



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA
MOTORES ELÉCTRICOS CON BASE EN MONITOREO DE TEMPERATURA
Y VIBRACIÓN**

Jerónimo Díaz Quiñónez

Asesorado por el Ingeniero Alfredo Arturo Arroyo Arriola

Guatemala, agosto de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA
MOTORES ELÉCTRICOS CON BASE EN MONITOREO DE TEMPERATURA
Y VIBRACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR:

JERONIMO DIAZ QUIÑONEZ

ASESORADO POR EL INGENIERO ALFREDO ARTURO ARROYO ARRIOLA

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO
GUATEMALA, AGOSTO DE 2008**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Álvaro Antonio Ávila Pinzón
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MOTORES ELÉCTRICOS CON BASE EN MONITOREO DE TEMPERATURA Y VIBRACIÓN,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica, el 06 de noviembre 2006.

Jerónimo Díaz Quiñónez

AGRADECIMIENTOS A:

- DIOS** Por bendecirme para lograr este sueño y todas las metas que me proponga. Por protegerme en todo momento.
- CELIA Y RAFAEL** Por su amor y comprensión, quienes me apoyaron e incitaron a ser un triunfador.
- SEBASTIAN Y MARIANA** Quienes están siempre donde los necesito.
- KARLA** La mujer de mi vida y mis sueños, quien me apoya, me ama y entiende.
- MI FAMILIA** Por el apoyo incondicional.
- MIS AMIGOS** Por todos momentos vividos y compartidos,
Gracias

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
FASE DE INVESTIGACIÓN	
1. ANTECEDENTES DE MOLINOS MODERNOS	1
1.1. Antecedentes históricos de la empresa.	1
1.2. Descripción general de la empresa.	1
1.2.1 Misión y visión de la empresa.	1
1.2.2 Política de calidad.	2
1.2.3 Descripción de la planta.	2
2. CONCEPTOS BÁSICOS	3
2.1 Mantenimiento.	3
2.1.1 Fuentes de falla en una máquina.	3
2.2 Tipos de mantenimiento.	5
2.2.1 Mantenimiento correctivo.	6
2.2.2 Mantenimiento preventivo.	6
2.2.3 Mantenimiento predictivo.	8
2.2.1 Importancia de mantenimiento predictivo.	9
2.2.1.1 Técnicas básicas en las que se base el mantenimiento predictivo.	11
2.2.1.2 Factores de mantenimiento predictivo.	11
2.2.1.3 Tipos de análisis de mantenimiento predictivo.	12

2.3 Vibraciones mecánicas.	13
2.3.1 Principios básicos.	15
2.3.1.1 Amplitud, frecuencia y fase	15
2.3.1.2 Desplazamiento	17
2.3.1.3 Velocidad	18
2.3.1.4 Aceleración	19
2.3.1.5 Vibración periódica, armónica.	19
2.3.1.6 Suma de vibraciones	20
2.3.1.7 Análisis de vibraciones	20
2.3.2 Instrumentos de medición de la vibración	21
2.3.2.1 Transductores de vibración	21
2.3.2.2 Sensores de aceleración	23
2.3.2.3 Sensor de velocidad	24
2.3.2.4 Sensor de desplazamiento	26
2.3.2.5 Criterio para selección del sensor de vibración	27
2.4 Temperatura	28
2.4.1 Teoría de temperatura	28
2.4.2 Instrumentos de medición de temperatura	32
2.5 Rodamientos	37
2.5.1 Tipos de rodamientos	39
2.5.2 Mantenimiento de rodamientos	47
2.6 Lubricación	48
2.6.1 Principios de lubricación	49
2.6.2 Pruebas fundamentales para análisis de aceites	50
2.6.3 Lubricación para rodamientos	51
2.6.3.1 Lubricantes con aditivos	53
2.6.3.2 Grasas lubricantes	54

2.7 Tipos de motores eléctricos utilizados	56
2.7.1 Clasificación de motores de inducción tipo jaula de ardilla	62
FASE TÉCNICO PROFESIONAL	
3. DISEÑO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	65
3.1 Por temperatura	65
3.1.1 Evaluación de puntos calientes en un motor eléctrico	65
3.1.2 Determinaciones de motores críticos	67
3.1.3 Elaboración de ruta crítica	67
3.1.4 Períodos de toma de temperaturas	79
3.1.5 Factores importantes en la toma de temperaturas	79
3.2 Por vibraciones	80
3.2.1 Reemplazo de rodamientos en mal estado	81
4. RESULTADOS	87
4.1 Datos obtenidos en mediciones de temperatura	87
4.1.1 Tabulación de datos	87
4.1.2 Análisis de gráficos obtenidos con base a tabulación de temperaturas	87
4.2 Datos obtenidos de mediciones de vibraciones mecánicas	105
4.2.1 Análisis de gráficos obtenidos	106
FASE DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE	
5 FASE DIDÁCTICA	115
5.1 Programa de capacitación	115
5.1.1 Conceptos básicos	115
5.1.2 Bases para diseño de mantenimiento predictivo.	118
5.2 Metodología	118

CONCLUSIONES	121
RECOMENDACIONES	123
BIBLIOGRAFÍA	125
ANEXOS	127

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Ubicación de planta	2
2	Amplitud de onda sonora	15
3	Ejemplo de frecuencia	16
4	Sistema de masa resorte	17
5	Sensor de aceleración	23
6	Sensor de velocidad	25
7	Ubicación del sensor de desplazamiento	26
8	Primer aparato para medición de temperatura	33
9	Varios estilos de termómetros infrarrojos	35
10	Toma de temperatura de motor eléctrico	37
11	Rodamientos rígidos de bolas	39
12	Rodamientos de bolas a rótula (de bolas oscilante)	40
13	Rodamientos de rodillos cilíndricos	41
14	Rodamientos de rodillos cilíndricos a rótula (de rodillos cilíndricos oscilante)	42
15	Rodamientos de agujas	42
16	Rodamientos de bolas con contacto angular	43
17	Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos	44
18	Rodamientos axiales de bolas y rodamientos axiales de bolas	44
19	Rodamientos de rodillos cónicos	45
20	Rodamientos axiales de rodillos cónicos a rótula	46
21	Rodamientos axiales de agujas	46
22	Balero mal ajustado y balero con exceso de grasa	52
23	Balero contaminado	52
24	Balero fatigado	53

25	Tipos de lubricación, por aceite o grasa	55
26	Partes de motor tipo jaula de ardilla	56
27	Motor eléctrico jaula de ardilla	61
28	Motor jaula de ardilla, con carcaza abierta	64
29	Montaje de sensores de velocidad	66
30	Ubicación de puntos calientes	66
31	Punto caliente	67
32	Transmisión 1, molino A	70
33	Transmisión 2, molino A	70
34	Transmisión 1, molino B	71
35	Transmisión 2, molino B	71
36	Motor de ventilador alta presión molino A	72
37	Motor de ventilador de baja presión molino A	72
38	Ventilador de baja presión, molino A	73
39	Motor de ventilador de baja presión 150	73
40	Motor de ventilador de baja presión 151	74
41	Motor de ventilador de baja presión 106	74
42	Motor de ventilador de alta presión 110	75
43	Ventilador alta presión 110	75
44	Soplante de harina a filtro del 5to	76
45	Soplante de harina a silos, molino A	76
46	Soplante de harina a silos, molino B	77
47	Soplante de harina a silos, molino B	77
48	Motor de banco T1 (N)	78
49	Motor de banco T1 (S)	78
50	Equipo Schenck serie 60	81
51	Caja reductora, cojinete inserto	82
52	Equipo para el calentamiento de los rodamientos	82
53	Herramienta de extracción de rodamientos	83

54	Eje con rodamientos en mal estado	84
55	Extracción de rodamientos	84
56	Herramienta de montaje de rodamientos de golpe	85
57	Montaje de cojinete con herramienta de golpe	85
58	Prueba de gráfico	89
59	Comparación de 4 motores, punto No.1	90
60	Motores de transmisión del molino A	91
61	Motores de transmisiones del molino B	92
62	Comparación de motores de transmisiones 1, de ambos molinos	93
63	Comparación de motores de transmisiones 2, de ambos molinos	94
64	Comparación de 3 motores de soplantes de ambos molinos	96
65	Motores de banco T-1, molino B, punto No.1 (P1)	98
66	Motores de banco T-1, molino B, punto No.2 (P2)	99
67	Comparación de 3 motores de ventilador de baja presión	101
68	Comparación de 3 motores de ventiladores de alta presión	103
69	Comparación de motores de ventiladores de alta y baja presión del molino A	104
70	Ventilador 150	106
71	Espectro de frecuencia de ventilador 150	107
72	Ventilador 151	109
73	Espectro de frecuencia de ventilador 151	110
74	Ventilador de alta presión del molino A	111
75	Espectro de frecuencia de ventilador de alta presión del molino A	112

TABLAS

I	Comparación de temperaturas en diferentes escalas	32
II	Especificaciones de motores tipo jaula de ardilla, según NEMA	57
III	Lista de motores críticos	68
IV	Soplantes de harina	95
V	Ventiladores de baja presión	99
VI	Ventiladores de alta	101
VII	Ventiladores	103
VIII	Ventilador 150	108
VIX	Motor 151	110
X	Ventilador de alta presión	112
XI	Análisis de horas de producción	127
XII	Norma ISO 2372	128
XIII	Base de datos de temperaturas	129

FÓRMULAS

1	Desplazamiento	17
2	Velocidad	18
3	Aceleración	19
4	Ley Cero	30

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Hz	Hertz
HP	Horse Power (caballo de fuerza)
TM	Tonelada Métrica
NGLI	National Lubricating Grease Association

GLOSARIO

<i>BPM</i>	Buenas prácticas de manufactura, es todo lo relacionado higiene personal y el buen manejo de productos alimenticios para consumo humano.
<i>G*pico</i>	Valor máximo que se le puede alcanzar la aceleración de la fuerza de gravedad hacia la superficie del planeta.
<i>Hertz</i>	Es medida de frecuencia, es el período inverso.
<i>Infrarrojo</i>	Referente a las radiaciones de temperatura, son las ondas en las que se propaga el calor. Tiene la misma naturaleza que la luz, solo que es de longitud de onda mas larga.
<i>Viscosidad</i>	Medida de la resistencia de un líquido a fluir. La medida común métrica de la viscosidad absoluta es el Poise, que es definido como la fuerza necesaria para mover un centímetro cuadrado de área sobre una superficie paralela a la velocidad de 1 cm. por segundo.

