



---

MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO  
DR. "ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ"  
FACULTAD METALURGIA Y ELECTROMECHANICA  
DEPARTAMENTO DE MECANICA

# TESIS EN OPCION AL TITULO DE INGENIERO MECANICO

*Título: Recuperación del sistema de transmisión del simulador de desgaste CMT 2070 - 1 del ISMMM*

*Autor: Oscar Del Pozo Dumónt*

*Tutor: M.Sc. Tomás Fernández Columbié  
M.Sc. Isnel Rodríguez González*

*Moa, 2010*

*"Año del 52 Aniversario del Triunfo de la Revolución"*



***Declaración de Autoridad:***

**Yo:** Oscar del Pozo Dumont

Autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Nuñez Jiménez, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

-----  
Oscar del Pozo Dumont

-----  
MSc. Tomás Fernández Columbié

-----  
MSc. Isnel Rodríguez González



## ***Dedicatoria***

***Quiero dedicar este trabajo a mis familiares.***

***A mis padres***

***Miguel Del Pozo Abat y Norma Dumónt  
Hernández.***

***A mis hijos, Yerandy Del Pozo Díaz, Roldis de  
la Cruz Delgado y Yilena Marian Del Pozo  
Delgado,  
que le sirva de ejemplo.***

***A mí querida y estimada esposa  
Yamina Delgado Pupo.***

***A mis amigos  
Orlando Lafargue y Arnoldo Cárcases***

***A nuestra revolución, por las posibilidades  
que me ofrece.***



## **Agradecimientos**

***A todos mis profesores por los conocimientos transmitidos durante el desempeño de mi carrera.***

***A mis tutores por confiar en mí en la realización de este trabajo, el MSc. Tomás Fernández Columbié y el MSc. Isnel Rodríguez González.***

***A mis familiares que me apoyaron en los momentos de mi vida en que más lo necesitaba.***

***A mis amigos que siempre creyeron en mí.***

***A los que de una forma u otra me apoyaron y ayudaron en la realización de este trabajo.***

***A la revolución, por darme la oportunidad de convertirme en profesional .***

***A todos***

***Muchas Gracias.***



## **Resumen**

Este trabajo tiene como objetivo realizar la recuperación del equipo simulador de desgaste CMT 2070 – 1, instalado en el laboratorio de Intercambiabilidad y mediciones técnicas del ISMMM, para ello se realizó el defectado de los componentes que integran el mismo, se sustituyeron los rodamientos, tanto el de la tapa delantera del motor como la trasera, para ello hubo que someter la tapa delantera a proceso de maquinado y encasquillado. El motor por encontrarse quemado hubo que restablecer el sistema de enrollado, el que fue protegido con barniz y luego secado en horno. Quedó establecido el sistema de cálculo para el movimiento de la transmisión, así como el sistema de mantenimiento.

## **Abstract**

This work has as objective to carry out the recovery of the team waste pretender CMT 2070 - 1, installed in the laboratory of Intercambiability and technical mensurations of the ISMMM, for she was carried out it the defect of the components that integrate the same one, the bearings they were substituted, so much that of the front cover of the motor like the rear one, for there was it to subject the front cover to process of having schemed and incase. The motor to be burnt had to re-establish the system of having wound, the one that was protected with varnish and then drying in oven. It was established the calculation system for the movement of the transmission, as well as the maintenance system.



**TABLA DE CONTENIDOS**

<b>SINTESIS</b>	<b>Pág</b>
<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
1.1. Introduccion.	4
1.2. Tribómetros para desgaste.	4
1.2.1. Niveles de simulación en las pruebas de desgaste.	6
1.3. Generalidades sobre el desgaste.	6
1.3.1. Desgaste de los metales durante el rozamiento.	8
1.3.2. Modo de acción de los distintos tipos de desgaste.	9
1.3.3. Comportamiento del desgaste.	10
1.3.4. Desgaste por abrasión.	10
1.4. Generalidades sobre la tribología.	10
1.4.1. Aplicaciones de la tribología.	11
1.4.2. Fundamentos de la Tribología.	12
1.5. Simuladores de desgaste.	12
1.5.1. Máquinas simuladoras de desgastes.	13
1.5.2. Simulador de desgaste de cilindros cruzados.	13
1.5.3. Simulador de desgaste de cilindros cruzados pin on disk.	14
1.5.4. Máquina tribológica para ensayos libre.	15
1.5.5. Máquinas para ensayos de desgaste abrasivo (Patente 200 267- URSS)	16
1.5.6. Máquinas para ensayos al desgaste (Patente 321 718 - URSS).	16
1.5.7. Objetivo del procedimiento.	17
1.6. Probetas para el ensayo y su preparación. Abrasivo y sus características.	17
1.6.1. Características de las probetas para el ensayo.	18
1.6.2. Acabado superficial de las muestras de ensayo.	18
1.7. Empleo de abrasivo en el ensayo de desgaste.	19
1.7.1. Precisión de los resultados de los ensayos de laboratorio.	19
1.7.2. Reproducibilidad del ensayo.	19
1.8. Clasificación de los motores de inducción.	20
1.8.1. Partes de un motor eléctrico.	21



1.8.2. Funcionamiento normal del motor de inducción (desde vacío hasta carga)	21
Conclusiones del Capítulo I.	22
<b>CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
2.1. Introducción.	23
2.2. Simulador de desgaste CMT 2070 - 1 ISMM.	23
2.2.1. Defectado del motor.	24
2.3. Desarme del equipo (herramientas y equipos empleados).	25
2.3.1. Llaves Allen y españolas.	25
2.3.2. Características del alambre.	25
2.3.3. Características del barniz de impregnación electroaislante.	25
2.3.4. Características del rodamiento rígido de bolas.	26
2.3.4. Horno de secado aerodinámico.	27
2.4. Arrollamiento del motor.	28
2.6. Transmisión del movimiento por poleas y correas.	29
2.6.1. Tensiones en la correa.	30
2.6.2 Velocidad periférica.	30
2.6.3. Cálculo de la potencia nominal transmisible.	30
2.6.4. Cálculo de las condiciones de carga.	31
2.7. Cálculo de los tiempos entre intervenciones de mantenimiento.	32
2.7.1. Cálculo de la cantidad de grasa para los rodamientos.	32
Conclusiones del capítulo II.	33
<b>CAPITULO III. ANALISIS DE LOS RESULTADOS</b>	
3.1. Introducción.	34
3.2. Caracterización de los elementos del motor.	34
3.3. Encasquillado de las tapas o escudos.	37
3.4. Arrollamiento del motor.	38
3.5. Horno de secado aerodinámico.	39
3.6. Diagrama de conexión del motor eléctrico.	39
3.6. Análisis de la transmisión del movimiento por poleas y correas.	39
3.6.1. Análisis de las condiciones de carga.	39
3.7. Mantenimiento de la transmisión del simulador.	39



3.7.1. Ciclo de reparación en la transmisión. . . . .	40
3.7.2. Cálculo de los tiempos entre reparaciones e intervenciones. . . . .	40
3.7.3. Cálculo de los tiempos entre reparaciones e intervenciones. . . . .	40
3.7.4. Reparación pequeña del simulador de desgaste. . . . .	40
3.7.5. Reparación mediana del simulador de desgaste. (Cada 12,5 días). . . . .	41
3.7.6. Reparación general del simulador de desgaste. (Cada 25 años).. . . . .	41
3.7. Valoración Económica. . . . .	42
3.8. Valoración del impacto medio ambiental. . . . .	43
Conclusiones del Capítulo III. . . . .	44
Conclusiones Generales	
Recomendaciones	
Bibliografía	





## INTRODUCCION

Aún hoy en día, expuesta la industria a un cambiante y cada vez más competitivo escenario económico, nos encontramos con la realidad de que valiosos recursos productivos no son utilizados eficientemente, debido a que el enemigo número uno de la industria, el desgaste, se ha encargado de retirarlos prematuramente de servicio.

El período especial, luego de provocar un deterioro de la economía nacional, a la vez obligó a la búsqueda de nuevas soluciones para enfrentar la continuidad de la economía del país. En la actualidad, se realizan grandes esfuerzos por reanimar de forma integral el equipamiento deteriorado por su largo período de explotación, cuestión esta a la que no está ajeno el ISMMM, donde se vienen aplicando alternativas de solución para reincorporar a la explotación algunos equipos de sus laboratorios. El ISMMM actualmente cuenta con varios equipos retirados de servicios, fundamentalmente en el departamento de mecánica.

A pesar de la gran variedad de factores que influyen en la situación planteada, tales como: tipo material, acabado superficial, régimen de explotación, se distingue por su significación en el alargamiento del período efectivo de trabajo de estos elementos, las propiedades mecánicas y tecnológicas que puedan desarrollar.

Existen diversos métodos, que se emplean para medir, cualitativamente y cuantitativamente, el desgaste. En el caso de que el desgaste sea muy grande, el método de cambio de volumen o masa es el más apropiado, sencillo y económico. Para este tipo de método se requiere de un equipo de peso muy versátil, sensitivo y preciso, con el cuál se pesan las muestras antes y después del proceso de desgaste. Además que se requiere que las superficies de los especímenes estén libres de toda impureza que contribuya al peso de la misma.

El desgaste es uno de los fenómenos más importantes para la industria en el ámbito mundial, debido a que se pierden miles de millones de dólares. El tiempo de vida útil y confiabilidad de muchos productos manufacturados están determinadas por su resistencia a la fricción y al desgaste, o sea, por las propiedades tribológicas del par o pares mecánicos en contacto y su movimiento relativo, por lo cual el sistema debe

ser diseñado de tal forma que se pueda obtener un alto rendimiento. Hoy en día, la tribología se reconoce como una fuente para economizar recursos financieros, materias primas y materiales energéticos, recomendándose la estimulación para las investigaciones en fricción, lubricación y desgaste. Es importante estudiar las condiciones en que las superficies interactúan, este entorno es conocido como tribosistema, el cual incluye los triboelementos y los medios mecánicos, químicos y térmicos.

### **Situación problemática**

La instalación para ensayos de desgaste abrasivo de materiales (CMT 2070-1) ubicada en el laboratorio de metrología del ISMM permite realizar ensayos de desgaste en un medio abrasivo garantizando condiciones estables de fricción en el tiempo y permite aplicar sobre las probetas diferentes presiones o cargas, lo cual se logra por la introducción del medio abrasivo en una cámara hermetizada sometida a presión y dentro de ella gira un eje en cuyo extremo se colocan las diferentes probetas sobre las cuales actúa el medio abrasivo.

La máquina laboratorio, simulador de desgaste objeto de estudio se encuentra fuera de servicio hace largo tiempo, no se tiene de ella documentación que acredite como está estructurada la misma, así como catalogo de referencia que permita establecer su funcionamiento, características y modo de operación, además, el motor, encargado de permitir el movimiento está quemado el enrollado sus bobinas.

Estos equipos permiten realizar ensayos en diferentes condiciones de carga, de velocidad relativa y de la naturaleza del material del par friccionante, y los mismos disponen de una amplia variedad de instrumentos de medición y captadores que permiten medir y controlar los parámetros de explotación de dichos equipos destinados a la investigación de las propiedades químico-físicas de los materiales mediante ensayos de desgaste.

### **Problema**

No funcionamiento del simulador de desgaste CMT 2070-1 por estar fuera de servicio el motor que permite la transmisión del movimiento.

## **Hipótesis**

Realizando un análisis del mecanismo de la máquina simulador de desgaste CMT 2070 – 1, así como el recuperado de su enrollado, se podrá lograr el funcionamiento adecuado de la misma que permita realizar los ensayos de desgaste acorde con los parámetros establecidos.

## **Objeto de la investigación**

Máquina simulador de desgaste CMT 2070 - 1.

## **Objetivo**

Realizar la recuperación del sistema de transmisión del movimiento de la máquina simulador de desgaste CMT 2070 - 1.

## **Objetivos específicos**

- Realizar defectado de los componentes que integran la máquina simulador de desgaste.
- Establecer una relación de los componentes de la máquina, así como del enrollado de las bobinas del mismo.
- Realizar los cálculos para la definición de las relaciones de transmisión.
- Establecer un plan de MPP a los mecanismos componentes de la máquina, así como al motor eléctrico.

## **Tareas**

- Búsqueda bibliográfica y estado del arte.
- Determinación del estado técnico de los componentes del mecanismo de la máquina.
- Realización de los cálculos que definan la relación de transmisión del mecanismo de la máquina.
- Análisis de los resultados, valoración económica y análisis de la incidencia en el medio ambiente del equipo.

## **CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

### **1.1. INTRODUCCION**

Existe una gran variedad de instalaciones, máquinas y aparatos destinados a la investigación de las propiedades químico - físicas de los materiales, en particular para la realización de ensayos de desgaste. Sin embargo en la instalación el material abrasivo no es renovable en forma constante y no es factible la determinación de la fuerza de fricción actuante entre el medio friccionante y la superficie de las probetas.

La máquina para la investigación de materiales al desgaste abrasivo permite realizar ensayos de desgaste mediante el suministro de abrasivo suelto en forma de granos, el cual se alimenta entre un disco-probeta que rota y un soporte que acciona perpendicularmente sobre dicho disco comprimiendo el abrasivo que fluye constantemente contra el disco-probeta.

