdida de masa (mgr)</b>	<b>Velocidad del ensayo</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Recorrido de fricción sf (m)</b>	<b>Recorrido de fricción sf (mm)</b>	<b>Área Nominal de Fricción (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Intensidad gravimétrica de desgaste (mgr/mm<sup>3</sup>)</b>
6350,2932	0,26599	3000	798	797965	0,041	1,94100E-01
3628,7390	0,26599	3000	798	797965	0,041	1,10914E-01
10886,2169	0,26599	6000	1596	1595929	0,041	1,66372E-01
7257,4779	0,26599	6000	1596	1595929	0,041	1,10914E-01
17690,1024	0,26599	12000	3192	3191858	0,041	1,35177E-01
14514,9558	0,26599	12000	3192	3191858	0,041	1,10914E-01

Fuente: Autores

#### 5.4 Interpretación del mecanismo de desgaste.

La intensidad gravimétrica de desgaste está determinada mediante el peso perdido en los ensayos, realizados en las probetas utilizando lubricantes SAE 20W50 y SAE 10W30.

Figura 26: Intensidad gravimétrica



Fuente: Autores

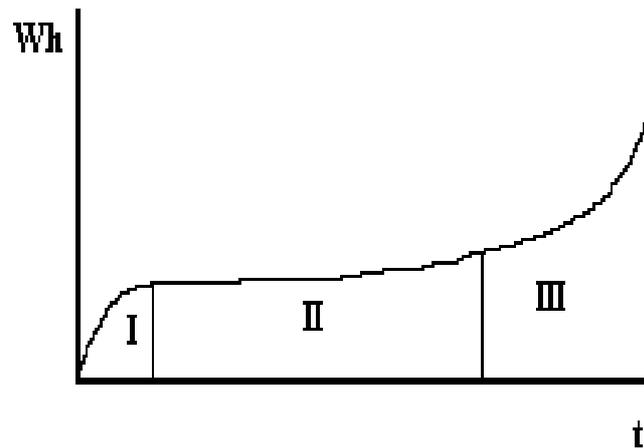
De la gráfica se observa que el desgaste se incrementa al inicio del ensayo debido al pulimento de las rugosidades alcanzando su máximo al realizar el ensayo en un tiempo aproximado de 50min y luego paulatinamente descienden la intensidad al incrementar el tiempo de ensayo hasta los 100min mientras que con un incremento de tiempo 200min la intensidad de desgaste permanece casi constante esto se debe a que el área real de contacto se encuentra menos números de micro y macro rugosidades.

La grafica coincide con lo planteado en la teoría sobre la dinámica del desgaste.

El desgaste es un proceso complejo que se produce en las superficies de los cuerpos sólidos debido a la fricción de otro cuerpo o medio; trayendo por consecuencia la variación de la macro y microgeometría superficial; de la estructura; y de las propiedades de las capas superficiales; con o sin pérdida de material.

La ley que define la variación de la magnitud del desgaste con el tiempo se denomina "dinámica del desgaste". El modelo más tradicional de la dinámica del desgaste se da a continuación.

Figura 27: Dinámica de desgaste



Fuente: Fricción, Desgaste y Lubricación (Desgaste de los cuerpos sólidos)  
Álvarez García Emilio

### **Periodo de Asentamiento [I]**

Se caracteriza por una alta velocidad e intensidad del desgaste. La magnitud del desgaste en este periodo puede llegar al 30 - 50 % del desgaste permisible. Durante este periodo el contacto se produce en los picos más altos de la rugosidad superficial generando altas presiones y deformaciones; con el transcurso del tiempo aumenta  $A_n$  y la velocidad del desgaste se hace menor.