Lubricación limítrofe

Es la lubricación que se da cuando la película de lubricante es muy delgada, casi nula.

Gripado

Cuando dos superficies metálicas deslizan, una contra la otra, por muy pulidas que estén, siempre existen rugosidades microscópicas que por efecto del rozamiento se desgastan.

Fatiga

Cansancio causado por trabajo, disminución de propiedades mecánicas de la pieza por la labor efectuada.

HP

Es dimensión de medida de potencia en el sistema internacional, caballos de fuerza.

RPM

Revoluciones por minuto, un giro de 360°, de un eje, volante o pieza circular en un minuto.

Temperatura nominal de trabajo

de Esta es la temperatura que tiene un motor eléctrico tipo jaula de ardilla, trabajando con plena carga.

RESUMEN

El mantenimiento es la serie de trabajos a ejecutar sobre el equipo, con el fin de prolongar la vida útil y aumentar el servicio continuo. Existen varios tipos de mantenimiento como mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, este último se base en la detección temprana de defectos, sin necesidad de detener y desmontar la máquina.

El mantenimiento predictivo se realiza con base a ciertas señales físicas como la temperatura nominal de trabajo y la vibración de la máquina. Para realizar medidas de temperatura nominal se pueden utilizar varias herramientas, como un termopar, termistor y termómetros láser. Para realizar tomas de vibraciones mecánicas, se puede utilizar un transductor de vibración, denominado sensor, es un dispositivo que convierte el movimiento mecánico a señal eléctrica que es proporcional al movimiento.

Un motor crítico es aquel que si en algún momento falla, la producción en general para. Al realizar una ruta crítica para la toma de señales físicas, deben incluir motores críticos, la toma de temperatura se realiza en un punto caliente específico sobre la circunferencia de la carcasa del motor (alojamiento), que se encuentra en contacto directo con el rodamiento. Cuando aumenta la temperatura en un motor crítico, pueden ser señal de rodamientos en mal estado o des-balance en poleas, a raíz de este aumento se realiza el análisis de vibración.

Esta es la manera de utilizar el mantenimiento predictivo, antes que falle el motor se analizan las señales físicas del motor y se le realiza un mantenimiento preventivo antes de que falle por completo y sea pérdida para producción.

OBJETIVOS

Generales:

1. Conocer los diferentes tipos de análisis para realizar un mantenimiento predictivo.
2. Llegar a entender el comportamiento de los cojinetes en motores eléctricos, basados en aumentos de temperatura.

Específicos:

1. Evitar los paros no programados, por mal mantenimiento.
2. Aumentar la producción evitando paros no programados que afectan a la producción.
3. Optimizar el mantenimiento preventivo realizado en estos molinos.
4. Crear bases para realizar mantenimientos predictivos invariables, en esta planta.

INTRODUCCIÓN

En Molinos Modernos, trabajan molinos con un circuito de aire a presión proporcionada por ventiladores centrífugos que se manejan a un 100% por motores eléctricos, a estos motores se le denomina motores eléctricos críticos, ya que si fallan estos ventiladores el proceso de producción de harina es detenido.

En el mantenimiento de los motores mencionados, existen antecedentes de los mantenimientos realizados, pero los más recientes, no cuentan con dicha información, información que es importante para poder aplicar el mantenimiento predictivo.

Los molinos se dedican exclusivamente a la molienda de grano de trigo para obtener harina de trigo y los derivados de éstos, como el salvado, germen de trigo y granillo.

En este informe final se describen conceptos de mantenimiento predictivo de un motor eléctrico, las bases del por qué del aumento de temperatura de un rodamiento, al momento de que el rodamiento se encuentre en mal estado, su temperatura aumenta, se transfiere al exterior del motor para disiparlo y en ese momento se debe de medir, y llevar un registro de aumentos de temperatura, pero no es suficiente solo con el análisis de la temperatura.

Las herramientas para respaldar el estado funcional del cojinete son un registro de mantenimiento y análisis de vibración.

Con este proyecto se realizó las bases para que en un futuro, los colaboradores del mantenimiento de motores o del sistema total de estos molinos, cuenten con una herramienta bastante acertada sobre el estado de los cojinetes o del motor en si para su rendimiento óptimo.

Este proyecto se llevó a cabo con el jefe de mantenimiento, con ayuda de personal de mantenimiento, jefes de producción y gerentes de producción.

Fase de Investigación

1 ANTECEDENTES DE MOLINOS MODERNOS

1.1 Antecedentes históricos de Molinos Modernos:

Molino Excelsior, S.A., inicia la primera operación industrial de fabricación de harinas de trigo en Guatemala, cerca del año 1930, esta es la base de Molinos Modernos. En 1963 Inicio de operaciones de Molinos Modernos, S.A., se instala en la capital donde se encuentra el mayor mercado para el consumo de harina. Como parte de su expansión, Molinos Modernos, S.A. compra Molino Cuatro Aspas.

Se adquieren las empresas de pasta y galletas quien eran clientes de Molinos Modernos. En 1994, Se une la planta de INHSA donde se produce la marca reconocida Gold Medal. Al rededor del año 2000, se Abren operaciones en El Salvador.

1.2 Descripción general de la empresa:

1.2.1 Visión y misión:

Visión: Ser líder en la producción y comercialización de harina de trigo y productos derivados, como pastas y galletas en Centroamérica.

Misión: Producir y comercializar productos derivados de los cereales que satisfagan las necesidades del cliente y contribuir al mejoramiento de calidad de vida de nuestros colaboradores.

1.2.2 Política de calidad

Producir y comercializar harinas de trigo, que cumplan con los requisitos de las buenas practicas de manufactura (BPM), seguridad industrial, establecidos en el sistema de gestión de calidad ISO.

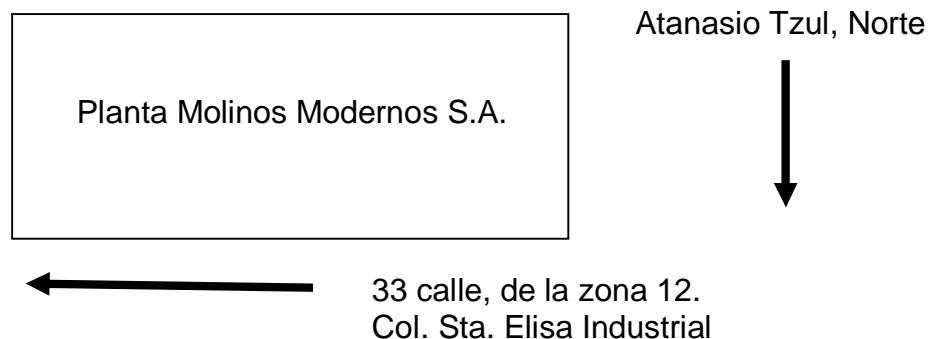
1.2.3 Descripción de la planta

Esta empresa está conformada por un área 17255 m², ubicada en Guatemala, en la 33 calle 25-30 Z.12, PBX: 24298300.

Opera en dos edificios de cinco niveles cada uno donde se encuentra ubicada toda la maquinaria que se utiliza para procesar trigo y producir harina panificable. Proceso que consiste en triturar, moler (entre 2 cilindros de acero que su peso aproximados son 7 quintales) y clasificar varias veces el grano para separar cáscara del endospermo (harina), la primera pasada denominada T-1 (trituración pasada 1), y la última denomina C-10 (compresión pasada 10).

Se cuenta con dos unidades de producción con capacidad de 250 TM/Día cada uno y se identifican como molino A y B.

Figura 1. Ubicación de planta



2. CONCEPTOS BÁSICOS

2.1 Mantenimiento

Es la serie de trabajos a ejecutar sobre el equipo, con el fin de prolongar la vida útil y aumentar el servicio continuo. La base fundamental del mantenimiento es lograr que la instalación, maquinaria o equipo opere el mayor número de horas posibles sin problemas y en condiciones de calidad de producción o servicio exigibles, los objetivos del mantenimiento están definidos para contribuir al logro del objetivo estratégico de la empresa:

- Suministrar el nivel deseado de disponibilidad.
- Equilibrar los costos de mantenimiento y producción.
- Planificar tareas.
- Optimizar recursos para minimizar los costos.

2.1.1 Fuentes de fallas en una máquina

Las fallas que se originan en un equipo o maquinaria, se ocasionan por:
La maquinaria o equipo mismo: Se vuelve una fuente importante de fallas, dependiendo de las propiedades eléctricas, mecánicas y electrónicas de sus partes; la calidad de los materiales empleados en ella, la bondad del diseño y por último, la calidad de su instalación en el lugar donde será utilizada.

El ambiente circundante: Se toma como una fuente de fallas cuando es agresivo a la maquinaria, por ejemplo, la humedad y la temperatura fuera de especificaciones, polvo y humo.

El ambiente que interviene (por mantenimiento u operación): Se comporta como una fuente de fallas cuando sus habilidades manuales y de pensamiento lógico son de baja calidad; también cuando no conocen en forma plena el equipo que va a mantener; la mano de obra de mantenimiento debe de ser cuidadosamente considerada a fin de adecuarla en calidad y cantidad.

El personal operativo será una fuente de fallas si manejan mal su maquinaria, esto sucede, generalmente por ignorancia. Podría mencionarse un tercer tipo de personal que origina fallas, aquel que tiene que intervenir en las máquinas para modificar su diseño, ampliarla o interaccionarla con otras.

En cualquier caso personal de mantenimiento será el responsable de la buena conservación de la maquinaria, ya que su labor esta enfocada a que no se pierda el servicio que este presta.

Todo lo anterior podrá crear el siguiente principio esencial de mantenimiento “***Toda maquinaria se debe reparar lo menos posible***”. La base del mantenimiento preventivo consiste en establecer una serie de controles que permitan detectar que la maquinaria está dando el rendimiento requerido y que no sobrepase los límites de tolerancia, calculado previamente por el fabricante.

Los trabajos de mantenimiento exigen calidad y sobretodo, la aplicación de criterio económico profundo; en ocasiones es preferible cambiar la parte afectada de una máquina, aunque, a primera vista, parezca costoso cambiarla. Por creerlo más económico, algunas veces se reparan las piezas con el riesgo de no garantizar el funcionamiento continuo del equipo.