En el presente capítulo se establece como objetivo.

- Realizar un análisis de la bibliografía existente que permita definir el estado del arte en la temática abordada y sustentar los resultados alcanzados en la investigación.

### **1.2. Tribómetros para desgaste**

La Ingeniería Mecánica, ayuda al diseño y construcción de equipo que permite caracterizar materiales o simular las condiciones de desgaste o fricción. Esta disciplina, hace uso de las ventajas tribológicas, para ser aplicadas en el diseño y construcción de dispositivos mecánicos con la finalidad de seleccionar el material óptimo que tenga una vida útil predeterminada, así como proponer medios menos agresivos para los materiales.

Cuando se logra consolidar y utilizar todos estos conocimientos científicos en un fin específico, se puede estar seguro de que no solo se está desarrollando un par cinemática último, sino que también se impacta positivamente en el aspecto económico, donde es utilizado y el par al que pertenece. Lo anterior lo respalda el hecho de los países industrializados, que han tenido un ahorro económico considerable, del orden de 7 y 8% del PIB al aplicar adecuadamente sus conocimientos tribológicos. (Peña, 2002)

Carrillo, 2001 realizó un diseño y prototipo de un puente de carga para una máquina reciprocante de esfera sobre placa. Posteriormente Peña, (2002), caracterizó en forma mecánica y tribológica al aluminio 6061T651 base y con un recubrimiento de fosfato de cromo. Mientras Aguilar, (2002) desarrolló una máquina tribológica para realizar pruebas de desgaste abrasivo en un tribosistema acuoso. En febrero Gallardo, (2003) desarrolló una máquina de configuración perno sobre disco, para medir el desgaste adhesivo en condiciones seca y húmeda. En forma paralela, Márquez, (2003) presentó el diseño de una maquina de desgaste abrasivo severo. Herrera, (2003) en agosto del mismo, expuso el desarrollo de un prototipo para evaluar el desgaste por fatiga por contacto de rodadura. Finalmente en septiembre Luna, (2003) desarrolló un prototipo erosionador que emplea aire y partículas de carburo de Silicio.

En los países industrializados se han desarrollado una gran cantidad de equipos y de pruebas tribológicas, sin embargo, esta información no está dispuesta a la mano, resultando, además muy cara. Cabe mencionar que en algunos países se desconoce casi por completo la experimentación referente a la abrasión.

Asimismo, se han presentado varios trabajos en congresos nacionales e internacionales, Un precedente de suma importancia para este trabajo, fue el realizado por el Hindú Wirojanupatump, (1999), quien hizo pruebas de desgaste, donde compara el fenómeno de abrasión en condiciones seca y húmeda, en un acero de medio contenido de carbono. Donde el objetivo fundamental es determinar el comportamiento de este material cuando se varían los parámetros operaciones, tales como: carga, tamaño, forma y dureza del abrasivo.

Deuis et al., (1998) realiza una comparación entre el comportamiento del desgaste abrasivo en un medio ambiente seco y un húmedo, para recubrimientos sobre aluminio, observando que el desgaste en un ambiente húmedo es menor que en el seco, esto lo justifica debido a la generación de calor y consideraciones hidrodinámicas, así como a diferencias en la arena abrasiva.

### **1.2.1. Niveles de simulación en las pruebas de desgaste**

En forma general, se puede establecer que la simulación debe representar lo mejor posible los parámetros y condiciones de desgaste. Existen tres niveles de simulación, donde la complejidad depende de los requerimientos y propósitos de la prueba.

El primer nivel de simulación o fundamental, establece los sistemas naturales de desgaste, por ejemplo: donde se representa el contacto rodante, deslizante o de impacto; el desgaste en condiciones lubricadas o sin lubricar; la erosión por partículas o líquidos. Este tipo de pruebas, provee información general de los materiales existentes, o en desarrollo, lo que permite identificar sus tendencias y comportamientos. (Raymond, 1994).

Para el segundo nivel de simulación los valores de los parámetros son la clave para realizar las pruebas; por lo que es primordial identificar cuales son los más importantes y significantes en el sistema; así como su intensidad. Los parámetros a considerar son por ejemplo: carga, velocidad, esfuerzos y temperatura; entre otros.

El tercer nivel de simulación, es básicamente la réplica del sistema, donde todos los parámetros son similares o iguales; la única diferencia estriba en que la prueba se puede controlar y a la vez suministrar una serie de datos experimentales.

### **1.3. Generalidades sobre el desgaste**

Todavía en la literatura consultada no queda clara la relación entre la dureza del material y la resistencia a la erosión, aspecto que merece especial atención por la comunidad científica. (Berns, 1987; Finnie, 1989)

Un aspecto importante en el que debe profundizarse es que, producto del proceso de erosión, surgen en la superficie de algunos materiales, zonas deformadas plásticamente, los cuales pueden disipar energía de impacto y contrarrestar el proceso de erosión. Por otro lado, cuando un material se comporta como frágil, pese a su gran dureza, presenta alta razón de desgaste, lo que soporta la opinión de los autores en cuanto a la no exclusiva preponderancia del factor dureza en estos casos.

En otra importante investigación Zum – Gahr (Zum-Gahr, 1982), ha identificado la influencia de las propiedades del material en el desgaste abrasivo, tales como la dureza, el endurecimiento por deformación, la ductilidad, la anisotropía de los

cristales y la inestabilidad mecánica, al considerar, por ejemplo, que la resistencia a la deformación elástica/plástica determina el área de contacto entre la partícula abrasiva y el material.

En relación con el desgaste abrasivo Gatzanis (1993), en sus estudios sobre el empleo de diferentes aleaciones en equipos para la minería, ha investigado las propiedades de abrasión y corrosión del acero al cromo 9 %. Las mediciones de dureza en la superficie desgastada y en el resto del volumen del material no sobrepasaron una diferencia de 2-5 %, reflejo de la reducida habilidad de endurecimiento por deformación del material ensayado.

Los procesos de destrucción superficial de los elementos de máquinas bajo la influencia de acciones externas se pueden dividir en corrosión y desgaste. El desgaste (como acción) es un proceso de destrucción y separación del material de la superficie del cuerpo sólido y/o la acumulación de su deformación residual durante la fricción, que se pone de manifiesto en el cambio paulatino de las dimensiones y/o forma de dicho cuerpo. El desgaste (como efecto) es el resultado de la acción descrita y se determina en las unidades establecidas.

El desgaste es inevitable cuando dos superficies soportan deslizamiento o resbalamiento bajo la acción de carga (s). Además de los mecanismos y máquinas, existen en la vida común muchos ejemplos típicos donde se puede apreciar el desgaste.

Aunque el desgaste es una causa-efecto indeseable, al mismo tiempo resulta inevitable, imposible de eliminar, por lo que sólo se puede aspirar a reducirlo lo más posible en cada caso específico.

El desgaste de los metales y sus aleaciones constituye un problema de gran importancia para la ciencia y la actividad práctica del hombre. La cantidad total de investigaciones y de trabajos publicados, dedicados al problema de la fricción y el desgaste, en la actualidad, está en el orden de centenares de miles. Sin embargo, el estudio de estos fenómenos aún continúa siendo insuficiente: hoy por hoy no existe una definición concluyente sobre la esencia física de la fricción y el desgaste y de su

relación con las propiedades físicas y mecánicas de los pares acoplados bajo diferentes condiciones de fricción.

Tampoco existe una teoría general sobre la fricción y el desgaste, con la ayuda de la cual se pudiera explicar experimentalmente las leyes del desgaste y predecir el comportamiento de los diferentes metales y aleaciones en el caso de ser sometidos al desgaste al cambiar las condiciones de la fricción y de sus características mecánicas. Las teorías publicadas por los investigadores más relevantes de esta rama de la ciencia, resultan adecuadas sólo bajo determinadas condiciones de fricción y explican bien algunos fenómenos particulares, que no abarca el complejo de interrogantes existentes en torno a la fricción y el desgaste. (Alfonso, 2002)

### **1.3.1. Desgaste de los metales durante el rozamiento**

Un papel importante en el fenómeno del desgaste lo desempeñan los procesos de deformación elástica y plástica que tienen lugar en las capas activas de los cuerpos en contacto. La deformación plástica se localiza en los microvolúmenes de la capa superficial del metal, adyacentes a las manchas del contacto. En el transcurso del rozamiento las manchas del contacto continuamente se trasladan por la superficie de fricción, incorporando consecutivamente a toda ella al proceso de deformación; esto trae como consecuencia que en la superficie de fricción se logre una gran homogeneidad y un alto grado de deformación plástica, los cuales resultan prácticamente imposible lograr durante la deformación volumétrica. Se ha establecido que ciertos microvolúmenes del material en la zona de contacto se someten a la acción de tensiones multilaterales de compresión, lo que da la posibilidad de que pueda ocurrir la deformación plástica en fases tan frágiles como los carburos y la martensita.

La deformación plástica (proceso primario fundamental que condiciona la aparición del desgaste; que a su vez conlleva a la destrucción que es el proceso final) conduce a la formación en las capas superficiales de los cuerpos en contacto de una gran cantidad de defectos de la estructura cristalina (de defectos puntuales, dislocaciones, defectos de empaquetadura, maclajes y otros), a una fuerte fragmentación de los granos y a la formación de la textura (estructura fibrosa) del metal. Todo esto



condiciona un alto nivel de endurecimiento por deformación de las capas superficiales del metal, que generalmente se reduce bruscamente con el aumento de la distancia hasta la superficie de rozamiento.

### **1.3.2. Modo de acción de los distintos tipos de desgaste**

Como se conoce hay tres tipos de desgaste, los cuales no suelen presentarse de forma aislada, sino conjuntamente y aún en etapas sucesivas, dependiendo de las condiciones de trabajo a que esta sometida la pieza (Govantes, 1986). La acción conjunta de los distintos tipos de desgaste conduce a la destrucción del estado superficial del material o la pieza.

El desgaste metálico y abrasivo están caracterizados por el deslizamiento y arranque de la superficie metálica, la única diferencia radica en que uno ocurre entre metales y el otro con un abrasivo metálico o no metálico. Por lo que el modo de acción será análogo en los dos casos. (Martínez, 1981).

En el primer instante del funcionamiento, se caracteriza por la destrucción mecánica de las asperezas, que son despuntadas hasta un aumento de la superficie real de contacto y hay un reparto suficiente y regular de la carga. Este es el período más difícil del rodaje, debido a los efectos dinámicos de choque, entre las asperezas y los efectos térmicos de calentamiento microlocalizado. (Suárez, 1988). El gradiente térmico creado, da lugar a la dilatación diferencial de la pieza y como consecuencia a la creación de tensiones y además disminuye el límite elástico. Todo esto puede dar lugar a un período en el que el deterioro de la superficie puede llegar a ser elevado o mantenerse dentro de los límites captados en dependencia de la resistencia del metal a choques térmicos.

El desgaste se presenta cuando un material es removido por el efecto producido entre las superficies interactuantes de dos sólidos en contacto, sometidos a una carga, y en movimiento relativo, este movimiento puede ser en una o varias direcciones y deslizante o rodante.

En 1957 Burwell clasificó el desgaste en: corrosivo, adhesivo, abrasivo y por fatiga.

### **1.3.3. Comportamiento del desgaste**

El fenómeno del mecanismo de desgaste puede explicarse por la formación y posterior ruptura de uniones metálicas existentes entre dos superficies que están en contacto, ya que todas las superficies presentan algún grado de rugosidad. Como lo indica la acción del eje sobre el descanso de la figura foto del pasador. Así la fricción tiene una naturaleza molecular-mecánica que depende de las fuerzas de interacción molecular, de las propiedades mecánicas del material, de la deformación plástica y de la configuración geométrica de los elementos de contacto. (Escanaverino, 1986).

Verdeja (1996) plantea que el desprendimiento de material en un componente mecánico puede variar notablemente, de muy intenso a despreciable. En cualquier caso, ello puede significar una pérdida de eficiencia y la inutilidad completa del sistema. Es muy importante dejar establecida la necesidad de emplear la máxima rigurosidad en el Análisis y Diagnóstico de los mecanismos de desgaste.

### **1.3.4. Desgaste por abrasión**

Es el desgaste producido por partículas abrasivas que se deslizan sobre la superficie metálica produciendo desprendimiento de material, dislocaciones de cristales y ralladuras profundas. Este desgaste se pone de manifiesto en equipos agrícolas, de construcción y minería. También se observa en el equipamiento empleado en la preparación de las arenas de moldeo de fundición. En una estructura determinada la intensidad de desgaste por abrasión depende de la forma, dureza y tamaño de los granos y partículas abrasivas. (Govantes, 1989).

## **1.4. Generalidades sobre la tribología**

La Tribología es un termino usado a finales del siglo XX se deriva de la palabra griega tribos que significa "frotar o rozar". Hoy en día es un término usado universalmente para la ciencia que estudia la fricción, el desgaste y la lubricación de superficies en contacto. Para entender a la tribología se requiere de conocimientos de física, de química, y de la tecnología de materiales. Las tareas del especialista en tribología (tribólogo) son las de reducir la fricción y desgaste para conservar y reducir energía, lograr movimientos más rápidos y precisos, incrementar la productividad y reducir el mantenimiento.