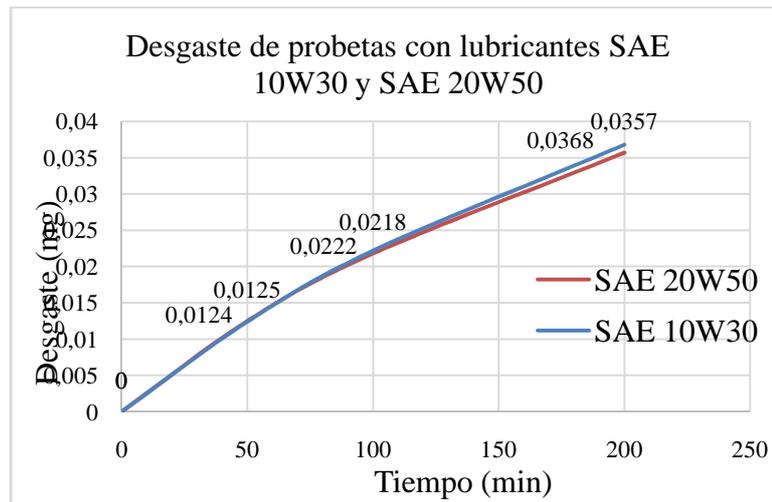
### **Periodo de desgaste normal [II]**

Producto de la disminución de las presiones reales, al existir una mayor área de contacto real; la velocidad del desgaste se hace constante y el desgaste sigue aumentando con un ritmo más lento.

### **Periodo de desgaste catastrófico [III]**

La magnitud del desgaste es tal que se genera en la unión tribológica cargas dinámicas complementarias; lo que representa aumento de la temperatura; del nivel de ruido; y de las vibraciones; este periodo se conoce como "periodo de avería"

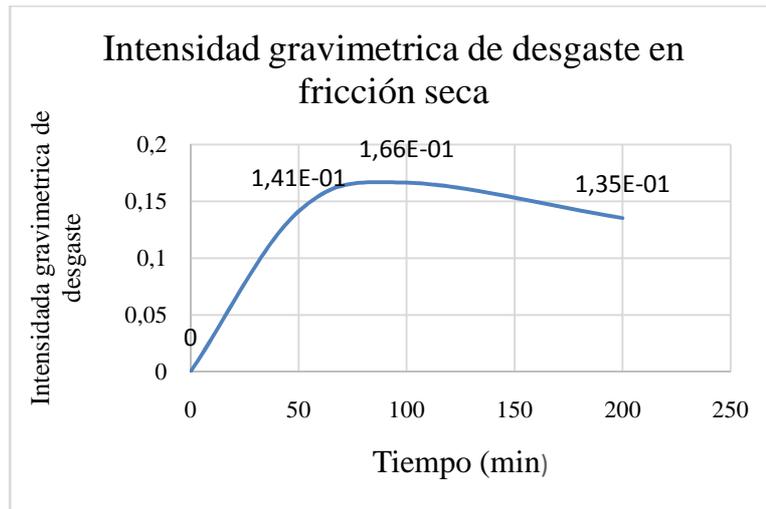
Figura 28: Desgaste



Fuente: Autores

De la gráfica se observa que al inicio del ensayo la pérdida del material en masa es similar para los dos tipos de lubricantes que se está estudiando sin embargo al rebasar los 60 min se observa una pequeña diferencia de lubricante 10w30 sin embargo al pasar aproximadamente por los 120min de ensayo comienza la razón de desgaste a ser mayor que para el caso 20 W50 en términos de estudio se plantea que el 10 W- 30 debería tener una mayor frecuencia de cambio.

Figura 29: Intensidad gravimétrica de desgaste en fricción seca



Fuente: Autores

Para el caso de la gráfica con desgaste en seco se observa que existe ausencia de la pendiente al incrementar el tiempo lo cual se explica que prácticamente la membrana protectora se desgasta.

## 5.5 Mantenimiento del tribómetro de cilindros cruzados

Mantenimiento preventivo planificado es un procedimiento periódico para minimizar el riesgo de fallo y asegurar la continua operación de los equipos, logrando de esta manera extender su vida útil.

Una función básica o de primera instancia de un sistema de mantenimiento implementado en una planta industrial es evitar las paradas fortuitas de esta. Dentro de un sistema de mantenimiento se tiene diferentes tipos cuyas funciones son más específicas, pero al final todo converge hacia un mismo fin, un desempeño óptimo de todas las instalaciones.

El sistema de mantenimiento debe ser planificado o estructurado de acuerdo a las características de los equipos existentes y con un manejo responsable los resultados, no solo serán apreciables en el área técnica sino que también en el correcto desempeño de quien lo esté manipulando.

### 5.5.1 Parámetros del mantenimiento preventivo planificado

Dentro del mantenimiento preventivo planificado se considera 4 aspectos selectivos y 7 parámetros directivos para la categorización de la maquinaria o equipos.

#### 5.5.1.1 Aspectos selectivos

##### 1. Intercambiabilidad. Propiedad de ser sustituida por otra

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICA
A	Irreemplazable
B	Reemplazable
C	Intercambiable

##### 2. Importancia productiva

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Imprescindible, su parada afecta a más del 50% de la producción.
B	Limitante, su parada afecta entre el 10% y el 50% de la producción
C	Convencional, su parada afecta menos del 10% de la producción.