También existen ocasiones en que es necesario hacer una reparación de emergencia, pero de buena calidad, a fin de programar posteriormente, una reparación adecuada.

Por lo tanto, para que el personal de mantenimiento consiga un criterio adecuado sustentado sobre bases firmes es necesario establecer en primer lugar, políticas que determinen como debe de actuar en los casos más comunes de mantenimiento.

Después del establecimiento de estas normas, se hace necesario sistematizar el trabajo de mantenimiento, estableciendo procedimientos a fin de ejecutar este en la forma más repetitiva posible, para así lograr un mejor rendimiento.

Con los procedimientos establecidos se puede lograr la simplificación del trabajo al estudiar los métodos que los componen permitiendo, entre otras cosas, la estandarización del tiempo.

2.2 Tipos de mantenimiento

Según varias fuentes de investigación, la clasificación de tipos de mantenimiento es:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo

2.2.1 Mantenimiento correctivo

Es la serie de trabajos necesarios a ejecutar cuando el mantenimiento preventivo indica que se impone una reparación del equipo.

Dichas reparaciones deberán efectuarse inmediatamente para prevenir mayores desperfectos, que puedan provocar el reemplazo del equipo, antes de lo planeado para el cambio. Debido a que no se puede programar la intervención, la acción se realiza de forma aleatoria, donde aparezca o se produzca la falla.

El mantenimiento correctivo se divide en dos categorías: correctivo ligero y correctivo a fondo. Correctivo ligero, es aquel que se realiza la máquina montada en el lugar de trabajo, correctivo a fondo, consiste en desmontar por completo la máquina del lugar de trabajo para el traslado a un lugar más amplio.

2.2.2 Mantenimiento preventivo

Este mantenimiento es efectuado con la intención de reducir la probabilidad de falla, consiste en someter al equipo, después de un determinado periodo de funcionamiento, a un desmontaje total o parcial para verificar su estado, procediendo a la reparación o sustitución de los elementos deteriorados y de aquellos para los que se espere una falla próxima.

En esta serie de trabajos generalmente se toman las instrucciones que dan los fabricantes al respecto, experiencias propias y aportaciones que pueden hacer los técnicos de mantenimiento en cada especialidad.

Debe llevarse a cabo por medio de programas de mantenimiento preventivo, debe planearse.

Los programas preventivos se dividen en:

a) Programa de visitas

Estas son listas de los lugares o máquinas a los cuales debe dirigirse el personal de mantenimiento, de acuerdo con la frecuencia que se haya estimado necesaria. Por lo general, se usan dos tipos de programas de visitas: a largo plazo y corto plazo, variando según la severidad del equipo o la rutina preestablecida por la empresa.

b) Programas de inspecciones, pruebas y rutinas

Los programas serán básicamente, listas de indicación de partes, en cualquier dispositivo o maquinaria que necesiten ser inspeccionados y probados rutinariamente.

- Este mantenimiento da como resultado:
- Disminución de costos por tiempo de reparación.
- Reducción en el número de reparaciones.
- Una baja los costos de reparación, puesto que los desperfectos no son de grandes magnitudes y requieren menos mano de obra.
- Una mejora de la calidad del producto.
- Reduce los consumos de energía.
- Permite el seguimiento de equipos con alto costo de mantenimiento.

2.2.3 Mantenimiento predictivo

Este mantenimiento consiste en la vigilancia o seguimiento del estado de una máquina de forma continua o discontinua, mediante la captación de señales que modifican su forma de trabajar (señales físicas), dependiendo de la falla. Las señales debidamente tratadas y analizadas se usan para diagnosticar el tipo de falla, donde se esta produciendo y su severidad. Esta información permite conocer la severidad de la fallas, así como planificar adecuadamente y con anticipación las paradas y reparaciones.

Otro de los aspectos del mantenimiento predictivo es la obtención de información más completa que se puede usar para tomar decisiones además, permite el afinamiento de las técnicas usadas en el mantenimiento preventivo.

Este tipo de mantenimiento posee entre otras las siguientes ventajas:

- Detección temprana e identificación de defectos, sin necesidad de detener y desmontar la máquina.
- Seguimiento de la evolución del defecto en el tiempo hasta que sea peligroso, esto proporciona una información muy valiosa sobre el estado real de la máquina.
- Permite programar el suministro de repuestos y la mano de obra.
- Admite proyectar la parada para corrección dentro de un tiempo muerto o parada rutinaria del proceso de producción.
- Reduce el tiempo de reparación, al tener perfectamente identificada la falla o el elemento dañado.

Las etapas fundamentales en que se sustenta el mantenimiento predictivo de fallas son:

- Medición
- Análisis
- Diagnóstico
- Corrección

2.2.3.1 Importancia del mantenimiento predictivo

Un programa de mantenimiento predictivo tiene como objetivo mantener en perfecto estado de funcionamiento la maquinaria para lograr su máximo rendimiento. Para lograr esto hay dos factores que juegan un papel importante en la tarea de mantenimiento: calidad y costos.

En calidad, por que al momento de fallar la maquinaria, la calidad del producto o servicio es afectada por esto se debe tener en óptimo funcionamiento

En costos por que, actualmente la mayoría de las empresas están poniendo en práctica métodos y sistemas que lleven a obtener una máxima producción al más bajo costo, para ser competitivas a nivel mundial. Muchas empresas tratan de lograr este objetivo únicamente en ciertas áreas y específicamente en los procesos de producción, descuidando el mantenimiento de equipo, originándose así, fuertes fugas de dinero por los excesivos paros forzados. La rentabilidad de una empresa no podrá ser óptima si se descuida la función de mantenimiento.

Muchas veces se considera que el objetivo del manteniendo es hacer que la maquinaria trabaje aunque el costo para lograrlo sea elevado, en este sentido la función de mantenimiento queda limitada a la reparación de avería; es evidente entonces que los costos de reparación será altos y la productividad baja.

Si se analiza el problema desde el punto de vista correcto, lograra alto rendimiento y bajo costo, por esto es necesario controlar los siguientes aspectos:

- Las reparaciones de emergencia.
- El tiempo muerto.
- Seguridad de los trabajadores.
- Mano de obra en reparaciones.
- Costos ocultos.

Mediante el control eficiente de los factores antes mencionados y con una adecuada planeación y programación de los trabajos de mantenimiento se puede obtener una disminución de costos. Hay que tener en mente que el funcionamiento de una máquina hasta su destrucción, es costoso.

Dado que el mantenimiento es un factor importante para el funcionamiento de las máquinas, se debe encontrar una solución; el problema radica en un alto porcentaje de las fallas, las cuales son signos o condiciones indicadoras de que fallara la maquinaria en cualquier momento. Si se usan estos signos para determinar cuando tomar acciones de mantenimiento a la máquina se podría evitar fallas prematuras. Además, no se producirán interrupciones en el servicio, (paros no programados).

El mantenimiento predictivo se efectúa mediante métodos indirectos para determinar, la condición de un equipo. Estas características de predicción, permiten aplicar en este tipo de mantenimiento las técnicas de planificación y organización, por que al momento de darse cuenta que la máquina esta dando señales de falla, se debe tomar medidas, antes de que deje de funcionar.

2.2.3.2 Técnicas principales en las que se basa el mantenimiento predictivo

Se ha considerado conveniente clasificar las técnicas principales en las que se basa el mantenimiento predictivo siguiendo un orden lógico, ya que la mayoría de estas técnicas se han originado en los sentidos humanos (vista, oído, tacto) gracias al desarrollo de instrumentos que aportan una capacidad cuantitativa de los sentidos:.

- Técnicas visuales
- Técnicas ultrasónicas
- Técnicas de temperatura
- Técnicas de vibración
- Técnicas electromagnéticas
- Técnicas de análisis de aceites

2.2.3.3 Factores del mantenimiento predictivo

Las necesidades de tener una organización apropiada de mantenimiento, de poder programar y planear con acierto, ha sido puesta de relieve por los motivos siguientes:

Una creciente mecanización, la mecanización cada vez mayor en la industria ha reducido el costo de mano de obra directa; pero a la vez ha impuesto la exigencia de conservar debidamente los medios de producción y el servicio que prestan.

Aumento de inventario de repuestos. La mecanización de la industria y la complejidad de los elementos que la forma exigen la existencia de repuestos y accesorios.

Controles más estrictos de producción, aun cuando con esta clase de control se reduce al mínimo los inventarios de materiales entre las distintas operaciones, ha provocado que sea mayor el impacto de las interrupciones en la producción. Proporcionando un mejor servicio al cliente; al mismo tiempo, se disminuye las interrupciones en la producción.

Exigencias crecientes de buena calidad. Una buena calidad en el producto terminado mejora las ventajas, pero también, hace relevante la urgencia de corregir cualquier condición impropia de producción como la calidad misma. Costos mayores, son resultado de una mano de obra cada vez más cara y el constante aumento de materia prima y accesorios.

2.2.3.4 Tipos de análisis para mantenimiento predictivo

La práctica habitual de analizar las fallas para detectar las causas que las originan, el objetivo es poder eliminarlas para que no se repitan las consecuencias; incluso se puede plantear algo más efectivo, es decir, eliminar las causas antes que ocurran por primera vez la falla.

La tecnología moderna proporciona una serie de métodos que permiten una evaluación externa de las condiciones de la maquinaria y un mayor control, sin desmontajes previos y sin afectar su funcionamiento normal. Estos métodos utilizan ciertos parámetros específicos de cada máquina para diagnosticar las fallas, lo que constituye la base del moderno mantenimiento predictivo de fallas. Emplean una serie de técnicas que permiten el seguimiento de los síntomas durante el funcionamiento normal de la máquina, entre estas se encuentran:

- Análisis de vibraciones
- Análisis de lubricante
- Análisis de temperatura
- Análisis de ruido.

La aplicación de estas técnicas, basada en la vigilancia continua para que sea eficaz comparada con los otros tipos de mantenimiento, deberá cumplir los siguientes objetivos: No impedir, ni limitar el funcionamiento de la máquina durante su ejecución. Tener un costo de implantación menos que cualquier otro tipo de mantenimiento. Permitir la detección de la falla en fase inicial, antes que se convierta en irremediable, así como la identificación o diagnóstico de la causa que la origina.