**Tribología como Ciencia.** Antes del nacimiento de la tribología como ciencia se pensaba en el término "lubricación" o ingeniería de lubricación. No se había generalizado la disminución de la fricción y el desgaste como prácticas cotidianas. Con la Tribología como ciencia, se estudia el desgaste por fricción y sus efectos asociados como el desgaste, además trata de prevenirlos con mejores diseños y mejores prácticas de lubricación. Toma en cuenta entre otros aspectos de la maquinaria industrial: el diseño, los materiales de las superficies en contacto, el sistema de aplicación del lubricante, el medio circundante, condiciones de operación.

La tribología se define como:

- Ciencia y Técnica de las superficies en contacto y con movimientos relativos.
- Disciplina científico-técnica que permite la investigación y variación de los procesos que surgen en las superficies en contacto y con movimiento relativo.
- Ciencia y Técnica de la fricción; el desgaste (como resultado de la fricción) y la lubricación (método más simple para disminuir la fricción).

Según Vargas, la definición académica más aceptada es:

"La Ciencia y la Tecnología de la interacción de las superficies con movimientos relativos y las prácticas relativos a ellos"

#### **1.4.1. Aplicaciones de la tribología**

La tribología está presente prácticamente en todas las piezas en movimiento tales como:

- Rodamientos • Chumaceras • Sellos • Anillos de pistones • Embragues • Frenos
- Engranés • Levas

La tribología nos ayuda a resolver problemas en maquinaria y equipos y procesos industriales tales como:

- Motores eléctricos y de combustión (componentes y funcionamiento) (turbinas, compresores, extrusión, rolado, fundición, forja, procesos de corte (herramientas y fluidos), elementos de almacenamiento magnético, prótesis articulares (cuerpo humano)

#### 1.4.2. Fundamentos de la Tribología

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

- a) **Significado económico:** Cerca del 30% de la energía que se pierde en la industria mundial, se pierde en la fricción. Países como Inglaterra, Japón, y RFA pierden anualmente más de 2 mil millones de dólares como resultado del desgaste. Esto por si solo da una idea de la importancia de la tribología como disciplina.
- b) **Significado científico:** Es conocido que todos los procesos macroscópicos en la naturaleza son irreversibles. La tribología es necesaria para el estudio detallado de los procesos irreversibles de la Mecánica y contribuye a explicar los fenómenos de la pérdida de energía y materiales.
- c) **Significado interdisciplinario:** Como la tribología es una disciplina científico - técnica, para su estudio es necesario la concurrencia de físicos, químicos, metalúrgicos. Ingenieros y otros especialistas en diferentes ramas del saber.

#### 1.5. Simuladores de desgaste

La proyección, construcción y explotación de máquinas y equipos sin tener en consideración el carácter interdisciplinario de la tribología, lleva a la obtención de sistemas mecánicos caracterizados por considerables pérdidas de energía; alto consumo de materiales y materias primas; lo mismo a máquinas de baja eficiencia, productividad, durabilidad y fiabilidad.

En la actualidad los objetivos técnicos-económicos de la tribología son: ahorro de energía, ahorro de materiales y materias primas y explotación óptima de los sistemas tribológicos.

El agotamiento de las fuentes naturales de materias primas, las exigencias técnicas de las nuevas generaciones de máquinas y el conocimiento de que del 80 - 90 % de los elementos de máquinas que se sustituyen en las máquinas y equipos se debe prácticamente al desgaste, constituyen la motivación e importancia para el establecimiento de este objetivo.

Las vías fundamentales para dar cumplimiento al mismo son:

- Incremento de la resistencia al desgaste de los sistemas tribológicos.
- Uso de materias primas abundantes.
- Construcción de elementos de máquinas de poco peso.

### 1.5.1. Máquinas simuladoras de desgastes

Las propiedades friccionantes de los sistemas tribológicos se evalúan en instalaciones experimentales. Según el esquema cinemático las instalaciones experimentales se dividen en dos clases fundamentales:

- **Máquinas de fricción de revolución:** Instalaciones experimentales que presentan movimiento giratorio en un solo sentido.
- **Máquinas de fricción alternativa:** Instalaciones experimentales que realizan desplazamiento relativo alternativo.

Cada una de las clases anteriores se divide en dos grupos.

**Máquinas de fricción frontal:** Instalaciones que contactan por sus caras planas.

**Máquinas de fricción circunferencial:** Instalaciones experimentales en las cuales el contacto entre las probetas ocurre por superficies curvilineas.

### 1.5.2. Simulador de desgaste de cilindros cruzados

Este método de ensayo determina la resistencia al desgaste de los materiales cuando son sometidos a fricción contra otro de su misma especie. Los resultados obtenidos pueden ser utilizados en el diseño de piezas para la industria metalúrgica, automotriz, aeronáutica, petroquímica. La finalidad de este método de ensayo, es obtener datos de resistencia al desgaste y evaluar la compatibilidad de diferentes parejas de metales. Este ensayo es normalmente usado para determinar la resistencia al desgaste de materiales similares, sin embargo, este ensayo puede ser usado para evaluar la compatibilidad de diferentes materiales.

Cuando la probeta estática y la rotativa son del mismo material, los resultados del ensayo de desgaste, son reportados como el volumen total perdido, en mm<sup>3</sup>, por el cilindro rotatorio y el estático. El valor es obtenido por la adición del volumen perdido por el miembro en rotación al volumen perdido por el miembro estático. Materiales de alta resistencia al desgaste, tendrán poca pérdida de volumen. (ASTM G-83)

El desgaste adhesivo ocurre cuando existen dos superficies en contacto, seguido de la remoción del material hasta la ruptura de uno de ellos. En la figura 1.1, se puede observar un tribómetro de cilindros cruzados empleado en pruebas de ensayos de desgaste.

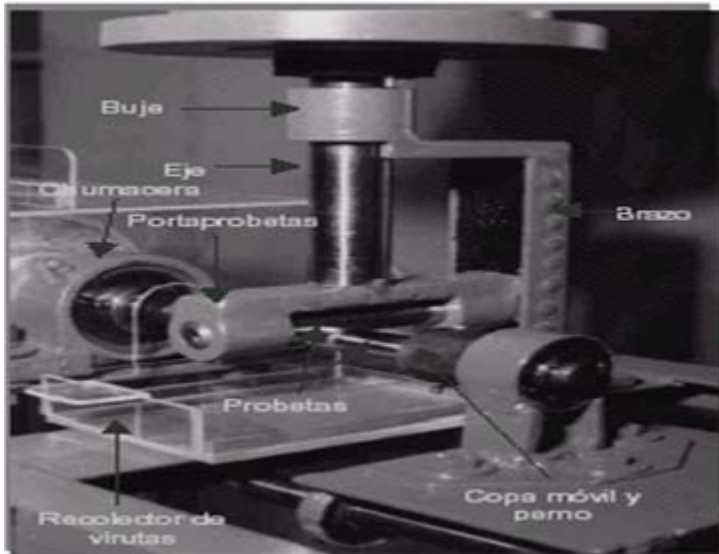


Figura 1.1. Tribómetro de cilindros cruzados (vista parcial).

### 1.5.3. Simulador de desgaste de cilindros cruzados pin on disk

Un método muy adecuado para determinar la resistencia al desgaste entre metales es el denominado pin – on – disk (Pin sobre disco).

Para la prueba de desgaste con el método pin on disk (como se puede observar en la figura 2.1) se necesitan dos probetas fabricadas con los materiales a ser estudiados. El primero es un pin cuyo tamaño es muy reducido, el cual es posicionado perpendicularmente a la otra pieza, la cual usualmente es un disco circular. La máquina de pruebas causa que el pin o el disco giren entre sí; como consecuencia de ello, se forma un camino de desgaste en el disco. El plano del disco puede ser orientado vertical u horizontalmente. Los resultados de desgaste pueden diferir según la orientación del disco.

La probeta en forma de pin se presiona sobre el disco a una carga específica, la cual se encuentra usualmente sujeta a un brazo posicionador con contrapesos. Otros métodos de carga que se han utilizado son hidráulicos o neumáticos. Los resultados de desgaste pueden diferir según el tipo de carga. Los reportes de desgaste se

realizan en términos de pérdida de volumen en milímetros cúbicos por el pin y el disco separadamente. Cuando dos materiales son probados, se recomienda que el ensayo sea realizado en ambas posiciones para ambos materiales (pin y disco).

La cantidad de desgaste mediante la medición apropiada del peso de las probetas antes y después del ensayo. La pérdida de masa por desgaste se puede convertir en pérdida de volumen mediante la utilización de adecuados valores de densidad.

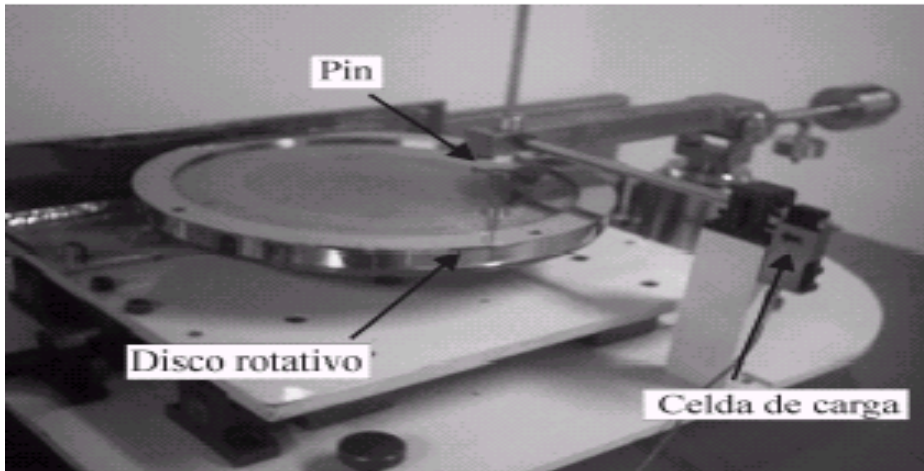


Figura 2.1. Detalle de la máquina de Pin – sobre – Disco.

#### 1.5.4. Máquina tribológica para ensayos libre

Existen diversos métodos que se emplean para medir, cualitativamente y cuantitativamente el desgaste. En el caso de que el desgaste sea muy grande, el método de cambio de volumen o masa es el más apropiado, sencillo y económico. Para este tipo de método se requiere de un equipo de peso muy versátil, sensitivo y preciso, con el cuál se pesan las muestras antes y después del proceso de desgaste. Además que se requiere que las superficies de los especímenes estén libres de toda impureza que contribuya al peso de la misma.

El simulador de materiales al desgaste abrasivo libre (Patente 402 782-URSS), mostrado en la figura 3.1, permite realizar ensayos de desgaste mediante el suministro continuo de abrasivo suelto en forma de granos, el cual se alimenta entre un disco-probeta que rota y un soporte que acciona perpendicularmente sobre dicho disco, comprimiendo el abrasivo que fluye constantemente contra el disco - probeta.

El abrasivo se suministra por medio de un embudo y cae por gravedad. Este equipo, renueva constantemente el medio friccionante, el funcionamiento del mismo está provisto para sustancias abrasivas en forma de granos sueltos. Por otro lado, dicho equipo tampoco permite determinar la fuerza de fricción del par friccionante.

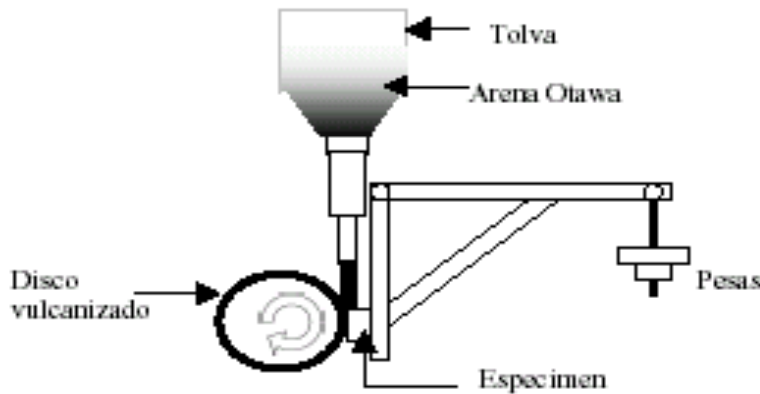


Figura 3.1. Máquina tribológica para el desgaste abrasivo libre.

#### 1.5.5. Máquinas para ensayos de desgaste abrasivo (Patente 200 267- URSS)

La instalación para ensayos de desgaste abrasivo de materiales de construcción (Patente 200 267- URSS) permite realizar ensayos de desgaste en un medio abrasivo garantizando condiciones estables de fricción en el tiempo y permite aplicar sobre las probetas diferentes presiones o cargas, lo cual se logra por la introducción del medio abrasivo en una cámara hermetizada sometida a presión neumática y dentro de ella gira un eje en cuyo extremo se colocan las diferentes probetas sobre las cuales actúa el medio abrasivo. La instalación en cuestión permite una alta uniformidad de la carga debido a que la presión neumática se distribuye uniformemente sobre las probetas. Sin embargo en la instalación el material abrasivo no es renovable en forma constante y no es factible la determinación de la fuerza de fricción actuante entre el medio friccionante y la superficie de las probetas.