##### 3. Régimen de operación: Forma de participación en el proceso productivo.

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Trabaja en un proceso continuo
B	Trabaja en un proceso seriado
C	Trabaja en un proceso alternado.

##### 4. Niveles de utilización

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Muy utilizada
B	Media utilización
C	Poca utilización

### 5.5.1.2 Parámetros directivos

1. *Parámetro principal de la máquina:* Se considera la precisión.

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Alta
B	Media
C	Baja

2. *Mantenibilidad:* Facilidad para darle mantenimiento.

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Máquina de alta complejidad
B	Máquina de media complejidad
C	Máquina de simple complejidad

3. *Conservabilidad:* Facilidad de permanecer en conservación.

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Máquina con condiciones especiales
B	Máquina protegida
C	Máquina normal en condiciones severas

4. *Automatizaciones:*

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Automática (robot computadora)
B	Semiautomática
C	Máquina totalmente mecánica.

5. *Valores de la máquina:* Comparadas con el parque que se posee.

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICA
-----------	----------------

A	Alto valor
B	Medio valor
C	Bajo valor

**6. *Facilidad de aprovisionamiento:***

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Mala
B	Regular
C	Buena

**7. *Seguridad operacional:*** Seguridad que el equipo ofrece al entorno.

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Máquina peligrosa
B	Máquina con peligrosidad media
C	Máquina poco peligrosa

**5.5.2 *Política de mantenimiento acorde con la categoría del equipo o máquina:***

**I. PARA LA CATEGORÍA A**

Lograr la máxima disponibilidad de la maquinaria o equipos, para lo cual se recomienda realizar lo siguiente:

1. Mantenimiento predictivo: gran utilización de técnicas de ultrasonido, vibraciones, análisis de aceites, termografía, etc., sin escatimar costos.
2. Mantenimiento preventivo: emplear un sistema de mantenimiento preventivo planificado.
3. Mantenimiento correctivo: en el caso de reparaciones imprevistas.

## II. PARA LA CATEGORÍA B

Reducir los costos de mantenimiento sin que ello perjudique la disponibilidad de la maquinaria o equipos, para lo cual se recomienda realizar lo siguiente:

1. Mantenimiento predictivo: usarlo solamente en caso necesario.
2. Mantenimiento preventivo: emplear un sistema de mantenimiento preventivo planificado.
3. Mantenimiento correctivo: en el caso de reparaciones imprevistas.

## III. PARA LA CATEGORÍA C

Disminuir los costos de mantenimiento a lo mejor posible, para lo cual se recomienda realizar lo siguiente:

1. Mantenimiento predictivo: casi cero.
2. Mantenimiento preventivo: emplear un sistema de mantenimiento preventivo planificado.
3. Mantenimiento correctivo: en el caso de reparaciones imprevistas.

**5.5.3** *Estado técnico o condiciones actuales de la maquinaria o equipos:* Es muy importante en el mantenimiento preventivo planificado conocer el estado técnico o condiciones actuales de la maquinaria o equipos, para poder determinar las condiciones técnicas y funcionales en las que se encuentran.

Puede ser determinado a través de:

1. Una revisión técnica de la maquinaria o equipos.
2. Un inventario físico, en base al cual podemos establecer con qué maquinaria o equipo.

3. Un registro permanente de su estado o condiciones generales, lo cual debería llevarse a manera de historial.

**5.5.4** *Capacidad de carga con la cual son sometidos a trabajar los equipos:* Se obtiene a través de los operadores de los equipos; son ellos quienes hacen trabajar éstas a diferentes capacidades, tales como:

1. Baja carga
2. Media carga
3. Plena carga
4. En sobrecarga

**5.5.5** *Decisiones acerca de la futura eliminación de los equipos:* En la planificación a largo plazo se deberá prever la fecha en la que se decida dar de baja una determinada máquina o equipo a fin de no tomarla en cuenta después de esta fecha. Con esto se evitaría una planificación inútil de mantenimiento con respecto al equipo en cuestión.

**5.5.6** *Decisiones acerca del armado de nuevos equipos:* Cuando se va al eliminar una máquina o equipo de una empresa ya sea porque ha cumplido su ciclo de vida o por obsolescencia, se deberá inmediatamente pensar en la adquisición de una nueva máquina o equipo que substituya a aquella que se va a descartar y de una manera general, se tratará de escoger equipo de moderna tecnología y posiblemente de una mayor capacidad de producción.