2.3 Vibraciones mecánicas

La vibración es un movimiento oscilatorio, o vaivén una posición de equilibrio hasta otra de posición máxima. Descrito también como un movimiento repetitivo que permite a un cuerpo (elemento o partícula) recuperar su posición original, si el movimiento se repite con todas sus características con valores de magnitud razonables semejantes en un cierto intervalo de tiempo, se dice que la vibración es periódica.

Existen dos tipos generales de vibración: libres y forzadas

La vibración libre es la que ocurre cuando un sistema oscila bajo la acción de fuerzas inseparables al mismo y, cuando las fuerzas externas aplicadas no existen. El sistema bajo vibración libre vibrara a una o más de sus frecuencias naturales que, son propiedades del sistema dinámico que dependen de su distribución de masa y de rigidez.

La vibración que tiene lugar bajo la excitación de fuerzas externas es una vibración forzada. Cuando la excitación es oscilante, el sistema es obligado a vibrar a la frecuencia de excitación, si esta coincide con una de las frecuencias naturales del sistema, se produce una situación de resonancia y ocurren oscilaciones peligrosamente grandes.

La vibración es inseparable a todo cuerpo rígido, por ejemplo, si a cualquier máquina, evaluando el movimiento de las partes individuales las cuales rotan, oscilan o tienen movimiento recíproco, se generan fuerzas sobre partes específicas que generan un desplazamiento del centro de masa de la parte oscilando, al voltearse periódicamente reversible en sentido, se dice entonces que esta vibrando forzada.

En la práctica es muy difícil evitar la vibración. Esta usualmente ocurre a causa de los efectos dinámicos de tolerancias en la manufactura, holguras, rodamientos o contacto de fricción entre partes de máquinas, así como fuerzas des-balanceadoras en miembros rotativos o recíprocos.

A menudo pequeñas vibraciones insignificantes pueden excitar las frecuencias de resonancia de algunas otra parte estructural y es amplificada hacia una vibración mayor.

2.3.1 Principios básicos

La vibración en términos generales, significa el movimiento de una masa o un cuerpo respecto a su posición de reposo, es un fenómeno que describe oscilaciones en forma periódica.

2.3.1.1 Amplitud, frecuencia, fase

Amplitud: La amplitud es la característica que describe la severidad de la vibración, tomando por ejemplo el sonido alto posee una gran amplitud, este sonido muestra las diferentes formas que la amplitud puede proporcionar.

Figura.2. Amplitud de onda sonora

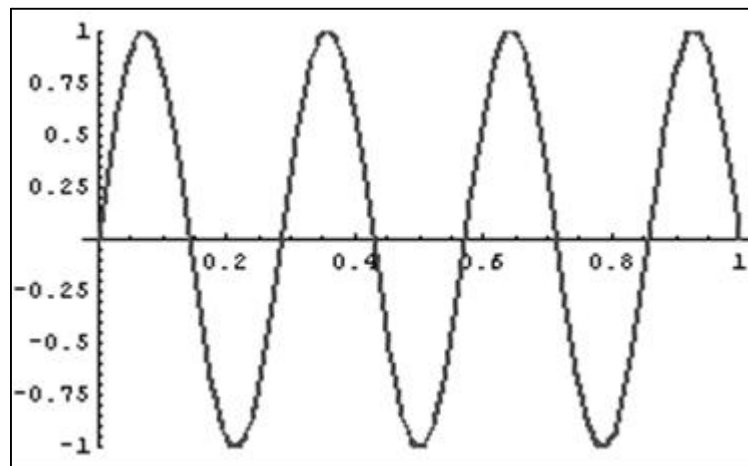


El valor pico a pico es importante para indicarle máximo viaje de la onda una cantidad útil cuando por ejemplo, el desplazamiento vibratorio de una parte de la máquina es crítico para fatiga máxima o consideración de holgura. El valor pico es particularmente importante para indicar el nivel de golpes de corta duración.

La amplitud de la vibración puede expresarse ya sea como desplazamiento, velocidad o aceleración. Cuando vemos un sistema masa resorte, consideramos la amplitud de la onda como el desplazamiento físico del extremo de la masa a cada lado de su posición de reposo.

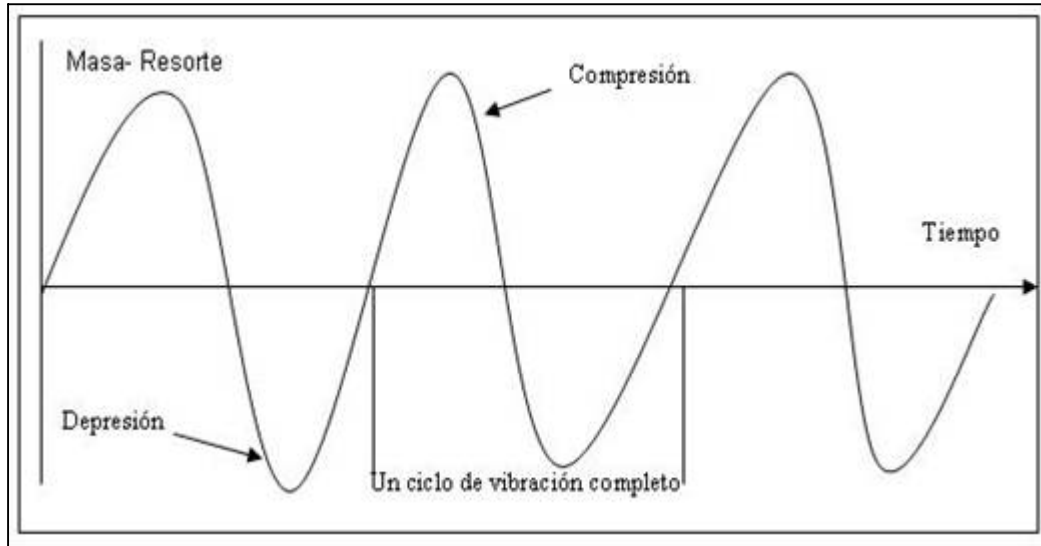
Frecuencia: La frecuencia es definida como la proporción de la repetición de una vibración periódica en una unidad de tiempo, la frecuencia de vibración (ciclos por minuto) es ha menudo expresada en múltiplos de la velocidad rotativa de la máquina de un osciloscopio y la señal del sensor de fase.

Figura 3. Ejemplo de frecuencia



Fase: La fase esta definida como la relación cronometrada en grados entre dos o más señales. La fase es la etapa en un ciclo que una onda (u otro sistema periódico) ha realizado en un momento dado, dos ondas están en fase si coinciden sus máximos y sus mínimos.

Figura 4. Sistema de masa resorte



La amplitud de los parámetros de vibración varía dependiendo de la frecuencia de medición, la velocidad se incrementa de forma directamente proporcional con la frecuencia de medición. La aceleración se incrementa con el cuadrado de la frecuencia. Conociendo cualquiera de los parámetros de amplitud de vibración (desplazamiento, velocidad o aceleración) y la frecuencia del específico seleccionando, se puede conocer los valores de los otros dos parámetros.

2.3.1.2 Desplazamiento

El desplazamiento o elongación con relación a la posición de referencia, se expresa ordinariamente en el sistema internacional como micrómetros (μm) o milésimas de pulgada en sistema inglés. En el movimiento armónico simple el desplazamiento está relacionado con el tiempo mediante:

$$X = X_0 \text{ sen } (2\pi ft) \text{ donde}$$

X = desplazamiento instantáneo correspondiente a un tiempo t

X_0 = valor máximo del desplazamiento (valor pico)

f = número de ciclos que se producen por unidad de tiempo.

El desplazamiento relaciona fuerzas estáticas o rigidez que ocasionan fallas por flexión, y enfatiza intervalos de frecuencias bajas ($<35\text{Hz}$), no es recomendable utilizar las lecturas de amplitud de desplazamiento para conocer el estado general de una máquina sin embargo este parámetro es muy utilizado en máquinas de alta velocidad con instrumentos de medición para vibraciones.

2.3.1.3 Velocidad

La velocidad o variación de desplazamiento con el respecto al tiempo se expresa ordinariamente en el sistema internacional como milímetros por segundo (Mm/s) o pulgadas por segundo en el sistema inglés, y para un movimiento armónico simple se obtiene derivando la expresión correspondiente al desplazamiento:

$$V = dx/dt = 2\pi f X_0 \text{ sen } (2\pi ft) \text{ donde}$$

v = velocidad instantánea correspondiente al tiempo t . Su valor máximo es, $2\pi f X_0$.

La velocidad es la tasa de cambio del desplazamiento, y se encuentra desfasada 90° del mismo.

2.3.1.4 Aceleración

La aceleración se obtiene derivando con respecto al tiempo la expresión de la velocidad. Para un máximo armónico simple se obtiene:

$$A = dv/dt = -4 \pi^2 f^2 X_o \text{ sen } (2\pi f t)$$

Según la expresión anterior, el valor máximo de la aceleración es $4 \pi^2 f^2$.

El signo negativo indica la oposición de la aceleración al sentido del desplazamiento. La aceleración es la razón de la velocidad, se encuentra desfasada 90° de la velocidad y 180° del desplazamiento.

Nos relaciona fuerzas donde el equipo tendrá a fallar por flexión o pandeo, La aceleración se expresa normalmente en el sistema internacional en metros por segundo cuadrado (m/s^2), pero también en G *pico, siendo G la aceleración que produce la fuerza de gravedad en la superficie de la tierra ($1G = 9.80665 m/s^2$). Las mediciones de aceleración proporcionan indicadores excelentes de alta frecuencia pero inadecuada respuesta a problemas de baja frecuencia.

2.3.1.5 Vibración periódica

Las vibraciones periódicas se repiten a si mismas con todas sus características después de un cierto intervalo de tiempo. Se denomina periodo (T) a este intervalo de tiempo que caracteriza la repetición. La frecuencia con que esa repetición ocurre es $f = 1/T$ y se expresa en ciclos por segundo, denominado hertz (Hz).

La forma básica de una vibración periódica es la vibración armónica. Es también denominada vibración senoidal y tiene una única frecuencia discreta, tal vibración puede ser originada, por ejemplo, desbalance de un acople.