#### 1.5.6. Máquinas para ensayos al desgaste (Patente 321 718 - URSS)

La instalación para ensayos de resistencia al desgaste de materiales en un medio abrasivo (Patente 321 718 - URSS) se emplea para realizar ensayos al desgaste de diferentes materiales con relación a áridos abrasivos (arenas, polvos abrasivos).

El material abrasivo se alimenta contra la probeta mediante un pistón que actúa dentro de un cilindro en forma vertical y en la parte inferior del mismo se dispone la



probeta en forma de placa la cual va montada en una platina que se acciona alternativamente en dirección horizontal mediante un mecanismo de biela-manivelas.

La cantidad de material abrasivo a emplear en los ensayos es limitada pues depende de la cantidad que admite el volumen del cilindro cuando el pistón está en su posición más alta. La instalación difiere de otros equipos similares en el hecho de que puede variar la cantidad de abrasivo que circula en la superficie de la probeta por medio de la variación de la holgura o espacio de salida del abrasivo existente entre el extremo del cilindro y la superficie de la probeta por medio de un casquillo de regulación en la parte inferior de dicho cilindro.

Dicho equipo está previsto para emplear en calidad de material friccionante, áridos en general, o sea, abrasivos en forma de granos sueltos. Además esta instalación no permite determinar la fuerza de fricción entre el abrasivo y la superficie de las probetas. Por otro lado, como la cantidad de abrasivo admitida en el cilindro es limitada, esta condición no permite realizar ensayos de desgaste en forma continua.

#### **1.5.7. Objetivo del procedimiento**

Estos métodos de ensayos cubren un procedimiento de laboratorio para determinar la resistencia al desgaste de un material mediante el movimiento relativo entre una tela abrasiva, papel, o película plástica y un cilindro tipo PIN elaborado del material a ensayar.

Los factores principales y condiciones que requieren la atención al usar este tipo de aparato y las correspondientes mediciones. Los valores declarados en las unidades del SI serán considerados como los normalizados.

Este procedimiento no pretende dirigir (establecer) toda la seguridad que involucra, para cualquiera que este asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de este procedimiento el establecer la seguridad y protección práctica requerida y determinar la pertinente prioridad de las limitaciones reguladas para su uso.

#### **1.6. Probetas para el ensayo y su preparación. Abrasivo y sus características**

El procedimiento de ensayo puede aplicarse para evaluar la resistencia al desgaste de cualquier tipo de material. El único requisito es que se puedan preparar probetas

que tengan las dimensiones que exige el procedimiento de ensayo y que ellos resistan las tensiones impuestas durante el ensayo sin que tenga lugar la rotura. Este procedimiento de ensayo no se considera para un material que sea inadecuado en una aplicación de elevada resistencia al desgaste.

Durante la calibración y puesta a punto de la instalación experimental se deben emplear aceros al carbono de elevada Dureza, debido a que los mismos poseen una adecuada variabilidad de la abrasión, y la misma es adecuadamente corregible. Se recomiendan por consiguiente específicamente para ese propósito. El procedimiento permite el empleo de cualquier otro material pero el mismo debe ser caracterizado totalmente y sus resultados deben ser descritos en el correspondiente informe.

#### **1.6.1. Características de las probetas para el ensayo**

Las muestras presentan una forma cilíndrica de un diámetro de 30 mm y una longitud 7 mm. El presente procedimiento permite para el caso del estudio del desgaste en finas capas superficiales el empleo de probetas de sección circular. Los bordes de las muestras deben ser redondeados para evitar los errores de medición durante la puesta en marcha de la instalación experimental. En la mayoría de los casos, el ensayo requiere de tiempos y recorridos de fricción según el tipo de material.

#### **1.6.2. Acabado superficial de las muestras de ensayo**

Las muestras no deben poseer surco o ralladuras debido a que esto interfiere en el contacto del espécimen con el abrasivo. La porosidad, a menos que es una característica inherente del material que se ensaya, puede afectar los resultados de la prueba adversamente por lo que la misma también debe evitarse. La superficie de ensayo de la probeta debe ser lisa y regularmente con un grado de acabo superficial (GA) de  $R_a = 0,8$  a  $1,6 \mu\text{m}$ . Se señala que el acabo de la superficie debe ser lo más cercano posible a un  $1 \mu\text{m}$ .

#### **1.7. Empleo de abrasivo en el ensayo de desgaste**

Durante el ensayo se puede emplear material abrasivo con granulometrías de 220 a 80 (tamaño de grano de  $65$  a  $75 \mu\text{m}$ ). De modo general se recomienda un tamaño de grano de  $105\text{-}\mu\text{m}$ , que corresponde a una granulometría de 150. La uniformidad de la distribución de las partículas abrasivas sobre los fondos del material abrasivo debe

ser del 50 al 70% del área de la superficie, y estar uniformemente distribuidos. Normalmente, el abrasivo, y el aceite se obtienen de un productor comercial. Para el caso del estudio del desgaste en finas capas superficiales se recomienda el empleo de material abrasivo con granulometría de 600 a 380, preferentemente 400.

Las correcciones para las variaciones de la abrasividad se realizan normalizando los resultados de pruebas individuales de desgaste de un material de referencia con un gran número de repeticiones del ensayo.

#### **1.7.1. Precisión de los resultados de los ensayos de laboratorio**

El criterio de precisión de la prueba esta basado en la confiabilidad estadística de los resultados experimentales. Considerando lo planteado en Práctica E 177 de ASTM, el criterio de un laboratorio en particular podría ser la confiabilidad estadística de los resultados experimentales obtenidos en ese laboratorio, para una combinación particular del material de referencia, y el abrasivo.

La repetibilidad como indicador de precisión de dimensiones obtenidos con este procedimiento de ensayo dependerá de las características y propiedades material ensayado, las condiciones de los parámetros del ensayo, la configuración de la probeta, el tipo de material abrasivo empleado, y el material de referencia. Se debe considerar como nivel límite de confiabilidad estadística el 95%.

#### **1.7.2. Reproducibilidad del ensayo**

La Reproducibilidad de este procedimiento de ensayo está validada por la variación de uno o más parámetros de las condiciones del ensayo. Para lograr una mayor reproducibilidad se deben hacer comparaciones entre los resultados alcanzados por diferentes laboratorios con un mismo tipo y calidad de abrasivo, y el mismo material del Disco de referencia. El programa del laboratorio también debe ser consistente con las pautas estadísticas establecidas, valorando las recomendaciones establecidas en las Prácticas E 122 y E 691 de ASTM. Aun así, la reproducibilidad dependerá del material evaluado, las condiciones del ensayo y los parámetros seleccionados, el diseño del ensayo, y las combinaciones que particularmente involucran a la máquina y al operador.

## 1.8. Clasificación de los motores de inducción

Los motores comerciales de inducción (ver figura 1.4), y en general todos los motores eléctricos, se pueden clasificar también de acuerdo con el ambiente en que funcionan, sí también como en los métodos de enfriamiento.

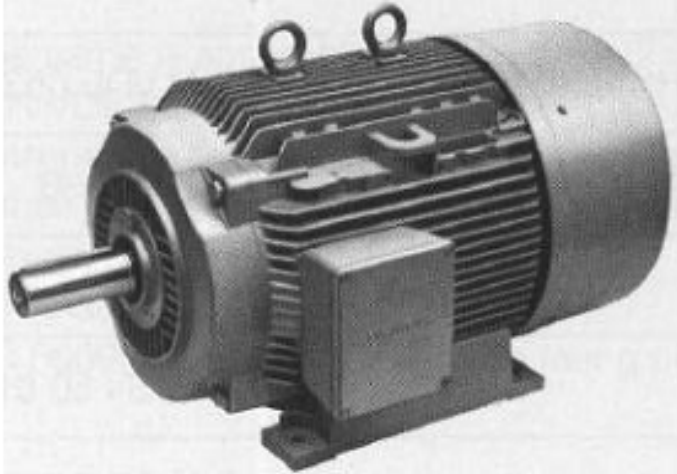


Figura 1.4. Aspecto externo de un motor de inducción típico.

La temperatura ambiente juega un papel importante en la capacidad y selección del tamaño de armazón para una máquina, parte importante del motivo es que la temperatura ambiente influye en la elevación permisible de temperatura por sobre los 40° C normales. Por ejemplo una máquina que trabaje a una temperatura ambiente de 75° C empleando aislamiento clase B tiene un aumento permisible de temperatura de tan solo 55° C. Si trabajara a su temperatura ambiente normal de 40° C se podría permitir un aumento de temperatura de 90° C, sin dañar su aislamiento.

También se puede plantear que la hermeticidad de la máquina afecta a su capacidad. Una máquina con una armazón totalmente abierta con un ventilador interno en su eje, permite un fácil paso de aire succionado y arrojado. Esta caja origina una temperatura final de trabajo en los devanados, menor en comparación que la de una máquina totalmente cerrada que evita el intercambio de aire con el exterior. Esto da como resultado que existe una clasificación de los motores por el tipo de carcasa.

### 1.8.1. Partes de un motor eléctrico

En la figura 1.5 se muestra el diagrama vectorial de los componentes de corrientes del motor asíncrono. Para un núcleo de hierro ideal, con una permeabilidad infinitamente grande y con pérdidas nulas, la corriente absorbida en vacío por el motor sería nula, en otras condiciones, para un motor en carga, los arrollamientos del primario (estator) y secundario (rotor), tendrían exactamente la misma F.M.M, o sea, el motor absorbería de la red una corriente equivalente a su corriente rotórica (determinada por el par solicitado), referida al arrollamiento del estator.

Para el caso de núcleos ferromagnéticos reales, la permeabilidad finita implicará una cierta corriente de magnetización  $I_m$ , y las pérdidas en el hierro (transformadas en calor en el proceso) exigirán una componente activa de corriente.

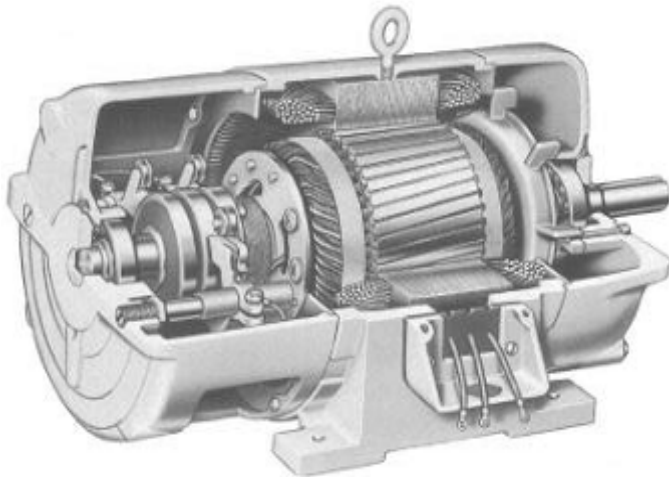


Figura 1.5. Corte de un motor de inducción con rotor devanado.

### 1.8.2. Funcionamiento normal del motor de inducción (desde vacío hasta carga)

Las características de funcionamiento normal del motor se tienen en la gráfica en los puntos d a c. El comportamiento del rotor de un motor de inducción a una velocidad sin carga, ligeramente menor que la velocidad síncrona cuando se aplica una carga que va en aumento.

#### Caso sin carga y vacío

Sin carga, el deslizamiento es muy pequeño y la frecuencia, reactancia del rotor, y la FEM inducida en éste son muy pequeñas. Por lo tanto la corriente en el rotor es muy pequeña y solo la suficiente para producir el par sin carga y por lo tanto la corriente

en el estator es la suma fasorial de su corriente de excitación y un componente de carga primario inducido en el rotor por acción del transformador.

La corriente de excitación en el primario del estator a circuito abierto es la suma fasorial de un componente de histéresis o de potencia, y un componente de magnetización necesario para producir el flujo rotatorio en el estator, donde los componentes de potencia están en fase. El factor de potencia sin cargar se representa mediante  $q$ , la pequeña corriente del estator producida por la corriente del rotor y por un componente primario de pérdida debido a la histéresis y corrientes parásitas en el hierro del estator y del rotor. Se nota que si  $q$  es grande, el factor de potencia es extremadamente pequeño y está en retraso.

### **Conclusiones del Capítulo I**

- ❖ Existe información documental de diferentes equipos que se emplean para la simulación de desgaste en medios abrasivos, pero ninguno tiene similitud constructiva con el simulador de desgaste CMT 2070 – 1.
- ❖ El principio de trabajo de los simuladores de desgaste está basado en la resistencia al desgaste abrasivo de los materiales en condiciones de cargas friccionante.
- ❖ El sistema de movimiento del simulador está caracterizado por un motor eléctrico bipolar, el cual es el encargado de realizar la transmisión del conjunto del equipo.

## CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Introducción

La existencia de una o más forma de los mecanismos de desgaste explicados da lugar a diferentes tipos de desgaste en los elementos de máquinas; en este sentido se puede plantear que aun no existe una forma única de designación y clasificación de los tipos de desgaste. Las exigencias hacia los materiales que se emplean en la fabricación de los sistemas tribológicos en una serie de casos se autoexcluyen, por lo que formular exigencias únicas son altamente complejo.

#### **En este capítulo se plantea como objetivo**

1. Fundamentar las propiedades a investigar y explicar los métodos, procedimientos y condiciones en la que se realizarán los experimentos.

### 2.2. Simulador de desgaste CMT 2070 - 1 ISMM

El Simulador de desgaste CMT 2070 – 1 (figura 2.1), se encuentra ubicado en el laboratorio de intercambiabilidad y Mediciones Técnicas del ISMM, es una instalación experimental del tipo disco – disco – pin – disco – abrasivo que tiene como objetivo realizar ensayos de desgaste.



Figura 2.1. Simulador de desgaste CMT 2070 – 1.

La instalación experimental está compuesta por un mecanismo de accionamiento formado por la caja de velocidad (ruedas dentadas y árboles) transmisión correa – polea y un motor de corriente directa 110 V.

El otro dispositivo de la instalación lo conforma el mecanismo de aplicación de carga, formado por el brazo de carga (PIN). Este mecanismo tiene la función de aplicar sobre el disco porta abrasivo la carga necesaria para la realización de los ensayos. Esto permite la consiguiente variación de la carga, además un plato tipo disco en el cual se coloca el material abrasivo (disco abrasivo, papel de lija, o tela) y un pin encargado de presionar la probeta contra el disco.

El motor eléctrico (figura 2.2) se encuentra fuera de servicio ya que sus núcleos o bobinas están quemados.

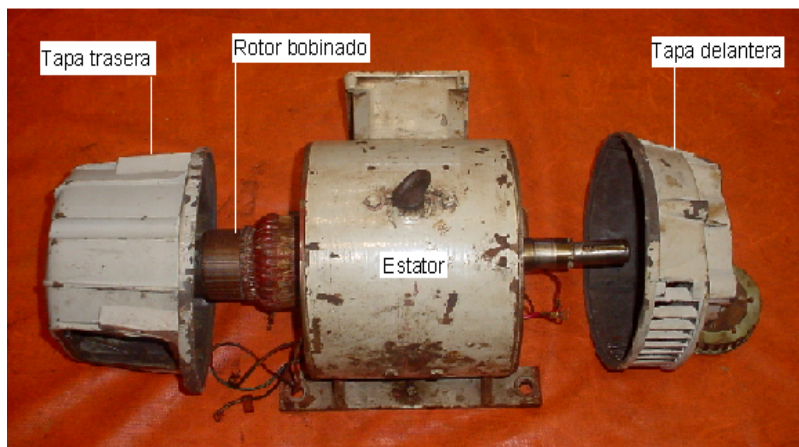


Figura 2.2. Motor del simulador de desgaste CMT 2070

La figura anterior muestra una sección del motor del simulador, en la misma se puede apreciar que en la parte correspondiente al rotor han sido retirados los alambres para restablecer sus parámetros geométricos.

### 2.2.1. Defectado del motor

Al efectuar el defectado del motor se comprobó que existe holgura mayor que la nominal entre el rodamiento y las tapas, rodamiento defectuoso, el devanado del inducido del motor se encontró quemado



### **2.3. Desarme del equipo (herramientas, equipos y accesorios empleados)**

En todas las fases del desarme las piezas deberán ser identificadas con un marcado adecuado, duradero y distinguible, acorde con el sistema de representación utilizado para cada subconjunto. El empleo y selección adecuada de cada una de las herramientas destinadas para esta operación conllevará a un tiempo más duradero de aquellos elementos que habrá que desarmar. Las herramientas ha utilizar son las siguientes.

1. Juego de llave Allen y española.
2. Destornilladores.
3. Alambre para enrollado de bobina.
4. Barniz de impregnación.
5. Rodamiento.
6. Pintura.
7. Horno eléctrico.

#### **2.3.1. Llaves Allen y españolas**

El conjunto del equipo lleva tornillos allen No 10 enrasados en las tapas, los cuales deben ser aflojados para la extracción del motor, este se encuentra alojado en la parte inferior del simulador, así sucede con la llave española que se empleará para el desarme de tuercas No 17.

#### **2.3.2. Características del alambre**

Alambre No 17 – Diámetro: 1,15

Sección transversal: 1,04.

Kilogramo/km = 9,26

Resistencia: 16,34  $\Omega$

Capacidad: 3,2 Amp.

#### **2.3.3. Características del barniz de impregnación electroaislante**

Isolante UK 160 R

Contiene: Xilene

R 10 Inflamable R 20 /21. Nocivos por inhalación y contacto por la piel.

S 43: En caso de incendio utilizar extintor de polvo.

Temperatura de secado: 100 – 110<sup>0</sup>C.

Nacionalidad: Unión Europea.

#### **2.3.4. Características del rodamiento rígido de bolas**

Robustos, versátiles y silenciosos. Pueden funcionar a altas velocidades y son fáciles de montar. Los rodamientos de una hilera también están disponibles en versiones obturadas; están lubricados de por vida y no necesitan mantenimiento. Los rodamientos de una hilera con escote de llenado y los de dos hileras son adecuados para cargas pesadas.

Las designaciones completas de los rodamientos SKF, y de sus componentes y accesorios, se componen de una designación básica que puede ir acompañada por una o más designaciones adicionales.

La designación básica consta generalmente de una identificación del tipo de rodamiento (integrada por una cifra, una letra o por una combinación de letras), además de la designación de la serie y la identificación del diámetro del agujero, por ejemplo 23216 ó UN 212. Las designaciones adicionales van colocadas delante de la designación básica (prefijo) o a continuación de ésta (sufijo). Los prefijos sirven para identificar los componentes del rodamiento. Los sufijos se usan para identificar los diseños (o variantes) que de alguna manera difieren del diseño original o que difieren del diseño correspondiente a la norma de producción en vigor.

La sustitución de los rodamientos del motor por encontrarse en malas condiciones corresponde a los tipos:

#### **Rodamiento 8 Г П 3 307 – 1 – 1**

Dimensiones:

d = 35 mm

D = 80 mm

B = 21 mm

Capacidad de carga dinámica: C = 33,2 kN.

Masa: 0, 46 kg

En su defecto las siguientes designaciones SKF



6307; 6307- Z; 6307- ZZ; 6307 – RS1; 6307 – 2RS1.

**Donde:**

Z: Placa de protección de chapas de aceros (retén no rozante) en un lado del rodamiento.

ZZ: Placa de protección de chapas de aceros (retén no rozante) en ambos lados del rodamiento.

RS1: Retén de caucho sintético (retén rozante) con refuerzos de chapas de aceros en un lado del rodamiento.

2RS1: Retén de caucho sintético (retén rozante) con refuerzos de chapas de aceros en ambos lados del rodamiento.

**Rodamiento 8 Г П 3 305 – 1**

Dimensiones:

d = 25 mm

D = 62 mm

B = 17 mm

Capacidad de carga dinámica: C = 22,5 kN.

Masa: 0, 23 kg

En su defecto las siguientes designaciones SKF

6305; 6305 – Z; 6305 – ZZ; 6305 – RS1; 6305 – 2RS1

**2.3.4. Horno de secado aerodinámico**

Después del arrollamiento del motor y barnizado se requiere del secado de las bobinas, para ello se empleó un horno de secado aerodinámico, el mismo se encuentra ubicado en la unidad de reparaciones eléctricas de la Empresa Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche, las características aparecen relacionadas a continuación.

Nacionalidad: soviética

Temperatura de secado: 0 -120<sup>0</sup>C

Característica de secado por un ventilador y un banco de resistencia de micrón.

**Capacidad de carga: En dependencia del tamaño y el peso del motor**

De 55 kW: 6 – 8 motores.



Más pequeño: 18 a 20 motores  
De 450 – 500 kW: 1 – 2 motores.  
Consumo de 115 Amp.

**2.4. Arrollamiento del motor**

Operación más importante. Consiste en anotar los datos más necesarios sobre el arrollamiento del motor. La toma de datos necesarios para ejecutar esta operación se toma antes de deshacer el bobinado del estator y durante esta operación, los datos tomados se contemplan en la tabla 2.1, los datos a tomar son:

1. Marca del motor.
2. Números de polos.
3. Paso del devanado. (Número de ranuras que abarca cada bobina)
4. Número de espira en cada bobina.
5. Grueso del hilo en cada arrollamiento.
6. Clase de conexión. (serie – paralelo)
7. Posición de cada arrollamiento con relación al otro.
8. Tipos de bobinas (a mano, de molde o en ovillo)
9. Aislamiento de las ranuras con su clase y dimensiones.

Tabla 2.1. Hojas de datos para especificar las indicaciones del motor.

kW	HP	rev/min	Voltios	Amperios
Frecuencia		Tipo:	Carcasa:	Estilo:
Temperatura		Modelo:	Serie:	Fase:
No de láminas:		Delgas	Bobinas por ranuras	
Tamaño del hilo:		Paso bobinas		
Centro de ranura:		Centro de delgas		
		Centro de mica		
		Paso del colector		
Imbricado		Ondulado		

**2.5. Material aislante**

Los materiales aislantes tienen una clasificación en dependencia de su resistencia al calentamiento, el aislante ha emplear es de la clase H con una resistencia al calentamiento de 180<sup>0</sup>. Las características del mismo es un material a base de mica, amianto y de fibras de vidrio el cual se emplea con silicona.

## 2.6. Transmisión del movimiento por poleas y correas

Cuando el eje de una máquina motriz gira a una velocidad de rotación  $n$ , una polea que se encuentra solidaria, enchavetada, atornillada o soldada, al mismo, también gira a la misma velocidad de rotación  $n$ , y como ya se sabe, la velocidad tangencial  $v$  en la periferia de la polea dependerá del radio de la misma.

Esta polea puede transmitir, por fricción o a través de una correa, su movimiento a otra polea que esté montada sobre el eje de otro mecanismo receptor del movimiento, el cual según sea la relación de transmisión, podrá adquirir menor, igual o mayor velocidad de rotación que el primero. La polea que transmite el movimiento se denomina motora o conductora, en tanto que la que recibe el movimiento recibe el nombre de conducida. La correa del mecanismo de transmisión es una correa cauchotada dentada por lo que se considera para el cálculo como una transmisión por cadenas.

Debido al deslizamiento elástico y arrastre de las correas, la razón de las velocidades angulares entre los ejes no es constante ni exactamente igual a la razón del diámetro de las poleas (Shigley, 1965). Si se desea, puede ser considerado el efecto del deslizamiento elástico en el cálculo de la relación de transmisión real, como (Dobrovolski, 1976):

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1(1-\varepsilon)} \quad (2.1)$$

**Donde:**

$D_1$  - diámetro de la polea conductora; mm

$D_2$  - diámetro de la polea conducida; mm

$s$  - coeficiente de deslizamiento, en correas trapezoidales de tejido 0,02.

En las transmisiones por correa los valores admisibles de  $i$  se limitan por la mínima magnitud admisible del ángulo de contacto en la polea menor. Aquí el máximo valor de la relación de engranaje lo tolera la transmisión por correa trapezoidal. ( $i \leq 8 \div 15$ ) (Dobrovolski, 1976).

### 2.6.1. Tensiones en la correa

La transmisión por correa se basa en la dependencia analítica como la establecida por, (Euler, 1775), entre las tensiones del hilo flexible que envuelven a un cilindro:

$$\frac{S_1}{S_2} = e^{f\alpha} = m \quad (2.2)$$

La fórmula deducida anteriormente es aplicable para la correa trapezoidal, si en la fórmula de Euler se cambia en el exponente el coeficiente de rozamiento  $f$  por el coeficiente reducido de rozamiento  $f' = f/\sin(\varphi/2)$ , siendo  $\varphi$  el ángulo de la ranura de correa trapezoidal.

### 2.6.2 Velocidad periférica

La velocidad de la correa debe ser lo mayor posible, para disminuir la cantidad de correas necesarias en la transmisión, pero nunca debe superar la velocidad máxima límite  $V_{\max}$  para que el efecto de la fuerza centrífuga no disminuya la capacidad tractiva de la correa.

$$V = \frac{\pi D_1 n_1}{60 \cdot 1000} \leq V_{\max}; \text{ m/s} \quad (2.3)$$

Las correas trapezoidales estandarizadas toleran  $V_{\max} \leq 20 - 30$  m/s.

### 2.6.3. Cálculo de la potencia nominal transmisible

No existe una exacta coincidencia de las magnitudes de potencia nominal transmisible por correa entre los diferentes fabricantes y normas, en la actualidad ha tenido una gran aceptación y generalización la siguiente fórmula de cálculo, brindada por Asociación de Fabricantes de Goma (RMA) para el cálculo de la referida potencia:

$$[N_1] = D_1 \cdot n' \cdot \left[ K_1 - \frac{K_2}{D_1} - K_3 \cdot (D_1 \cdot n')^2 - K_4 \cdot \log_{10}(D_1 \cdot n') \right] + K_2 \cdot n' \cdot \left( 1 - \frac{1}{K_u} \right) \quad (2.4)$$

**Donde:**

$[N_1]$  - Potencia transmisible por correa; kW

$D_1$  - Diámetro de la polea menor; mm

$K_u$  - Factor por razón de transmisión

$n'$  -  $n_1/1000$  mil revoluciones por minuto en la polea rápida

$K_1, K_2, K_3$  y  $K_4$  - Factores empíricos evaluables.