**5.5.7** *Decisiones acerca de la reconstrucción de los equipos existentes:* En este sentido se deberá analizar aspectos netamente económicos a fin de decidir si resulta más barato reconstruir la maquinaria existente en vez de adquirir otras maquinarias.

**5.5.8** *Demanda futura de utilización de los equipos:* En la industria está sujeta a las políticas que tenga proyectada la empresa principalmente en lo concerniente a su producción.

Al respecto esto tendría que analizarse en el sentido de que la maquinaria existente se la vaya a hacer trabajar a plena carga o con sobrecarga o en el sentido de adquirir nueva maquinaria para ampliar la producción.

En cualquiera de estos casos, esta información es de vital importancia para la planificación del mantenimiento que tendría que hacer el departamento de mantenimiento.

Se considerar lo siguiente:

1. Analizar las estadísticas de producción y mantenimiento
2. Hacer un análisis sobre su política de inversiones
3. Analizar las futuras políticas de mantenimiento y las limitaciones de su departamento en cuanto a su capacidad en recursos humanos y materiales

**5.5.9** *Importancia de la maquinaria o equipos dentro del proceso productivo:* En la planificación del mantenimiento es importante considerar la influencia que tiene la maquinaria o equipos dentro del proceso productivo en este caso depende del periodo de funcionamiento del tribómetro.

**5.5.10** *Banco de tareas a realizarse en los equipos:* Al planificar el mantenimiento es muy importante conocer detalladamente el banco de tareas que se deberá realizar en la maquinaria o equipos, así como los tiempos que se requieren para su ejecución respectiva.

La determinación de los tiempos de ejecución de cada una de las tareas se puede efectuar midiéndolos por cronometraje, por datos estadísticos que posea el historial del tribómetro o teniendo en cuenta el criterio.

**5.5.11** *Tiempo que se invertirá en la solución de reparaciones imprevistas:* Otro parámetro fundamental que se debe considerar al planificar el mantenimiento es el tiempo que se invertirá en la solución de reparaciones imprevistas, para lo cual se

acudirá a la información de carácter histórico, con el fin de conocer las averías imprevistas que se han producido en períodos anteriores.

El sistema de mantenimiento debe ser planificado o estructurado de acuerdo a las características de los equipos con un manejo responsable.

### 5.5.12 Parámetros del mantenimiento preventivo planificado

- Estado técnico o condiciones actuales de la maquinaria o equipos.
- Importancia de la maquinaria o equipos dentro del proceso productivo.
- Banco de tareas a realizarse en la maquinaria o equipos.
- Tiempo que se invertirá en la solución de reparaciones imprevistas.

Tabla 8: Ficha de datos técnicos y características del motor principal

<b>FICHA DE DATOS TÉCNICOS Y CARACTERÍSTICAS</b>	
<b>EQUIPO: Motor principal</b>	
Marca: Weg	Modelo: TEBFX!
País de origen: Brasil	Año de Fabricación: 2013
	Fase: 3
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Weg</li> <li>• Modelo: TEBFX!</li> </ul> Hz            60 Hp                1 Volt.            220V/380/460 Giri              1730 Amp.            3.08/1.78/1.54	

Fuente: Autores

Tabla 9. Estado técnico del motor principal

<b>Motor principal</b>	
Marca: WEG Modelo: TEBFX!	Responsable del mantenimiento: •Técnico encargado

Manuales: Si___ No__X__ Código:	Planos: Si___ No__X__ Código:	Repuestos: Si_X_ No__ Código:	
<b>ESTADO TÉCNICO:</b>  - Estado de la carcasa. - Estado de los acoples - Estado de conexiones. - Nivel de ruido y vibraciones.	Malo	Regular	Bueno
			X
			X
			X
		X	
Conclusión.	BUENO		