2.3.1.6 Suma de vibraciones

Si dos o más vibraciones de diferentes frecuencias ocurren al mismo tiempo, se rompen y resulta una suma de vibraciones. La vibración resultante aun será periódica porque se repite a intervalos regulares de tiempo. La suma de vibraciones existe por ejemplo, en cajas de engranes y en máquinas con varios rotores desequilibrados y son el caso más comúnmente encontrado en la vida real.

2.3.1.7 Análisis de vibración

Entre variadas técnicas que se tiene a disposición para el monitoreo de equipos con fines de mantenimiento predictivo de equipos, la más útil es la del análisis de vibraciones.

Es común estimar cuál es el estado de funcionamiento de una máquina con base al ruido que esta emite. Si un motor suena bien se piensa que está en buenas condiciones, en cambio si un motor suena mal, por lo general se cree que esta en mal estado y en realidad no se esta muy lejos de la verdad.

El ruido que emite una máquina es producto de su vibración sin embargo el ruido no es más que parte de la vibración de una máquina.

El espectro de vibración contiene mucha más información y no es necesario depender del solo oído para percibirla y evaluarla, en la actualidad existen excelentes equipos de análisis de vibraciones que permiten medir e interpretar la vibración

2.3.2 Instrumentos de medición de la vibración

Para poder medir el nivel de vibración absoluta en un rodamientos, es necesario un elemento que convierta la onda de vibración que se esta generando en la máquina, a otro tipo de forma de señal, por ejemplo mecánica, eléctrica, etc. Estos elementos convertidores son los sensores de vibración.

La vibración será transmitida al sensor al estar montado en la máquina para luego convertir ese movimiento en una señal eléctrica y enviarla a un equipo receptor.

2.3.2.1 Transductores de vibración

Algunos materiales en estado sólido responden eléctricamente, a la fuerza mecánica, a menudo se utiliza como elementos de transducción mecánica a eléctrica en los transductores de impacto o vibración.

Estos materiales pueden dividirse en dos categorías:

- Autogeneradores, en que la carga eléctrica se genera como resultado directo de la fuerza aplicada.

- Circuito pasivo, en que la fuerza aplicada produce un cambio en las características eléctricas del material. Un material piezoeléctrico es aquel que produce una carga eléctrica proporcional a la tensión aplicada sobre él, dentro de un rango elástico lineal, estos materiales son del tipo autogenerador.

Un transductor denominado captador o sensor, es un dispositivo que convierte el movimiento de impacto, o bien de la vibración en señal óptica, mecánica o más habitualmente, eléctrica, que es proporcional al movimiento. La parte del transductor que logra la conversión del movimiento esta señal se denomina elemento transductor.

Un instrumento de medida o sistema de medida, convierte el movimiento del impacto o de la vibración en un formato observable que directamente proporcional al movimiento experimentado, puede consistir en un transductor con elemento transductor, un equipamiento acondicionador de la señal y un aparato para mostrar la señal. Un instrumento contiene todos estos elementos en un paquete en tanto que un sistema utiliza varios paquetes.

- Transductor de referencia fija: Una terminal de transductor esta conectado a un punto fijo en el espacio, el otro, esta conectado al punto cuyo movimiento se va a medir.
- Transductor de masa y muelle. La única terminal es la base de un sistema masa muelle, esta base esta conectada al punto donde se va a medir el impacto o la vibración. El movimiento del punto se infiere a partir del movimiento de la masa respecto de la base.

2.3.2.2 Sensores de aceleración

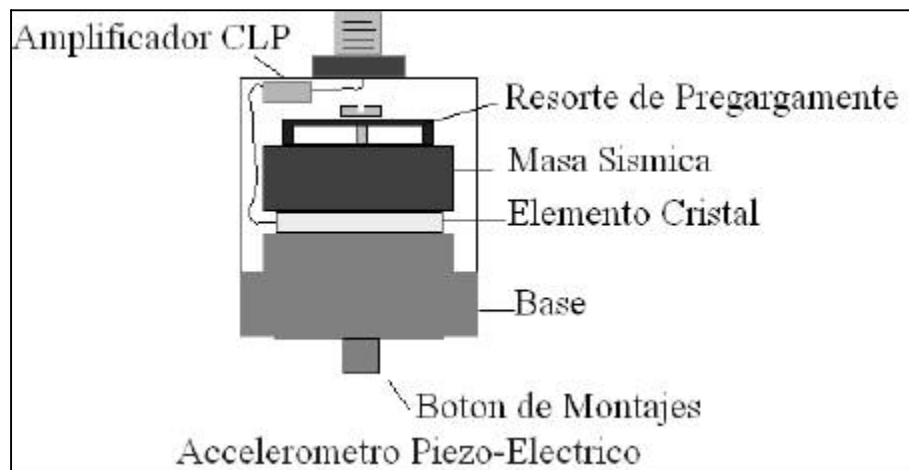
El sensor de aceleración o acelerómetro, como su nombre lo indica es un sensor que proporciona directamente la medida de la aceleración de la vibración.

Principio de operación:

La operación de un acelerómetro se basa en la masa-resorte, anterior mencionada. En este caso la frecuencia natural del sistema masa-resorte se sintoniza muy alta, para asegurar que el acelerómetro funcione a frecuencias por debajo de su resonancia.

Por la conservación del movimiento mecánico de la vibración a una señal eléctrica se emplea el efecto piezoeléctrico del cuarzo. Ese efecto es la existencia de una carga eléctrica en una de las caras del cristal que esta sometido a una tensión o compresión. Esta carga eléctrica es causada por el desplazamiento polar de las moléculas en el cristal.

Figura 5. Sensor de aceleración



En este tipo de sensor se deponen discos piezoeléctricos cerámicos (cristal) pre cargados por una masa sísmica. Con esta construcción de los discos constituye el resorte del sistema masa-resorte. Si el sistema se somete a vibración, la masa sísmica impone una fuerza alterativa en los discos, los que como resultado del efecto piezoeléctrico originan una carga alternativa.

Esa carga es proporcional a la aceleración de la vibración, el cual se convierte en tensión mediante un amplificador de carga, Como resultado de la técnica se puede obtener frecuencias de resonancia muy altas. Normalmente los acelerómetros para aplicaciones industriales tienen como límite superior de frecuencias 20 Khz., y el inferior puede ser 1 Hz.

Las aplicaciones típicas de un acelerómetro son en máquinas cuyos ejes son soportados por rodamientos. Las causas de esto es que los rodamientos transfieren de buena manera la vibración del eje a la carcaza.

2.3.2.3 Sensor de velocidad

Los sensores de velocidad o velocímetros, no necesitan de una fuente de alimentación, además de proporcionar directamente la velocidad de la vibración, en tanto que la señal proveniente de un acelerómetro necesita ser integrada para dar una lectura de velocidad de vibración.

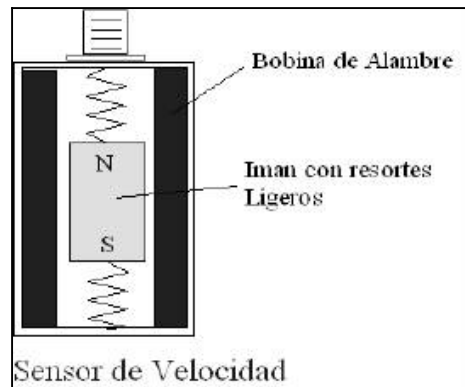
Principio de operación

Los sensores de velocidad de acuerdo al principio de electrodinámico (masa-resorte). Se suspende una bobina, libre de fricciones, mediante dos resortes o muelles de membrana que forman, junto a la bobina, un sistema de masa-resorte.

Al estar suspendida en un campo magnético permanente, la tensión que se genera será proporcional a la velocidad de vibración. Cuando el sensor es colocado en la máquina vibrando, la bobina permanece estacionario en el espacio, mientras que el magneto vibra al compás de la máquina.

El corte del campo magnético producido por las bobinas genera una tensión inducida, la cual es proporcional a la velocidad, sin que el sensor requiera fuente de potencia externa alguna. Por esta razón, un sensor de velocidad de vibración es conocido como sensor activo.

Figura 6. Sensor de velocidad



Las aplicaciones principales de sensor de velocidad se dan cuando existe la necesidad de medir la vibración de máquina de baja velocidad rotacional, debido a su elevada sensibilidad a bajas frecuencias, donde además los sensores de aceleración no son recomendados.

Por otro lado, los velocímetros normalmente se emplean para tomar medidas de vibración en máquinas con ejes soportados por rodamientos, al igual que los acelerómetros, pero se ve limitados por la velocidad de respuesta, sobre todo a altas frecuencias, y su limitado rango de frecuencia.

2.3.2.4 Sensor de desplazamiento

El sensor de proximidad también llamado "sensor de corriente de remolino", o "transductor de desplazamiento" es una unidad de montaje permanente y necesita un amplificador que condiciona la señal para generar un voltaje de salida, proporcional a la distancia entre el transductor y la extremidad de la flecha.

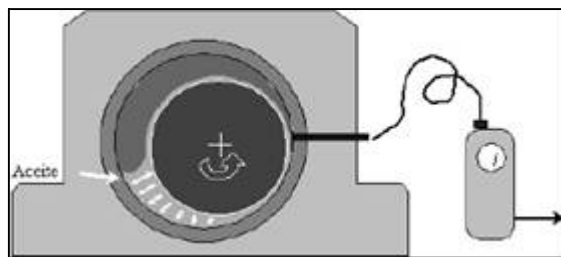
Principio de operación

Su operación está basada en un principio magnético. Y por eso, es sensible a las anomalías magnéticas en la flecha. Se debe tener cuidado para evitar que la flecha sea magnetizada y que de esta manera, la señal de salida sea contaminada.

Es importante saber que el transductor mide el desplazamiento relativo entre el rotor y carcasa (eje y alojamiento) no mide el nivel de vibración total de la flecha o del carácter.

El transductor de desplazamiento está por lo general instalado en grandes máquinas con rodamientos, donde se usa para detectar fallas en los rodamientos y para apagar la máquina antes que ocurra una falla catastrófica.

Figura 7. Ubicación del sensor de desplazamiento



Esos transductores se usan mucho en pares, separados por una diferencia de orientación de 90 grados. Se pueden conectar a los platos horizontales y verticales de un osciloscopio para señalar la órbita o la ruta del eje, cuando está dando vueltas en el rodamiento. La frecuencia de respuesta del transductor de desplazamiento va desde DC (0 Hz) hasta alrededor de 1 000 Hz.