Los valores para los factores empíricos de  $K$  aparecen en la tabla 2.2, las cuales se usan para secciones de perfil normal.

Tabla 2.2. Factores de cálculo  $K_1, K_2, K_3$  y  $K_4$  nominal transmisible por correa

Perfil	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$
A	0,03826	1,232	$7,043 \times 10^{-9}$	0,006244
B	0,06784	3,261	$1,403 \times 10^{-8}$	0,01074
C	0,1261	9,004	$2,653 \times 10^{-8}$	0,04270
D	0,2763	32,23	$6,301 \times 10^{-8}$	0,04270

Para perfiles normales

$$K_u = \frac{1}{1 + 0,35 \cdot \log_{10} \left( \frac{1 + 10^x}{2} \right)} \quad (2.5)$$

$$x = - \left( \frac{1}{0,35} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{i} \right) \quad (2.6)$$

### 2.6.4. Cálculo de las condiciones de carga

Está referido a los árboles de la transmisión mecánica (momentos). Este régimen está caracterizado por el trabajo a la velocidad constante del motor eléctrico, los momentos del motor y la carga constante en el tiempo e iguales entre si. Debido a que el momento desarrollado por el motor en régimen estacionario, es una función de la velocidad, la igualdad  $M = M_C$  solo es posible si el momento de la carga es constante o función también de la velocidad. (Morera, 1988; Veshenevski, 1976).

Los momentos referidos a los árboles de la transmisión de fuerza se determinan a partir del esquema cinemático.

#### a) Momento en el árbol 1 (en el motor eléctrico)

$$M_{tor1} = 9740 \frac{N_1}{n_1}; \text{ N.m.} \quad (2.7)$$

**Donde:**

$N_1$  - potencia del motor eléctrico; kW

$n_1$  - frecuencia de rotación del árbol del motor eléctrico; rev/min

## 2.7. Cálculo de los tiempos entre intervenciones de mantenimiento

El objetivo del mantenimiento en la industria es lograr con el mínimo de costo, el mayor tiempo en servicio de las instalaciones y maquinarias productivas con el fin de asegurar la máxima disponibilidad aportándola mayor productividad y calidad de producto con el máximo de funcionamiento, es de sobra conocido el hecho de que las roturas imprevistas catastróficas, dan lugar a elevados costos por pérdidas de producción y reparación.

$$t_r = \frac{T}{N_p + N_m + 1} \quad (2.8)$$

$$t_0 = \frac{T}{N_p + N_m + N_r + 1} \quad (2.9)$$

**Donde:**

T- Es el ciclo de reparación total.

N<sub>m</sub>- número de reparaciones medianas.

N<sub>r</sub>- número de revisiones.

N<sub>p</sub>- número de reparaciones pequeñas.

### 2.7.1. Cálculo de la cantidad de grasa para los rodamientos

$$G = 0.005 \cdot B \cdot D_{ext} ; [g] \quad (2.10)$$

Donde, B – Ancho del rodamiento.

D<sub>ext</sub> – Diámetro exterior del rodamiento.





## **Conclusiones del capítulo II**

- ❖ Los procedimientos descritos en este capítulo relacionados con la caracterización de los elementos que componen el motor, así como la metodología de cálculo permiten establecer el comportamiento del accionamiento del simulador en variación de las condiciones de explotación.
- ❖ Quedan establecidos los equipos, herramientas, así como la designación técnicas de los rodamientos que se utilizan en el motor del simulador de desgaste.
- ❖ El rendimiento y la relación de transmisión son factores que inciden directamente en los momentos que desean ser transmitido desde el motor eléctrico hasta las diferentes ruedas y árboles que componen el equipo.



## **CAPITULO III. ANALISIS DE LOS RESULTADOS**

### **3.1. Introducción**

Las razones más comunes por las que se realizan pruebas de desgaste, son para obtener datos experimentales para ser aplicados a un fin específico, como es el conocer; la vida útil de un acoplamiento, evaluar los costos de mantenimiento y obtener un funcionamiento más confiable del sistema. De igual forma éstas permiten estudiar y evaluar los mecanismos de desgaste que se presentan, así como las ecuaciones semiempíricas asociadas. En consecuencia se puede determinar y caracterizar el comportamiento del desgaste.

Este ensayo, también nos permite la adecuada selección del material para, los diferentes mecanismos que estén sometidos a desgaste por rozamiento o fatiga, ya que la dureza puede ser un factor importante en la resistencia a este tipo de desgaste.

#### **El objetivo del capítulo es**

1. Realizar la valoración crítica de los resultados y a través de ella, explicar los fundamentos científicos que dan solución al problema planteado a partir de la interpretación de las regularidades observadas.

### **3.2. Caracterización de los elementos del motor**

Dado que el deslizamiento de la mayor parte de los motores comerciales de inducción, a la velocidad nominal en general de alrededor de un 5%, no se pueden alcanzar velocidades mayores a 3 600 rev/min a 60 Hz, las velocidades son muy múltiplos de los inversos del números de polos en el estator: 1800, 1200, 900, 720 rev/min. En general, se prefieren los motores de alta velocidad a los de baja velocidad, de la misma potencia y voltaje, debido a que:

- ✓ Son de tamaño menor y en consecuencia de menor peso.
- ✓ Tienen mayor par de arranque.
- ✓ Tienen mayores eficiencias.
- ✓ A la carga nominal, tienen mayores factores de potencia.
- ✓ Son menos costosos.

Por estas razones se suele dotar de cajas de engranes o embrague a los motores de inducción de jaula de ardilla para permitir velocidades de eje de cerca sobre 3 600 rev/min y por debajo de 200 rev/min. En muchos usos o aplicaciones comerciales particularmente en capacidades de menor potencia, la caja de engranes o de embrague va incorporada en la caja del motor, formando unidad integral con este.

Los datos más reciente que se poseen del simulador objeto de estudio data de cuatro años (Bell, 2006), la literatura es un catálogo (escrito en Ruso) sin traducir este se encuentra el ISMM, pero no posee todos los elementos necesarios que permita establecer la composición interna del motor.

A partir de que no se dispone de referencias, catálogo técnico que permita establecer las características del motor eléctrico para su arrollamiento ya que por el tiempo de tener sin funcionamiento perdió su dato de vida (chapilla), se caracterizó cada una de sus partes. En la figura 3.1 se ilustran cada una de las mismas.

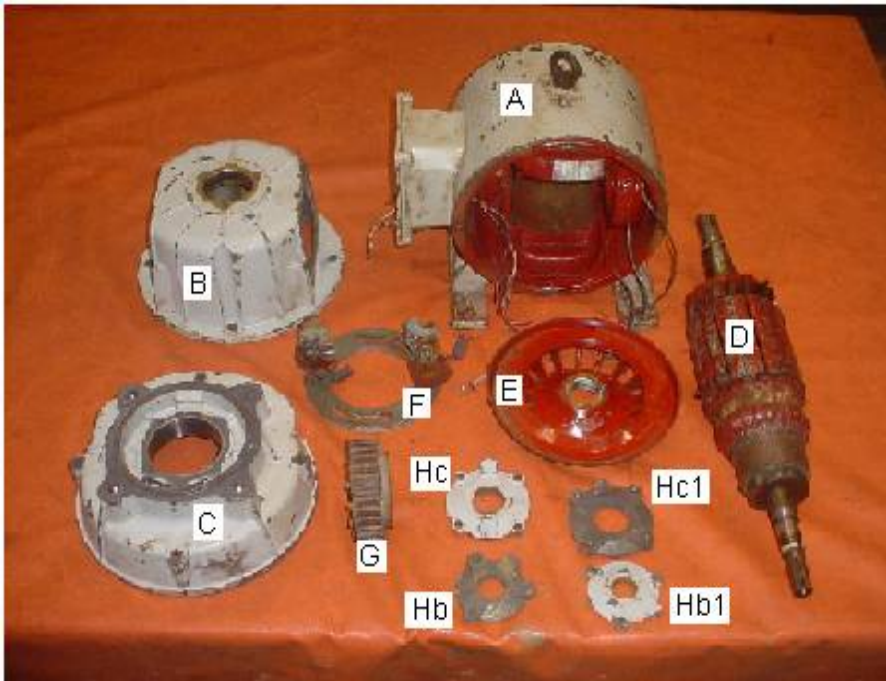


Figura 3.1. Partes del motor eléctrico del simulador CMT 2070 – 1.

1. A (Estator)
2. B (tapa o escudo trasera)
3. C (tapa o escudo delantera)

4. D (Rotor bobinado)
5. E (Ventilador interior)
6. F (Porta escobillas y escobillas)
7. G (Polea conductora)
8. Hb (Retenedor interior trasero)
9. Hb1 (Retenedor exterior trasero)
10. Hc (Retenedor exterior delantero)
11. Hc1 (Retenedor interior delantero)

Después de caracterizar los diferentes elementos que componen el motor se estableció la forma de las bobinas para el arrollamiento del motor.

Por las características del arrollamiento y las fuentes bibliográficas consultadas (Rosemberg, 1964) se determinó que es un motor bipolar compound con polos auxiliares como se ilustra en la figura 3.2

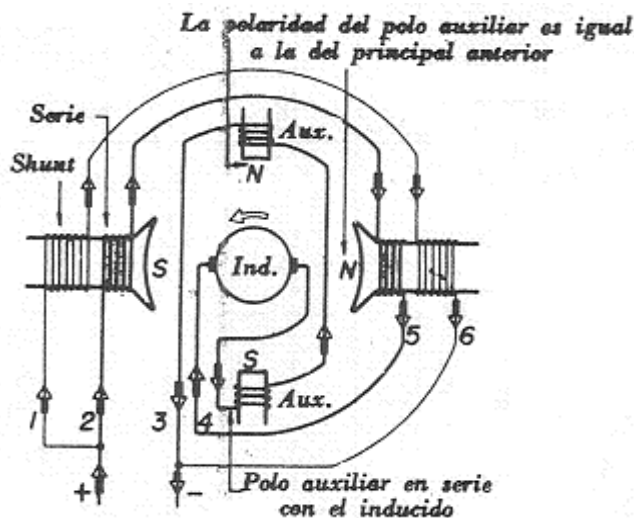
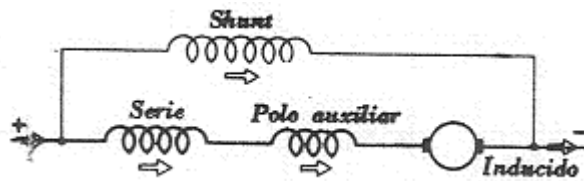


Figura 3.2. Motor bipolar compound con polos auxiliares.

Según las polaridades indicadas la rotación es inversa (sentido contraria a las agujas del reloj)

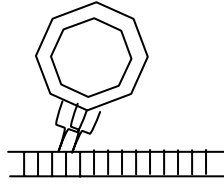
De la figura anterior entonces el diagrama para el establecimiento del arrollamiento se puede observar en la figura 3.3.

Figura 3.3. Esquema de un motor compound con polos auxiliares.



A partir de los elementos obtenidos se procedió al llenado de la hoja de datos (tabla 3.1) correspondientes al motor, los cuales se emplearán en lo adelante para la reestructuración de cada una de las bobinas y de los parámetros de funcionamientos.

Tabla 3.1. Datos específicos de las indicaciones del motor.

kW: 4	HP: 5,5	rev/min 3 600	Voltios: 110	Amperios: 5,9
Frecuencia: 60 Hz	Tipo: Compound	Carcasa: Acero	Estilo:	
Temperatura: 40 <sup>0</sup>	Mod:17 MAR 06	Serie:	Fase: 2 directa	
No de láminas:	Delgas: 72	Bobinas por ranuras: 1		
Tamaño del hilo: 1,15	Paso bobinas: 1 – 10			
Centro de delgas: X				
Centro de ranura: Centro de mica				
Paso del colector				
Imbricado: X	Ondulado			

Se consideraron otros datos del devanado del motor que se anexan a continuación

No ranuras 18

No grupo 18

Vueltas 7

Hilo en mano 4

Conexión: Imbricado retrogrado

**Enrollado distribuido.**

No de polos 2

rev/min: 3 600

Voltaje: 110

Ampere: 5,9

**3.3. Encasquillado de las tapas o escudos**

Los diámetros de los cojinetes se encuentran normalizados en los catálogos según los fabricantes que lo suministran. Al realizar el defectado de los componentes, las

tapas o escudos del motor presentaban huelgos en su diámetro interior se recurrió al encasquillado de ambas tapas. El material que se empleó fue un buje de acero, así de esta forma se pudo colocar los rodamientos en ambos extremos sin necesidad de sustituir las tapas.