Fuente: Autores

Tabla 10. Categorización del motor principal

CATEGORIZACIÓN MOTOR PRINCIPAL		Categoría		
		A	B	C
<b>ASPECTOS SELECTIVOS</b>				
Intercambiabilidad	Irreemplazable			
	Reemplazable		X	
	Intercambiable			
Importancia productiva	Imprescindible; para = más 50% prod.			
	Limitante; para = 10%-50% prod.		X	
	Convencional; para = menos 10% prod.			
Régimen de operación	Trabaja en un proceso continuo	X		
	Trabaja en un proceso seriado			
	Trabaja en un proceso alternado			
Nivel de utilización	Muy utilizada	X		
	Media utilizada			
	Poca utilizada			
<b>PARÁMETROS DIRECTIVOS</b>				
Parámetro principal de la Máquinuina (presión)	Alta			
	Media		X	
	Baja			
Mantenibilidad	Máquina. Alta complejidad			
	Máquina. De media complejidad		X	
	Máquina. De simple complejidad			
Conservabilidad	Máquina.- condiciones especiales			
	Máquina.- protegida			
	Máquina.- normal en condiciones severas		X	
Automatización	Automática			

	Semiautomática		X	
	Máquina totalmente mecánica			
Valor de la máquina	Alto valor			
	Medio valor	X		
	Bajo valor			
Facilidad de aprovisionamiento	Mala			
	Regular			
	Buena			X
Seguridad operacional	Máquina. Peligrosa			
	Máquina. Con peligrosidad media			
	Máquina. Poco peligrosa		X	
<b>Total: 3</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

Fuente: Autores

### Política de mantenimiento acorde a la categorización del sistema

La política de mantenimiento se establece de acuerdo a la categorización de los equipos determinados por los aspectos selectivos y parámetros directivos.

#### Categoría: B

La política de mantenimiento más adecuada para un equipo de categoría B está basada en la disminución de costos de mantenimiento a lo mejor posible.

- **Mantenimiento preventivo:** Emplear (realizar) un mantenimiento preventivo planificado.
- **Mantenimiento correctivo:** Principalmente en el caso reparaciones imprevistas.

Tabla 11. Ficha de datos técnicos y características del VFD

<b>FICHA DE DATOS TÉCNICOS Y CARACTERÍSTICAS</b>	
<b>EQUIPO:VDF</b>	
Marca: DELTA	Modelo: VFD007E23A
INPUT: 3HP/220/2240V	Año de Fabricación: 2013
Versión: 01.16/ 02.16	Fase: 2

CARACTERÍSTICAS GENERALES:	
• Marca:	DELTA
• Modelo:	VFD007E23A!
• Model:	VFD007E23A
• INPUT:	3HP 200/240V
• Hz:	50/60
• I:	5.1 A
• OUTP:	3HP 0/240V
• I:	4.2 A 1.6 kVA
•	0.75 kW/1HD
• Servozio:	continuo
• T°:	40°C

Fuente: Autores

Tabla 12: Estado técnico del VFD

VFD			
Marca: DELTA	Responsable del mantenimiento:		
Modelo: VFD007E23A	Técnico encargado:		
Manuales: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Planos: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Repuestos: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
<b>ESTADO TÉCNICO:</b>	Malo	Regular	Bueno
- Estado de la carcasa.			X
- Estado de conexiones.			X
- Consumo de energía.			X
- Nivel de ruido y vibraciones.		X	X
Conclusión.	BUENO		

Fuente: Autores

Tabla 13. Categorización del VFD

CATEGORIZACIÓN DEL VFD		Categoría		
		A	B	C
<b>ASPECTOS SELECTIVOS</b>				
Intercambiabilidad	Irreemplazable			

	Reemplazable		X	
	Intercambiable			
Importancia productiva	Imprescindible; para = más 50% prod.			
	Limitante; para = 10%-50% prod.		X	
	Convencional; para = menos 10% prod.			
Régimen de operación	Trabaja en un proceso continuo	X		
	Trabaja en un proceso seriado			
	Trabaja en un proceso alternado			
Nivel de utilización	Muy utilizada	X		
	Media utilizada			
	Poca utilizada			
<b>PARÁMETROS DIRECTIVOS</b>				
Parámetro principal de la máquina (presión)	Alta			
	Media		X	
	Baja			
Mantenibilidad	Máquina. Alta complejidad			
	Máquina. De media complejidad		X	
	Máquina. De simple complejidad			
Conservabilidad	Máquina.- condiciones especiales			
	Máquina.- protegida		X	

Continuación Tabla 12

Automatización	Automática			
	Semiautomática		X	
	Máquina totalmente mecánica			
Valor de la máquina	Alto valor			
	Medio valor	X		
	Bajo valor			
Facilidad de aprovisionamiento	Mala			
	Regular			
	Buena			X
Seguridad operacional	Máquina. Peligrosa			
	Máquina. Con peligrosidad media			
	Máquina. Poco peligrosa		X	
<b>Total</b>		<b>3</b>	<b>7</b>	<b>1</b>

Fuente: Autores

### Política de mantenimiento acorde a la categorización del sistema

La política de mantenimiento se establece de acuerdo a la categorización de los equipos determinados por los aspectos selectivos y parámetros directivos.