2.2.2.5 Criterio para selección del sensor de vibración

Rango de frecuencias

El rango de frecuencias establece el intervalo donde el sensor posee capacidad de lectura (frecuencia más baja y frecuencia más alta), de tal forma que cada tipo de sensor tiene su propio rango de frecuencias. La frecuencia baja del rango es controlado por la sensibilidad del sensor y la frecuencia alta por la frecuencia natural del mismo.

Rango de sensibilidad

La capacidad del sensor de determinar la amplitud de la vibración a partir de la señal de voltaje.

Peso

El peso del sensor es importante, primero debe de ser ligero para ser transportado con facilidad, sobre todo cuando debe realizarse una rutina de lecturas, segundo el peso del sensor debe ser una pequeña fracción del peso de la carcasa del cojinete o de la máquina donde se colocara para medir, pues si este es muy pesado, el sensor puede influir en la lectura de la vibración.

Dirección de medida

La mayoría de los sensores toman lectura de la vibración únicamente en la dirección del montaje, por lo tanto hay que tratar de montar el sensor el más perpendicular a la superficie de montaje. Hay que agregar que existen además sensores que son diseñados específicamente para lecturas en posición vertical u horizontal.

Montaje

Existen varias maneras de montar el sensor sobre la máquina al tomar lecturas de vibración, y cada una tiene un significativo efecto en la habilidad del sensor de medir la vibración, así como de obtener lecturas repetidas en siguientes ocasiones.

Rango de temperatura

Es la temperatura máxima y mínima a la cual el sensor puede trabajar sin afectar su capacidad de respuesta. Hay que poner atención a este criterio, sobre todo cuando el sensor será colocado permanentemente.

2.4 Temperatura

2.4.1 Teoría de temperatura.

El calor es una forma de energía y como tal, puede pasar de un cuerpo a otro por radiación, conducción o convección. La temperatura, no es una forma de energía en si, sino una medida de la cantidad de energía que posee un cuerpo como calor. En otras palabras, si damos calor a un cuerpo, su temperatura aumenta.

La temperatura es un indicador de la energía cinética de las moléculas. Cuando un objeto se siente caliente, los átomos en su interior se están moviendo rápidamente en direcciones aleatorias y cuando se siente frío, los átomos se están moviendo lentamente

Conducción

Es la transmisión del calor por contacto molecular. La propagación tiene lugar cuando se ponen en contacto dos cuerpos que están a diferentes temperaturas o dos puntos de un mismo objeto a distintas temperaturas.

Las moléculas que reciben directamente el calor aumentan su vibración y chocan con las que rodean; estas a su vez hacen lo mismo con sus vecinas hasta que todas las moléculas del cuerpo se agitan. Por esta razón, si el extremo de una varilla metálica se calienta con una flama, transcurre cierto tiempo para el calor llegue a otro extremo.

El calor no se transmite con la misma facilidad en todos los cuerpos. Existen buenos y malos conductores. La conductibilidad es bastante menor en los líquidos que en los sólidos y aún menor en los gases.

Convección

El calor se transporta con la masa misma. Es la forma en que se transmite el calor en los fluidos, es decir, en los líquidos y en los gases.

Como el calor hace disminuir la densidad, las masas de aire o agua calientes ascienden y las frías descienden.

Radiación

La transferencia de calor por radiación se hace por medio de ondas electromagnéticas que pueden propagarse igual en un medio material que en la ausencia de este. Los cuerpos oscuros absorben la mayor parte de la radiación que reciben, en cambio los más claros reflejan más radiación de la que absorben.

La Ley Cero de la termodinámica

Si tres o más sistemas están en contacto térmico entre si y todos en equilibrio al mismo tiempo, entonces cualquier par que se tome separadamente están en equilibrio entre sí. Ahora uno de los tres sistemas puede ser calibrado como un instrumento para medir temperatura, definiendo así un termómetro.

Cuando uno calibra un termómetro, este se pone en contacto con el sistema hasta que alcanza el equilibrio térmico, obteniendo así una medida cuantitativa de la temperatura del sistema. En la temperatura del aire, el termómetro deberá alcanzar el equilibrio térmico con el aire.

¿Cómo se mide la temperatura? Todos saben que con un termómetro.

Un termómetro es un instrumento que mide la temperatura de un sistema en forma cuantitativa. Una forma fácil de hacerlo es encontrando una sustancia que tenga una propiedad que cambie de manera regular con la temperatura (es decir, que varíe linealmente)

$$t(x) = ax + b.$$

Donde t es la temperatura y cambia con la propiedad x de la sustancia.

Las constantes a y b dependen de la sustancia usada y deben ser evaluadas en dos puntos de temperatura específicos sobre la escala, por ejemplo, 0 para el punto congelamiento del agua y 100 para el punto de ebullición. Después se aclara que este es el rango de una escala ya conocida como la centígrada o celsius.

Temperatura del aire

Como el aire conduce mal el calor y tarda en alcanzar el equilibrio térmico con los sólidos y líquidos con que se encuentra en contacto, para medir su temperatura conviene adoptar precauciones.

La temperatura del aire se mide en condiciones normalizadas a nivel mundial, con el fin de asegurar la comparabilidad de los registros.

El muestreo correcto de temperatura se logra colocando debidamente el termómetro de mercurio en una caseta especial llamada abrigo meteorológico y cuya base fija la posición del bulbo termométrico a una altura aproximada de 1 a 1.5 metros sobre el nivel del suelo natural.

El abrigo permite la circulación moderada y libre del aire, este proporciona al termómetro, aislamiento de la radiación directa del sol, la lluvia y los vientos fuertes.

Tabla I. Comparación de temperaturas en diferentes escalas

Escala	Cero Absoluto	Fusión del Hielo	Evaporación
Kelvin	0 K	273.2 K	373.2 K
Rankine	0°R	491.7°R	671.7°R
Reamur	-218.5°Re	0°Re	80.0°Re
Centígrada	-273.2°C	0°C	100.0°C
Fahrenheit	-459.7°F	32°F	212.0°F

2.4.2 Instrumentos de medición de temperatura

Los primeros equipos usados para medir la temperatura fueron llamados termoscopios. Consistían en un bulbo de vidrio con un largo tubo extendido hacia abajo colocado dentro de un recipiente con agua coloreada (aunque Galileo en 1610 utilizó vino). Algo del aire contenido dentro del bulbo se extraía, por lo cual el líquido se elevaba a través del tubo para tomar su lugar.

Como el aire remanente del bulbo se calentaba o enfriaba, el nivel de líquido en el tubo variaba con los cambios de temperatura del aire. Colocando una escala grabada sobre el tubo, se podían medir en forma cuantitativa estas fluctuaciones. El aire dentro del bulbo era llamado medio termométrico, es decir aquél cuya propiedad cambiaba con la temperatura.

Figura 8. Primer aparato para medición de temperatura



Termopar

Se basa en un voltaje eléctrico producido por la unión de conductores diferentes y que cambia con la temperatura, este voltaje se usa como medida indirecta de la temperatura. T.J. Seebeck en 1826 descubrió que cuando alambres de diferentes metales son fusionados en una terminal y calentados, fluye corriente de uno a otro.

La fuerza electromotriz generada puede ser cuantitativamente relacionada con la temperatura y así el sistema puede ser usado como termómetro, conocido como termo copla. Diferentes metales son usados: níquel / aluminio y platino / platino-rodio, por ejemplo.

Termistor:

Este método se obtiene gracias a la propiedad de variación de la resistencia eléctrica con la temperatura. Sir William Siemens en 1871 propuso un termómetro donde el medio termométrico es un conductor metálico cuya resistencia cambia con la temperatura.

El platino no se oxida a altas temperaturas y tiene un cambio relativamente uniforme con la temperatura en un amplio rango. El termómetro de resistencia de platino es ampliamente usado como termómetro termoeléctrico y cubre un rango de temperaturas que va desde -260°C a 1235°C .

También se utiliza el termógrafo, cuyo órgano sensible es un bimetálico, un anillo abierto formado por dos metales con diferente coeficiente de dilatación, esto hace que al momento de aumentos o descensos de temperatura, el anillo se cierra o se abre, transmitiendo este movimiento a una pluma, que graficará las variaciones de temperatura a través del día en una faja.

Esta faja se enrolla en un tambor que gira con un sistema de relojería a razón de una vuelta por día o una vuelta por semana). Este instrumento permite establecer la hora a la que se produjo la máxima o la mínima temperatura. .

Medidores láser para temperatura

Los medidores láser para temperatura hacen posible una medición de la temperatura sin contacto por medio de la radiación infrarroja de un cuerpo. Todos estos medidores láser para temperatura poseen un rayo de luz piloto para su mejor orientación.

Los medidores láser para temperatura miden solamente la temperatura superficial de superficies visibles, por tanto no lo pueden hacer a través de un cristal. Algunos poseen un valor K previamente introducido, en otros se puede elegir el valor K dependiendo del material a medir (papel, madera, superficies metálicas, superficies no metálicas).

Si mide superficies metálicas brillantes, como por ejemplo superficies de cilindros, solamente podrá utilizar los aparatos para determinar tendencias de temperatura. No es posible realizar una medición absoluta con los medidores láser para temperatura en superficies pulidas con brillo.

Figura 9. Varios estilos de termómetros infrarrojos



¿Qué se debe tener en cuenta en una medición de temperatura sin contacto?

Las temperaturas a medir son fundamentalmente temperaturas superficiales. Se trata de un procedimiento de medición óptico. Los medidores láser para temperatura deben tener campo libre con respecto al objeto a medir.

Los rayos infrarrojos no pueden atravesar el cristal, como lo hace la luz visible. Esto quiere decir que no es posible realizar la medición a través de un cristal con los medidores láser para temperatura estándar. Deberá evitarse la existencia de polvo o restos de humedad en la lente del aparato o entre el aparato y el objeto a medir.

Principio de funcionamiento de los medidores láser para temperatura

La radiación infrarroja es una parte de la luz solar y puede descomponerse reflejándose a través de un prisma. Esta radiación posee energía. A principios del siglo XX, los científicos Planck, Stefan, Boltzmann, Wien y Kirchhoff definían las actividades del espectro electromagnético y establecían verificaciones para describir la energía infrarroja.