Los diámetros normalizados de los dos rodamientos están relacionados en el capítulo II del presente trabajo. De esta forma quedan definidos los elementos rodantes que se utilizan en el motor.

### 3.4. Arrollamiento del motor

Para establecer este procedimiento se colocó el rotor en el dispositivo empleado para el arrollamiento (caballete), cuidando de limpiar cada ranura, efectuada esta operación se colocaron las láminas aislantes (micas) dándole las vueltas según la cantidad de alambre en cada bobina, como se observa en la figura 3.4.

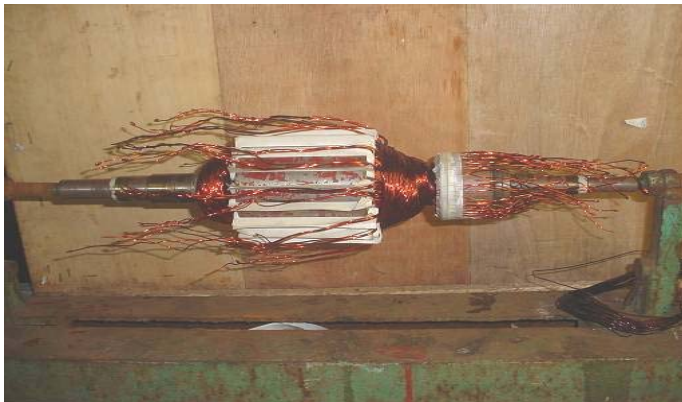


Figura 3.4. Colocación de láminas aislantes y arrollamiento del grupo de bobinas.

En la figura 3.5 se puede observar el procedimiento de arrollamiento para el núcleo y las delgas del motor.



Figura 3.5. Arrollamiento del núcleo y conexión de los terminales al colector.

### 3.5. Horno de secado aerodinámico

Después del arrollamiento del motor y barnizado se requiere del secado de las bobinas, para ello se empleó el horno de secado aerodinámico.

Teniendo en cuenta que en la unidad se encontraban otros motores en reparaciones se aprovechó para introducir éste en el horno y aprovechar el consumo de demanda eléctrica. El tiempo de secado fue de 8 horas a una temperatura de 120°. Este secado tiene como objetivo secar el barniz aislante impregnado en el arrollamiento, dándole seguridad a los alambres, evitar cortocircuitos, cualquier ralladura que pudiera ocurrir durante el montaje.

### 3.6. Diagrama de conexión del motor eléctrico

Considerando que no existe una hoja de datos (chapilla) que permitiera la identificación de las características del motor se procedió a la confección, después de enrollado de las bobinas del motor, establecer el diagrama de conexión del mismo, el cual aparece reflejado en la figura 3.6.

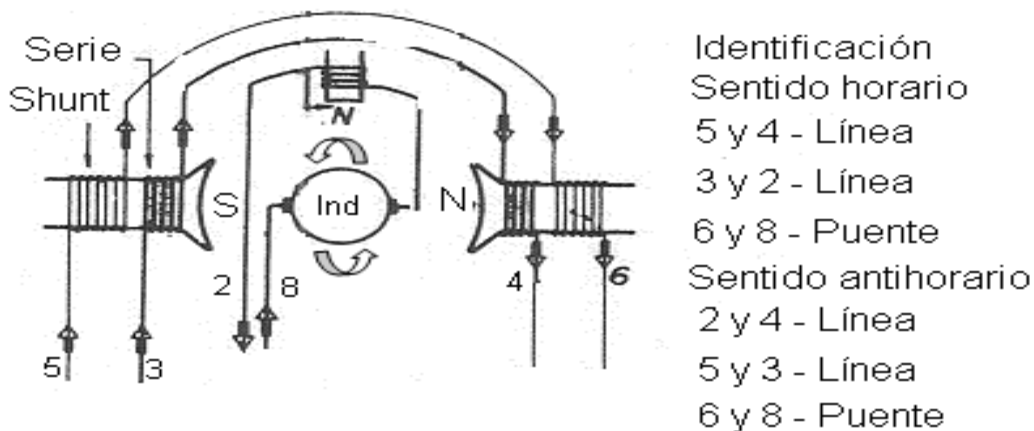


Figura 3.6. Combinación de conexiones para el encendido del motor.

### 3.6. Análisis de la transmisión del movimiento por poleas y correas

Siendo la transmisión por correa una transmisión asincrónica e interpretando la transmisión por correa como una marcha sincrónica y teniendo presente el concepto de circunferencia o cilindro primitivo, el concepto de relación de transmisión para ambos tipos de transmisiones resulta que la velocidad en la transmisión por correas es:

$$V = \frac{\pi D_1 n_1}{60 \cdot 1000}$$

$$V = \frac{3,1416 \cdot 144 \cdot 3600}{60 \cdot 1000}$$

$$V = 27,14 \text{ m/seg}$$

La velocidad máxima que ha de alcanzar el equipo debe ser de 27,14 m/seg en el último escalón de la transmisión, en dependencia del material ha ensayar entonces se debe regular la velocidad ya que los materiales no presentan el mismo coeficiente de fricción.

### **3.6.1. Análisis de las condiciones de carga**

Considerando que el simulador tiene como objetivo realizar ensayos de desgaste, su velocidad de trabajo se mantendrá constante, no siendo así su carga, analizando la cinemática de la transmisión en vacío entonces sustituyendo los valores en la ecuación 2.7 se tiene que para una condición de carga del equipo a partir del esquema cinemática el momento en el árbol en el motor eléctrico sería.

$$M_{tor1} = 9740 \frac{N_1}{n_1}$$

$$M_{tor1} = 9740 \frac{5,5}{3600}$$

$$M_{tor1} = 14,8 N.m$$

El momento torsor calculado, es el mínimo valor que admite el motor teniendo en cuenta la velocidad y potencia nominal.

### **3.7. Mantenimiento de la transmisión del simulador**

El objetivo del mantenimiento es lograr con el mínimo de costo, el mayor tiempo en servicio de las instalaciones y maquinarias productivas con el fin de asegurar la máxima disponibilidad aportándole mayor productividad y calidad de producto con el máximo de funcionamiento, es de sobra conocido el hecho de que las roturas imprevistas catastróficas, dan lugar a elevados costos por pérdidas de producción y reparación.



### 3.7.1. Ciclo de reparación en la transmisión

Es el tiempo entre dos reparaciones generales o entre la puesta en marcha de equipo y su primera reparación. ( $T = 600$  h/máq).

### 3.7.2. Cálculo de los tiempos entre reparaciones e intervenciones

#### Datos

$$N_m = 1$$

$$N_p = 4$$

$$N_r = 10$$

$$T = 300 \text{ h.maq}$$

$$t_r = \frac{T}{N_p + N_m + 1}$$

$$t_0 = \frac{T}{N_p + N_m + N_r + 1}$$

En la figura 3.7 aparece la propuesta del ciclo de mantenimiento actual para el simulador de desgaste CMT 2070 -1.

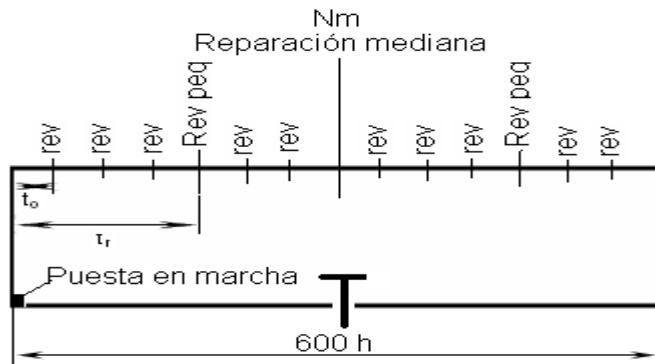


Figura 3.7. Ciclo de mantenimiento actual para el simulador de desgaste CMT 2070 -1.

### 3.7.3. Cálculo de los tiempos entre reparaciones e intervenciones

Sustituyendo los valores en las ecuaciones

$$t_r = 100 \text{ horas (4,16 días)}$$

$$t_0 = 37.5 \text{ horas (1,6 días)}$$

Con los resultados anteriores se propone un nuevo ciclo de mantenimiento el cual incluye 10 revisiones que no se le realizaban al simulador.

### 3.7.4. Reparación pequeña del simulador de desgaste

Para esta reparación el simulador se para por 4 horas. Es el trabajo de menor volumen que se ejecuta dentro de la etapa de reparación y se realiza para prevenir posibles defectos en el equipo; durante la misma se cambia o reparan aquellas



piezas cuyo plazo de servicio es igual o menor que el periodo de tiempo entre esta reparación y la próxima. Es el 20% de la reparación general.

- ✓ Alineación del piñón
- ✓ Calibración de la transmisión (4mm)
- ✓ Medición del grado de desgaste de los dientes del piñón.
- ✓ Mantenimiento de los agujeros de la descarga.
- ✓ Revisión del sello.
- ✓ Lubricación de algunas piezas pequeñas.
- ✓ Se chequea el grado de desgaste de la chumacera.

### **3.7.5. Reparación mediana del simulador de desgaste. (Cada 12,5 días)**

Para esta reparación el enfriador se para durante 24 horas. Este es el trabajo que se ejecuta en los equipos con vista a reparar o sustituir un número limitado de piezas de fácil acceso, que se deterioran frecuentemente. Su volumen de trabajo es mayor que la reparación pequeña. Se realiza el cambio o desmontaje de la rueda dentada desgastada. Se cambia el 50% de los elementos del interior del carro. Ocupa el 60% de una reparación general.

- ✓ Desarme de algunas piezas
- ✓ Comprobación del grado de desgaste de la transmisión piñón – Rueda.
- ✓ Ajuste de anclaje (transmisores)
- ✓ Cambio de piezas deterioradas.
- ✓ Se recicla el motor.

### **3.7.6. Reparación general del simulador de desgaste. (Cada 25 años)**

Para esta reparación se para el simulador 5 días. Ocurre el máximo volumen de trabajo. Se realiza un desmontaje total de todos los elementos o mecanismos del equipo. Es el trabajo en el cual se reparan o sustituyen piezas del equipo o partes del equipo de mayor duración e importancia y de más difícil acceso. Es la reparación capital de equipo.

- Reparación de los árboles y del sistema de depósito del abrasivo.
- Cambio de los rodamientos de la unión.
- Lubricación del motor.
- Mantenimiento a los acoplamientos.

### **3.7. Valoración Económica**

Al abordar la valoración técnico económica del proceso, todo ello sin dudas repercute económicamente por la sustitución de importaciones, la recuperación del simulador permitirá determinar la dureza de las piezas tratadas, al incrementar su durabilidad por tener mayor resistencia al desgaste y a la corrosión, aumenta su fiabilidad por tener mayor resistencia a la rotura por incremento de la resistencia de las piezas y mayor resistencia a la fatiga, lo que condiciona un funcionamiento más eficiente de la maquinaria en general.

Para la estimación de los costos de fabricación que se desean determinar se parte de la metodología del cálculo del costo de fabricación conocida como "Ficha para costos, precios y su componente en pesos convertibles" que en formato de hoja de cálculo se utiliza como Norma empresarial en la Empresa Mecánica del Níquel Comandante "Gustavo Machín Hoed de Beche" de Moa, para calcular las fichas de costo. Dicho documento, elaborado conjuntamente por los Ministerios de Finanzas y de Economía y Planificación, es por el cual se rige la empresa, realizando sus adecuaciones según las características particulares de cada tipo de pieza.

La metodología empleada está destinada para el estimado del cálculo del costo de fabricación para diferentes procesos tecnológicos que se llevan a cabo en dicha industria, poseyendo además una amplia y actualizada base de datos que comprende tarifas salariales, máquinas herramienta y sus consumos de energía eléctrica, precios de materiales, entre otros. A los efectos de la valoración económica de los resultados de la presente tesis, resulta factible emplear esta norma por cuanto posee una base de información de larga data en dicha empresa, además de su probada efectividad en las transacciones económico - financieras de dicho centro. En la tabla 1 y 2 de los anexos, se recogen las fichas de precios para la recuperación del motor eléctrico.

El costo de la reparación del motor obtenido por concepto de mano de obra, materiales y transportación incurrió en un monto total de \$ 103,443 en moneda nacional.



La compra de un motor de la misma característica del tipo de motor que necesita la instalación tiene un precio de 300 USD, considerando la limitación de recursos que actualmente presenta nuestro país, al menos en estos momentos no sería posible la adquisición del mismo.

Al evaluar el costo de la reparación, en relación con el costo de la compra se ahorra una suma considerable de dinero.

### **3.8. Valoración del impacto medio ambiental**

Nuestro País en su desarrollo ha incorporado la Protección del Medio Ambiente y de sus Recursos Naturales lo cual consta en el Artículo 27 de nuestra Constitución de la República y en las diferentes Leyes y Resoluciones como lo son la Ley 1288/75, la Ley 81/97 y la Resolución 87/99 esta última para precisar los acuerdos suscritos del Convenio de Basilea.