En esta categoría debemos realizar los siguientes mantenimientos de acuerdo a su grado de clasificación:

**Categoría: B**

La política de mantenimiento más adecuada para un equipo de categoría B está basada en la disminución de costos de mantenimiento a lo mejor posible.

- **Mantenimiento preventivo:** Emplear (realizar) un mantenimiento preventivo planificado.
  
- **Mantenimiento correctivo:** Principalmente en el caso reparaciones imprevistas.

Tabla 14. Ficha de datos técnicos y características del transformador

<b>°FICHA DE DATOS TÉCNICOS Y CARACTERÍSTICAS</b>	
<b>EQUIPO:</b> Transformador	
Marca: AC-CONVERT	Año de Fabricación: 2013
Fase: 2	
CARACTERÍSTICAS GENERALES: AC- CONVERTTc-1000 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 110 V a 220 V</li> <li>• 50 Hz – 60 Hz</li> <li>• Max. 1000W</li> </ul>	

Fuente: Autores

Tabla 15. Estado técnico del transformador

<b>Transformador</b>			
Marca: AC-CONVERT		Responsable del mantenimiento: •Técnico encargado	
Manuales: Si___ No_X___ Código:	Planos: Si___ No_X___ Código:	Repuestos: Si___ No_X___ Código:	
ESTADO TÉCNICO: Estado de la carcasa. Estado de conexiones. Consumo de energía. Nivel de ruido y vibraciones.	Malo	Regular  X	Bueno X X X
Conclusión.		BUENO	

Fuente: Autores

Tabla 16. Categorización del transformador

<b>CATEGORIZACIÓN DEL TRANSFORMADOR</b>		<b>Categoría</b>		
		A	B	C
<b>ASPECTOS SELECTIVOS</b>				
Intercambiabilidad	Irreemplazable			
	Reemplazable		X	
	Intercambiable			
Importancia productiva	Imprescindible; para = más 50% prod.			
	Limitante; para = 10%-50% prod.		X	
	Convencional; para = menos 10% prod.			
Régimen de operación	Trabaja en un proceso continuo	X		
	Trabaja en un proceso seriado			
	Trabaja en un proceso alternado			
Nivel de utilización	Muy utilizada	X		
	Media utilizada			
	Poca utilizada			
<b>PARÁMETROS DIRECTIVOS</b>				
Parámetro principal de la máquina (presión)	Alta			
	Media		X	
	Baja			
Mantenibilidad	Máquina. Alta complejidad			
	Máquina. De media complejidad		X	
	Máquina. De simple complejidad			
Conservabilidad	Máquina.- condiciones especiales			

	Máquina. - protegida			
	Máquina. - normal en condiciones severas		X	
Automatización	Automática			
	Semiautomática		X	
	Máquina totalmente mecánica			
Valor de la máquina	Alto valor			
	Medio valor	X		
	Bajo valor			
Facilidad de aprovisionamiento	Mala			
	Regular			
	Buena			X
Seguridad operacional	Máquina. Peligrosa			
	Máquina. Con peligrosidad media			
	Máquina. Poco peligrosa		X	
<b>Total: 3</b>			<b>7</b>	<b>1</b>

Fuente: Autores

### **Política de mantenimiento acorde a la categorización del sistema**

La política de mantenimiento se establece de acuerdo a la categorización de los equipos determinados por los aspectos selectivos y parámetros directivos.

### **Categoría: B**

#### **5.5.13 Banco de tareas del equipo tribómetro de cilindros cruzados**

Básicamente el banco de tareas se ha definido mediante el trabajo realizado y tomando en cuenta los puntos más importantes para mantener el buen estado de la máquina, la dependencia del buen mantenimiento es la constancia de buenos resultados.