Esto hace posible definir la energía en relación con curvas de emisión de un cuerpo negro. Los objetos con una temperatura por encima del punto cero absoluto irradian energía. La cantidad de energía crece de manera proporcional a la cuarta potencia de la temperatura.

Este concepto es el principio básico de la medición de la temperatura por medio de infrarrojos. Con el factor de emisión se introduce una variable en esta regularidad. El factor de emisión es una medida para la relación de las radiaciones que emiten un cuerpo gris y un cuerpo negro a igual temperatura.

Un cuerpo gris es un objeto que tiene el mismo factor de emisión en todas las longitudes de onda. Un cuerpo no gris es un objeto cuyo factor de emisión cambia con la longitud de onda, por ejemplo el aluminio. Como norma general se considera que el factor de emisión es igual al factor de absorción.

Para superficies brillantes, el factor de emisión puede ser ajustado en los medidores láser para temperatura de modo manual o automático, para así corregir los errores en la medición. En la mayoría de las aplicaciones esto es muy sencillo de realizar. Para los casos en los que el factor de emisión no es constante, se puede resolver el problema midiendo en dos o más longitudes de onda.

Los medidores láser para temperatura se fabrican con muchas configuraciones, diferenciándose por sus componentes óptico o electrónico, por su tecnología, tamaño y carcasa. Todos tienen en común la cadena de transformación de señales, en cuyo comienzo se encuentra una señal IR (infrarroja) y en cuyo final hay una señal de salida electrónica. Esta cadena de medición genérica comienza con un sistema óptico de lentes y / o conductores de ondas de luz, filtros y el detector.

Figura 10. Toma de temperatura de motor eléctrico



2.5 Rodamientos

Los rodamientos se diseñan para permitir el giro relativo entre dos piezas y para soportar cargas puramente radiales, puramente axiales o combinaciones de ambas.

Cada tipo de rodamiento presenta unas propiedades que lo hacen más o menos adecuado para una aplicación determinada.

Es el conjunto de esferas que se encuentran unidas por un anillo interior y uno exterior, el rodamiento produce movimiento al objeto que se coloque sobre este y se mueve sobre el cual se apoya.

Los rodamientos se denominan también cojinetes no hidrodinámicos. Teóricamente, estos rodamientos no necesitan lubricación, ya que las bolas o rodillos ruedan sin deslizamiento dentro de una pista.

Sin embargo, como la velocidad de giro del eje no es nunca exactamente constante, las pequeñas aceleraciones producidas por las fluctuaciones de velocidad producen un deslizamiento relativo entre bola y pista.

Este deslizamiento genera calor. Para disminuir esta fricción se lubrica el rodamiento creando una película de lubricante entre las bolas y la pista de rodadura.

Las bolas, en su trayectoria circular, están sometidas alternativamente a cargas y descargas, lo que produce deformaciones alternantes, que a su vez provocan un calor de histéresis que habrá que eliminar.

Dependiendo de estas cargas, el cojinete se lubricará simplemente por grasa o por baño de aceite, que tiene mayor capacidad de disipar de calor.

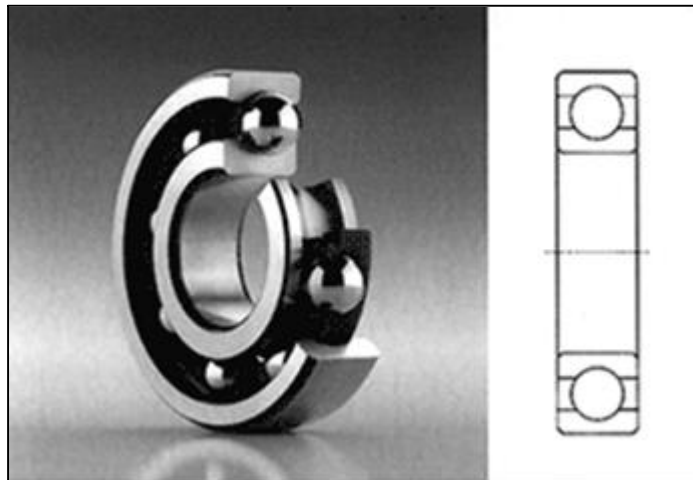
2.5.1 Tipos de rodamientos

Rodamientos rígidos 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. Con número específico, 6000, 6200, 6300.

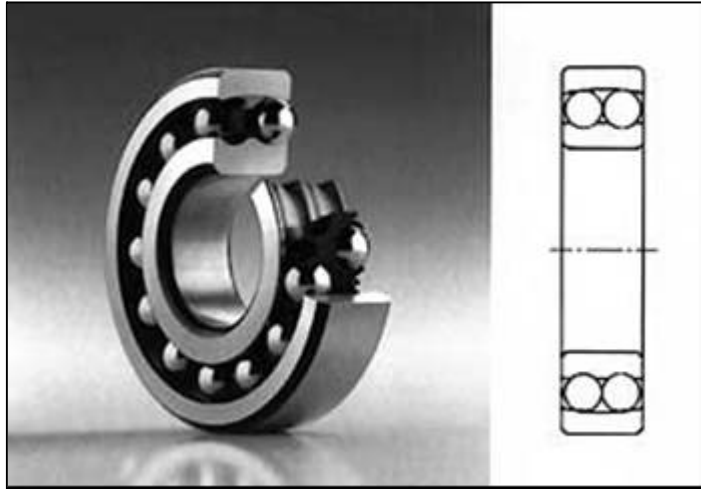
Figura 11. Rodamientos rígidos de bolas



Rodamientos de bolas a rótula (de bolas oscilante)

Insensibles a la desalineación angular. También disponibles en versiones obturadas y lubricadas de por vida, para un funcionamiento sin mantenimiento. Los rodamientos montados en manguitos de fijación y alojados en soportes de pie. Con número específico, 2200, 2300.

Figura12. Rodamientos de bolas a rótula (de bolas oscilante)



Rodamientos de sección estrecha

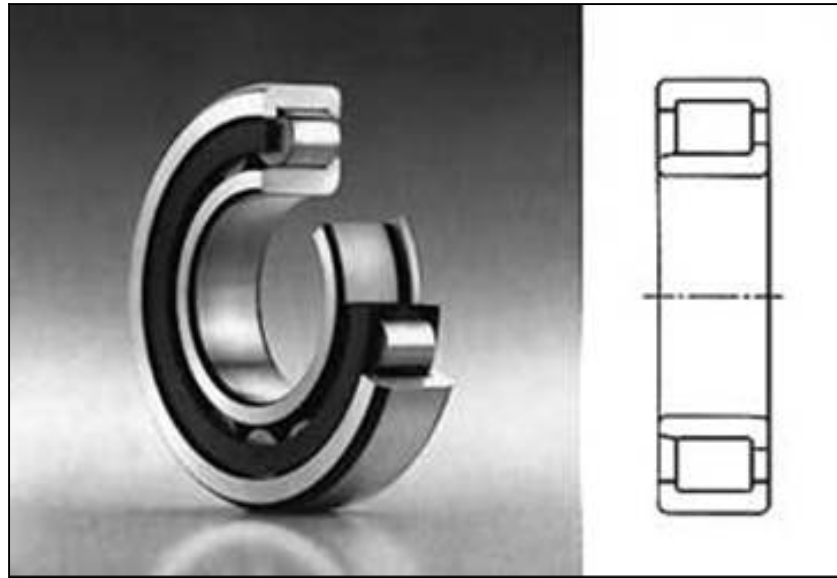
Son compactos, rígidos y ahorran espacio. Pueden soportar cargas combinadas. Una variedad de diseños ISO y de sección fija ofrece gran flexibilidad para diseñar disposiciones de bajo peso y bajo rozamiento. También disponibles en versiones obturadas para un mantenimiento sencillo.

Rodamientos de rodillos cilíndricos

Pueden soportar pesadas cargas radiales a altas velocidades. Los rodamientos de una hilera del diseño EC tienen una geometría interna optimizada que aumenta su capacidad de carga radial y axial, reduce su sensibilidad a la desalineación y facilita su lubricación.

Los rodamientos completamente llenos de rodillos incorporan el máximo número de rodillos y no tienen jaula. Están diseñados para cargas muy pesadas y velocidades moderadas.

Figura 13. Rodamientos de rodillos cilíndricos



Rodamientos de rodillos cilíndricos a rótula (de rodillos cilíndricos oscilante)

Robustos rodamientos, son insensibles a la desalineación angular. Ofrecen una gran fiabilidad y larga duración incluso en condiciones de funcionamiento difíciles.

Montados en manguitos de fijación o de desmontaje y alojados en soportes de pie. También disponibles con obturaciones para un funcionamiento libre de mantenimiento. Con número específico, NJ, NN, UN.

Figura 14. Rodamientos de rodillos cilíndricos a rótula (de rodillos cilíndricos oscilante)



Rodamientos de agujas

Su baja sección transversal les hace adecuados para espacios radiales limitados. Pueden soportar cargas radiales pesadas. La amplia variedad de diseños, incluyendo rodamientos combinados para cargas radiales y axiales, permite unas disposiciones de rodamientos sencillas, compactas y económicas. Con número específico, NQ.

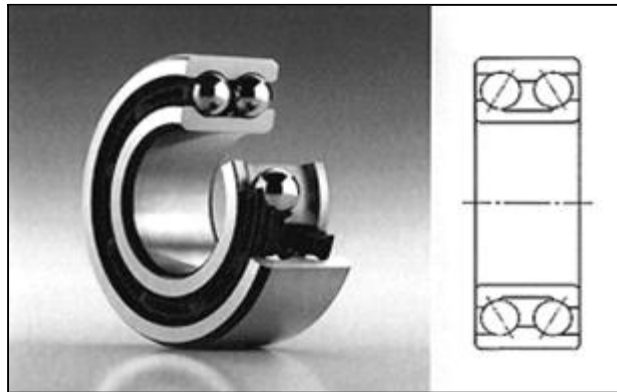
Figura 15. Rodamientos de agujas



Rodamientos de bolas con contacto angular

Diseñados para cargas combinadas, proporcionan una o varias disposiciones de rodamientos rígidas. Los rodamientos de dos hileras, también disponibles con obturaciones, simplifican las disposiciones ya que pueden soportar y fijar un eje en ambas direcciones. Los rodamientos de bolas con cuatro puntos de contacto ahorran espacio cuando las cargas axiales actúan en ambas direcciones.