Todo esto constituye una política de nuestro estado y a su vez una exigencia a nivel internacional para lograr una competitividad de nuestros productos , de manera ambientalmente seguros que nos permita mantener una imagen ante la comunidad y los clientes e insertarnos en el mercado, ya que desde finales de los ochenta empieza a tomar más fuerza la idea de compatibilizar la protección del medio ambiente con los requisitos del mercado , y de considerar los recursos medioambientales que consume la empresa unos recursos escasos y que deben ser internalizados, igual que otros recursos que se necesitan para la producción, para evitar la competencia desleal de las empresas que no los valoran frente a las que lo hacen.

Durante el trabajo con reparaciones de motores eléctricos se emplean hornos para el secado del barniz o pintura y una de las características del sistema energético contemporáneo son los continuos vaivenes de los precios, tanto de los combustibles como de la demanda de energía, a causa de guerras y crisis económicas. Según datos compilados por el Worldwatch Institute, en 1980 ocurrió un pico en la demanda mundial de energía, la cual disminuyó y se estabilizó en los primeros años de esta década. Con posterioridad, el consumo de energía ha ido en aumento, a pesar de los altos y oscilantes precios del petróleo en el mercado



mundial, a tal punto que en el año 2003 el precio del barril era de 33 dólares y en el año 2005 el promedio del precio del barril de petróleo fue de 55 dólares.

Teniendo en cuenta que la mayoría de las emisiones de dióxido de carbono son provocadas por la generación de energía eléctrica, el degradante estado actual de los recursos energéticos en el ámbito mundial y analizando que mientras menos consumamos energía eléctrica, menos habrá que generar, nuestro país desde su condición de subdesarrollado, ha encaminado una serie de cambios favorables, como el reemplazo de la tecnología atrasada existente por tecnología más limpia y eficiente entre ellas contamos con los grupos electrógenos, el biogás, la energía eólica y la solar.

El empleo de hornos eléctricos para el secado de motores conlleva al menos a un mayor consumo de energía eléctrica con el lógico despilfarro de energía, también porque emplean equipos que son altamente consumidores de energía eléctrica.

Otro aspecto de interés consiste en la reparación de equipos con el empleo de máquinas herramienta, en el proceso de maquinado se produce gran cantidad de desechos sólidos, estos desechos en forma de virutas al ser depositados en un lugar específico alteran el equilibrio de ese pequeño ecosistema, ya que en su composición poseen elementos que pueden ser lixiviables, bajo la acción de las temperaturas altas y las lluvias, pasan a las aguas subterráneas contaminándolas. Además en el taller se consume una gran cantidad de energía eléctrica, la cual se toma de la red nacional convirtiéndose en gasto de combustible y contaminación atmosférica debido al proceso de combustión para generar energía.



### **Conclusiones del Capítulo III**

- Se realizó la recuperación del motor eléctrico que permite el movimiento de la transmisión del equipo simulador de desgaste CMT 2070 – 1.
- Quedó establecido el sistema de instalación, así como la hoja de datos de vida del motor, el cual servirá para tomar decisiones en caso de avería del mismo.
- El precio de recuperación del motor resulta una vía más económica con respecto a la compra de otro motor ya que se ahorra un total de 300, 00 USD
- La reparación de equipos conlleva al empleo de otros equipos altamente consumidores de energía eléctrica y emisores de contaminantes al medio ambiente.



## **Conclusiones Generales**

- ❖ En las fuentes bibliográficas consultadas se recogen información documental relacionadas con equipos que se emplean para la simulación de desgaste en medios abrasivos, pero ninguno tiene similitud constructiva con el simulador de desgaste CMT 2070 – 1
- ❖ La relación de transmisión que compone el sistema de movimiento del equipo simulador de desgaste consta dentro de sus elementos con un motor eléctrico y relación de transmisión correa – polea y ruedas dentadas.
- ❖ Con el arrollamiento eléctrico de las bobinas del motor el simulador de desgaste podrá entrar nuevamente en servicios y ejecutar en él las operaciones para el cual fue diseñado.
- ❖ La recuperación del motor del simulador del desgaste resultó ser más factible que la compra de otro motor con estas mismas características.



### **Recomendaciones**

- ❖ Realizarr en próximo trabajo la recuperación del sistema de alimentación de la fuente eléctrica del motor ya que el funcionamiento de este es a través de corriente directa (CD).
- ❖ El funcionamiento del equipo está sujeto al suministro de corriente de la fuente que está adjunto a él, la conexión del motor a línea de la red nacional directamente conllevaría a quemarlo nuevamente.



## Bibliografía

1. Aguilar Joel, Desarrollo de un prototipo tribológico húmedo funcional para pruebas de abrasión en un tribosistema acuoso, Tesis de Maestría, SEPI ESIME IPN, México, Septiembre de 2002.
2. Berns, H. et al., Wear Water, 2 1987, págs. 535 - 542.
3. Carrillo C.J.N., Consideraciones tribológicas en el diseño de un puente de carga para una máquina reciprocante de esfera sobre placa empleada en el estudio del desgaste, Tesis de Maestría, SEPI ESIME IPN, México, Marzo de 2001.
4. Dobrovolski, Zablensky, Mak, Radchik, Erlij. Elementos de maquinas. Editorial Mir, Moscú, 1970.
5. Deuis, R.L. C. Subramian, Three-body abrasive wear of composite coatings in dry and wet environments, Wear 214, 1998, pg. 112-130.
6. Escanaverino, J. M. Teoría y práctica del rozamiento. La Habana, 1983.
7. Finnie, I., Erosion of Surface by Solid Particles, Shell Development Company, Emeryville, California, USA.
8. Gallardo H.E.A., Desarrollo de un prototipo tribológico funcional de configuración esfera sobre disco para medir el desgaste por deslizamiento en condiciones secas y lubricadas, Tesis Maestría, SEPI ESIME IPN, México, Febrero de 2003.
9. Gatzanis, E. The Abrasion and Abrasion - Corrosion Properties of 9 % chromium Steel. Wear 165, 1993, págs. 213 - 220.
10. Govantes, G. Rodríguez, G. Relación entre el desgaste abrasivo, composición química y propiedades mecánicas de una familia de aceros inoxidables al Cr-Ni-Cu-Al. Revista construcción de maquinarias. Santa Clara, No 1: 21-26, 1989.
11. Herrera G.M.A., Desarrollo de un prototipo tribológico funcional para evaluar el desgaste por fatiga por contacto de rodadura, Tesis Maestría, SEPI ESIME IPN, México, Agosto de 2003.
12. Luna C.J.R., Desarrollo de un prototipo erosionador funcional que emplea aire a presión y partículas de carburo de silicio (SiC), Tesis Maestría, SEPI ESIME IPN, México, Septiembre de 2003.



13. Márquez M.A.L. Diseño de una máquina tribológica para pruebas de desgaste abrasivo severo, Tesis de Maestría, SEPI ESIME IPN, México, Febrero de 2002.
14. Martínez, F. Martínez, H. Adaptación de máquinas pulidoras para ensayos de desgaste abrasivo. Revista construcción de maquinaria. Santa Clara. No 1: 47-55. 1981.
15. Morera Hernández, M. Accionamiento eléctrico automatizado I. Editorial Pueblo y educación. La Habana, 1998.
16. Peña B. A, Caracterización mecánica y tribológica del al 6061-t651 y del al 6061-t651 con recubrimiento de fosfato de cromo, Tesis Maestría, SEPI ESIME IPN, México, Abril de 2002.
17. Raymond G. Bayer, Mechanical wear prediction and prevention, Edit. Marcel Dekker, 1994. USA.
18. Rosemberg. R. Reparaciones de motores eléctricos. Edit Nacional de Cuba 1964.
19. Suárez, A. Resistencia al desgaste abrasivo del hierro fundido de baja aleación. Boletín de información científico técnico. La Habana, No 2: 40-54, 1988.
20. Shigley, J.E; Mischke, C.R. Diseño en Ingeniería Mecánica. Editorial MC Graw Hill, 2001.
21. Verdeja, L, González, R. El desgaste de materiales en el crisol de horno alto: conceptos generales. Revista de minas. Madrid: No 13 -14, 1996.
22. Veshenevski, S.: Características de los motores en el accionamiento eléctrico. Editorial Mir, Moscú. 1976. 407 p.
23. Wirojanupatump, P.H, A direct comparison of wet and dry abrasion behavior of mild steel, Wear 223-235 (1999) 655 - 665.
24. Zum-Gahr, K., "Formation of Wear Debris by the Abrasion of Ductile Metals", Wear 74, 1981-1982, págs. 353 - 373.

1. .

Fecha:	Plan(x) Extra()	Denominación: R. Motor 4KW 3600 rev/min		Dimensiones:		Destino:___			
Cant: 1	Ruta: 05	Orden:	Nº.Plan	Empresa Solicitante:					
Material Utilizado	Peso Mat kg:	Peso Neto kg: ___		Material Predominante: _		Nº de tecnología: _			
Nº	Operación.	Equipo Tecnológico.	Espec. Trab.	Tiempo Hrs.	Tarifa Horaria.	Importe.	Observaciones.		
	Amarrar Devanado		Electricista enrollador C	0,420	2,50	1,05	V	Enrollado	4,92
	Barnizado		Electricista enrollador C	0,250	2,50	0,63	V	Enrollado	
	Conexión del Devanado		Electricista enrollador C	0,500	2,50	1,25	V	Enrollado	
	Confeccionar bobinas	Bobinadora SN40	Electricista enrollador C	0,500	2,50	1,25	V	Enrollado	
	Empapelar		Electricista enrollador C	0,500	2,50	1,25	V	Enrollado	
	Extracción de bobinas		Electricista enrollador C	0,500	2,50	1,25	V	Enrollado	
	Montaje de bobinas.		Electricista enrollador C	2,000	2,50	5,00	V	Enrollado	
	Pruebas de aislamiento	MeggerMD-5060x	Electricista enrollador C	0,080	2,50	0,20	V	Enrollado	
	Toma de datos del Equipo.		Electricista enrollador C	0,170	2,50	0,43	V	Enrollado	
	Arme del Equipo.		Mecánico de Mantenimiento Industrial B	0,820	2,63	2,16	VII	Ensamb	2,44
	Defectado Mecánico		Mecánico de Mantenimiento Industrial B	0,700	2,63	1,84	VII	Ensamb	
	Desarme del Motor.		Mecánico de Mantenimiento Industrial B	0,500	2,63	1,32	VII	Ensamb	
	Extracción Rodamientos.		Mecánico de Mantenimiento Industrial B	0,420	2,63	1,10	VII	Ensamb	
	Pintura		Operador Máquinas A	0,250	2,63	0,66	VII	Pintura	0,25
	Pruebas MOhm y Polaridad	Regulador Tensión	Técnico C Maq. Elect. Equip.Prim.	0,250	2,63	0,66	VII	Pruebas	0,58
	Pruebas Vacío	Regulador Tensión	Técnico C Maq. Elect. Equip.Prim.	0,330	2,63	0,87	VII	Pruebas	
	Torneado de ajuste	Torno 16k20	Operador Máquinas A	2,600	2,63	6,84	VII	Torneado	3,90
	Torneado de desbaste	Torno 16k20	Operador Máquinas A	0,800	2,63	2,10	VII	Torneado	
	Verificar Ajustes		Operador Máquinas A	0,500	2,63	1,32	VII	Torneado	
	Transportación de partes y piezas.	Grúa viajera.	Operador de grúa viajera.	3,340	2,45	8,18	IV	Izaje y traslado	3,34
	Supervisión y Emisión de Documentos.		J. Brigadas.	4,450	3,25	14,46	XI	Supervis y control.	4,45

Elaborado: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_ Importe Salario: 53,80  
Aprobado: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_



Ficha de precio

Material Utilizado	Unidad	Cant.	Código.	Precio U	Importe	Genérico.
Papel nomex 0.25 mm	kg	0.3	67911030170000	72,08	18.02	
Alambre de cobre esmaltado de 1.15	kg	3.6	676202200200000	15,65	56.34	
Arandela de presión m8	U	8.0	30314510080000	0,005	0.04	
Barniz royalac 521	l	0.3	34840800460000	9,36	2.808	
Barniz electroaislante secado al horno	l	0.5	34840800440000	7,6	3.8	
Cable flexible forro pvc 600v de 2.5mm	M	1.0	67631200050000	0,19	0.19	
Diluyente p/barniz	l	0.3	34850000390000	4,95	1.2375	
Diluyente 91-92	L	0.1	34799940310000	4,2	0.42	
Grasa speerol ap-2	kg	0.2	23330401020000	1,57	0.2355	
Lija de tela #60	U	1.0	31040100180000	0,57	0.57	
Tela de esmeril g.180	U	1.0	31040118000000	0,44	0.44	
Tubo ac.aisi 1020 de 76x10mm	kg	2.00	27610600700000	1,21	2.42	
Esmalte gris	l	0.5	34810310370000	15,58	7.79	
Rodamiento 6307	U	1.0	30600091260000	5,3	5.3	
Rodamiento 6305	U	1.0	30601163050000	2,36	2.36	
Tubo flexible (spaguetty)2mm	M	2.0	67910860310000	0,53	1.06	
Tornillo m8x30	U	8	30340111160000	0,05	0.4	

Importe Total