Tabla 17: Banco de tareas

<b>SISTEMA MECÁNICO</b>	<b>Frec. (h)</b>	<b>Tiempo(h)</b>
• Inspección de los elementos que conforman la máquina.	C.ensayo	1
• Inspección y limpieza de las portaprobetas superior e inferior	C.ensayo	1
• Inspección del recipiente de lubricación.	C.ensayo	0.30

• Cambio de sellos del acoplamiento.	13000	1
• Cambio de rodamientos del motor.	13000	2
<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>		
• Inspección de los puntos de conexión del variador, motor y guardamotor.	Semanal	1
• Limpieza de la botonera.	C.ensayo	1
• Limpieza de todo el sistema eléctrico del tribómetro.	Semanal	2
<b>EN GENERAL</b>		
• Inspección eléctrica general.	Trimestral	1
• Limpieza general.	Mensual	2
<b>Total:</b>		<b>12,30</b>

Fuente: Autores

## 5.6 Costos del proyecto

En la siguiente tabla se detalla los costos de los materiales y equipos utilizados en el montaje e instalación del tribómetro de configuración de cilindros cruzados los cuales están justificados con facturas las mismas que constan en los anexos.

Tabla 18: Costos

CANT	DETALLE	C. UNIT.	Tol. FACTURA
1	Motor eléctrico WEG de 1Hp 3ph-4P	275,99	275,00
1	Variador de frecuencia 1Hp (VFD)	125,80	125,00
1	Mesa de madera (1m x 60cm)	100,00	100,00
1	Guardamotor Siemens 3.5 <sup>a</sup>	85,72	85,72
42	Construcción de probetas	4,00	168,00
1	Base de puntas móviles	80,00	80,00
1	Choque de 13mm	13,00	13,00
12	Pernos G8. 1/2x6 UNC	1,38	18,55
3,12	Metros 705 diám. 20	48,00	48,00
2	Cara acople L075, ¼",acoples CHALLENGE	6,97	13,94
1	Caucho de acople L075, ¼",CHALLENGE	7,50	7,50
2	Spray plateado	3,00	6,00
1	Pesa	10,50	10,50
2	Cambio de rodamientos	2,00	2,00
1	Bomba JAD	15,00	15,00
1	Metro de manguera	0,60	0,60
3	Metro conductor gemelo #12	1,50	4,50
1	Enchufe cooper	2,00	2,00

1	Destornillador	0,80	0,80
1	Plancha de 6kg	1,50	9,00
1	Base de la contraprobeta	80,00	80,00
2	Botonera SBPSTA de fuerza on/off	4,30	8,60
4	Conductor concéntrico # 12 cablec	2,66	10,64
1	Litro de aceite 10w30 Mobil	5,36	5,36
1	Cinta aislante	1,00	1,00
2	Rodamientos 6205 3C/2Z	9,00	18,00
1	Transformador elevador 110V-220V	63,00	63,00
1	Rachitn 3/8"	10,40	10,40
1	Dado 13mm	1,95	1,95
1	Dado 14mm	1,95	1,95
1	Dado 19mm	2,00	2,00
		<b>Total 1</b>	1188,36
<b>GASTOS VARIOS</b>			
Transporte y Comunicación			\$ 200,00
Investigación Consultas e Internet			\$ 100,00
Transcripción e Impresiones			\$ 130,00
Otros			\$ 110,00
<b>SUBTOTAL 1</b>			1188,36
<b>SUBTOTAL 2</b>			\$ 540,00
<b>TOTAL GENERAL</b>			<b>\$ 1728,36</b>

Fuente: Autores

## 5.7 Financiamiento

El financiamiento se lo realizó de forma personal cabe recalcar que los valores mostrados son reales.

El costo total del Proyecto asciende a la cantidad de \$ \$ 1.728,36 dólares americanos el mismo que se donará a la institución “ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO” para la Facultad de Mecánica en el laboratorio de ensayos. Para que la “ESCUELA DE INGENIERIA DE MANTENIMIENTO” ayude a mejorar la enseñanza tanto teórica como práctica para un buen desarrollo de los estudiantes que forma la institución para la sociedad.

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

La metodología propuesta permitió obtener datos referentes a materiales ensayados bajo un sistema de cilindros cruzados.

En base a los resultados obtenidos el acero AISI 1045 exhibió un mejor comportamiento tribológico cuando está cubierto con el lubricante SAE 20W50.

Mediante el estudio tribológico se determinó una variedad de normas y diseños de máquinas tribológicas desarrolladas para distintos fines.

Una buena planificación permitió seleccionar los elementos necesarios para ensamblar el tribómetro de cilindros cruzados.

Mediante los ensayos realizados de fricción del acero AISI 1045 con presencia del lubricante SAE 10 W 30, se determinó que el lubricante tiende a perder su función a un tiempo determinado produciendo así un desgaste del acero.

La presencia del lubricante SAE 20 W- 50 en el ensayo determinó su eficiencia de trabajo en los ejes. La pendiente de desgaste se mantiene estable con relación a la del SAE 10 W 30.

La intensidad de desgaste en las probetas del acero AISI 1045 con presencia de los dos lubricantes permaneció casi constante debido al área de contacto, y en condición seca sin presencia de lubricante la película protectora del acero se deteriora a medida que pasa el tiempo y avanza el recorrido siendo directamente proporcional al desgaste por fricción periódico de la probeta.

## **6.2 Recomendaciones**

Tener en cuenta antes de realizar cualquier tipo de ensayo verificar el funcionamiento del equipo para descartar ensayos defectuosos en cuanto a la lubricación y aplicación del peso.

Identificar las probetas fijas y móviles para realizar las curvas de desgaste para así tener una idea clara de que lubricante utilizaría cuando va a diseñar ejes y otros elementos de máquinas.

Asegurar que el banco de tareas quede en un lugar visible y legible con el fin de cumplir con los pasos que se indican para la manipulación de la máquina y así evitar cualquier daño material o humano que se puede presentar por desconocimiento.

Utilizar herramientas, equipos y materiales necesarios para ejecutar las tareas adecuadas, es importante que el sistema o plan de mantenimiento se vaya modificando de acuerdo a las necesidades y utilización del tribómetro de cilindros cruzados.

Automatizar el tribómetro permitirá obtener más temas de estudio e investigación que ayude a la mejora del conocimiento y por ende la mejora del equipo.

Realizar un estudio de viscosidad de tal modo que interactuando con un sensor prevenga o corte el paso de corriente en ausencia de lubricante.

## BIBLIOGRAFÍA

- AENOR.** *Manual de normas UNE Ensayos y pruebas.* Valencia : s.n., 2013.
- ASTM, Internacional.** *Norma ASTM G 83-96 Standar test method for wear testing with a crossed-cylinder apparatus.* USA : s.n., 1996. págs. 18-29.
- BARRAL, René y Cruz, Pedro.** *Prototipo de tribómetro anillo sobre bloque para obtención de curvas de fricción.* México : s.n., 2014.
- BAUTISTA, Santiago.** *Diseño de una máquina tribológica de configuración geométrica de cilindros cruzados para análisis de desgaste por deslizamiento.* México : s.n., 2005. págs. 23-30.
- BRUSHAN, Bharat. Grupta. B.K.** *Principles and applications of tribology.* USA : Jhon Wiley y sons. Inc, 1999.
- CHICHINADZE A. V., Berliner A.V., Berliner E.M., Braun E.D. y otros.** *Fricción, desgaste y lubricación (tribología y tribotécnica).* [ed.] Mashinoestraenie. Moscú : s.n., 2003. pág. 576.
- DELTA, Electronics INC.** *Manual de usuario delta electronics .INC. VFD007E23A.* 2007. págs. 18-120.
- GARCÍA, J, y otros.** *Diseño y construcción de una máquina para ensayos de desgaste tipo espiga sobre disco.* El Salvador : s.n., 2003. pág. 43.
- HERNÁNDEZ, Luis.** *Estudio del fenómeno de desgaste adhesivo mediante la proposición de una máquina tribológica de configuración perno sobre disco.* Medellín : s.n., 2011. pág. 38.
- HIGUERA, O, C, Moreno y Montes C.** *Efecto del precalentamiento y la severidad del acero austenítico al manganeso.* 2009. pág. 10.
- HIGUERA, O, Gutiérrez, M y Moreno, C.** *Evaluación de la resistencia al desgaste adhesivo del acero austenítico al manganeso a ciclos térmicos.* Pereira : Redalyc, 2010. pág. 14.
- LÓPEZ, Andrés.** *Ensayos tribológicos.* Veracruz : s.n., 2010. págs. 15-26.

**LUIS, Héctor Hernández Gómez.** *Estudio del fenómeno de desgaste adhesivo mediante la proposición de una máquina tribológica de configuración perno sobre disco.* s.l. : SECURED, 2011. pág. 38.

**MARULANDA, José, Zapata, Alberto y Estrada , Carlos.***Construcción de una máquina para ensayo en desgaste abrasivo; segun normas técnica ASTM G-65.* Pereira : s.n., 2009. págs. 20-32.

**TRISTACHO, José, Higuera, Oscar y Flores, Luis.** *Evaluación del desgaste adhesivo del acero AISI -SAE 1020.* Pereira : s.n., 2007. pág. 1.