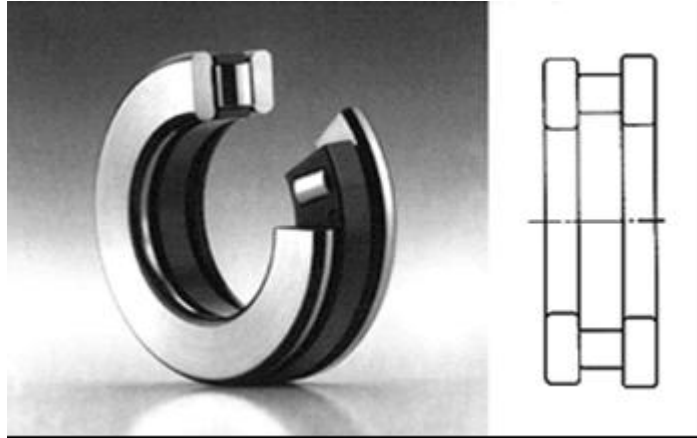
Figura 16. Rodamientos de bolas con contacto angular



Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos

Pueden soportar cargas axiales pesadas de simple efecto. Rígidos y también insensibles a las cargas de impacto. Se pueden obtener disposiciones muy compactas si los componentes adyacentes pueden servir como caminos de rodadura.

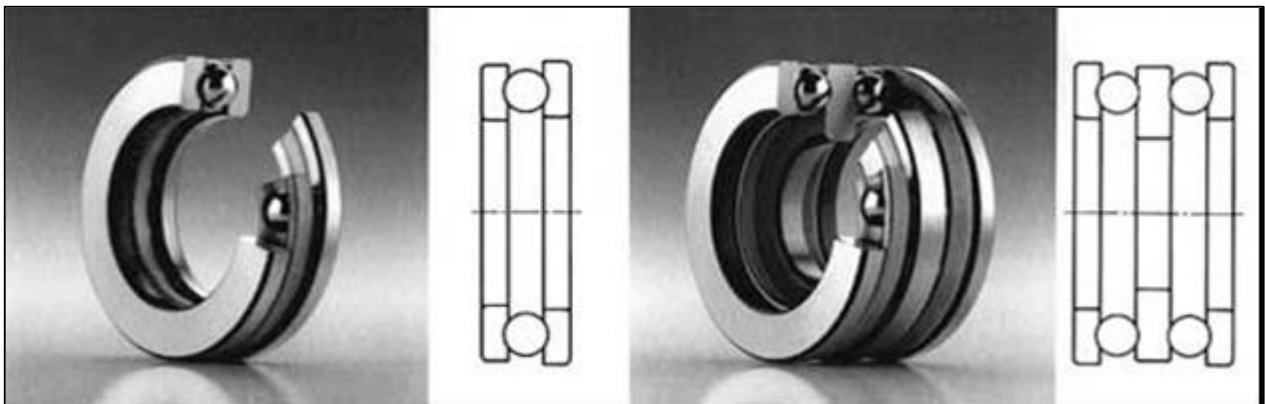
Figura 17. Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos



Rodamientos axiales de bolas

Diseñados para cargas puramente axiales. Están disponibles diseños de simple y de doble efecto, así como con contra placas esféricas para compensar los errores de alineación. Estos rodamientos son desarmables, para facilitar el montaje. Con número específico, 51200, 51100.

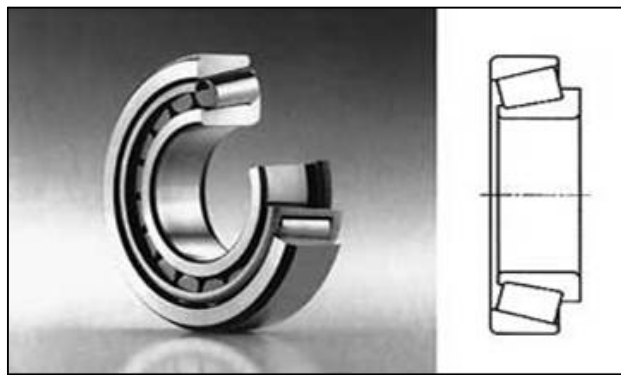
Figura 18. Rodamientos axiales de bolas y rodamientos axiales de bolas



Rodamientos de rodillos cónicos

Diseñados para pesadas cargas combinadas. Las excelentes relaciones de capacidad de carga/sección transversal proporcionan disposiciones de rodamientos económicas. Los rodamientos de rodillos cónicos son menos sensibles a la desalineación y ofrecen una larga duración, gran fiabilidad y bajas temperaturas de funcionamiento.

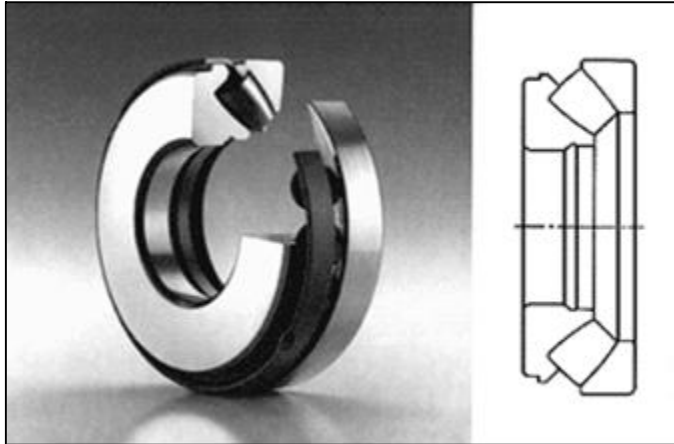
Figura 19. Rodamientos de rodillos cónicos



Rodamientos axiales de rodillos cónicos a rótula (de rodillos cónicos oscilantes)

Robustos rodamientos auto alienable, insensible a la desalineación angular. Pueden soportar fuertes cargas axiales. También pueden soportar cargas radiales de hasta un 55% de la carga axial actuando simultáneamente. Ofrecen una alta fiabilidad y gran duración, incluso en condiciones de funcionamiento difíciles. El diseño desarmable facilita el montaje.

Figura 20. Rodamientos axiales de rodillos cónicos a rótula



Rodamientos axiales de agujas

Pueden soportar cargas axiales pesadas en una dirección. Rígidos e insensibles a las cargas de impacto. La baja sección transversal proporciona varias disposiciones de rodamientos muy compactas. Si se pueden mecanizar caminos de rodadura en las piezas adyacentes, la corona de agujas axial puede servir de rodamiento y requiere poco espacio. Con número específico, TP 1001, TP1024.

Figura 21. Rodamientos axiales de agujas



2.5.2 Mantenimiento de rodamientos

Para que los rodamientos puedan funcionar de una manera fiable, deberán estar adecuadamente lubricados con el fin de evitar el desgaste que produce el contacto metálico directo entre los elementos rodantes, los caminos de rodadura y las jaulas.

Además, el lubricante evita el desgaste y protege las superficies contra la corrosión. Por ello, será importante la elección del lubricante y el método de lubricación más adecuado para cada aplicación. El aceite o grasa lubricante perderá gradualmente sus propiedades de lubricación a causa del trabajo mecánico, la temperatura, el envejecimiento y la acumulación de suciedad. Por tanto, es muy importante reponer o renovar la grasa y filtrar y cambiar el aceite a intervalos regulares.

Limpieza de rodamientos

A pesar del uso de rodamientos adecuados, de protegerlos de la suciedad lo mejor posible, y lubricarlos, cada cierto tiempo es posible que necesitemos limpiar los rodamientos de un equipo o máquina. Para ello, lo más adecuado será desmontarlos, siempre que se pueda, aprovechando para ello otras tareas de mantenimiento que nos permitan llegar hasta su ubicación.

Una vez desmontados con cuidado de no dañarlos, procederemos a limpiarlos con solvente, para eliminar todos los restos de suciedad, grasas secas, etc. Si el tamaño lo permite, lo ideal será sumergir el rodamiento totalmente en un contenedor con disolvente, dejando unos minutos que la suciedad se ablande, ayudando a continuación con un pincel o brocha. Una vez bien limpios será posible revisar y analizar su estado de uso, sus holguras, desgaste, etc. para decidir si deben ser sustituidos o no.

Es muy importante, tras el lavado, no dejar secar el rodamiento al aire, sino lubricarlo lo antes posible, dado que podría oxidarse muy rápidamente. Obviamente, este proceso de limpieza se refiere básicamente a los rodamientos abiertos, sin protección. Los rodamientos obturados (ZZ, blindados, cerrados, protegidos, etc.) con protección integrales a ambos lados se suministran engrasados por parte del fabricante, superando la vida útil de la grasa interna a la duración de los propios rodamientos, por lo que, excepto algunas anomalías, no se usaría limpieza y/o lubricación para este tipo de rodamientos.

2.6 Lubricación

La regla general es más o menos así: “usar la viscosidad mínima necesaria para proveer lubricación limítrofe durante el “arranque” (o en el caso de piezas que no son motores, al moverse por primera vez cada período que se usa) y a la vez de una viscosidad máxima necesaria para no contribuir con fricción y pérdidas de potencia (en forma de calor y desgaste) innecesarias”

La elección de lubricantes nunca es fácil, y siempre requiere compromisos. Por ejemplo, un lubricante más grueso (viscoso) puede cubrir las superficies de un rodamiento y probablemente se va a “quedar” en el rodamiento más fácilmente, pero a la vez va a generar más fricción, más temperatura y más presión. Pero en un cojinete viejo, uno a veces usa aceite un poco más pesado (viscoso) que lo normal para reducir las pérdidas sabiendo que generará más fricción y va a aumentar la temperatura.

2.6.1 Principios de lubricación

Debido a las presiones extremas que se desarrollan en engranajes y rodamientos, y la incapacidad de los lubricantes convencionales de petróleo para lubricar adecuadamente estas partes, es necesario fortificar los aceites y las grasas con diversos componentes que aumenten la capacidad de carga de los lubricantes.

La mayoría de las compañías usan químicos para lograr esto. A pesar de que estos químicos aumentan temporalmente la resistencia a la carga, pueden convertirse en abrasivos que contrarrestan la capacidad deslizante del lubricante en sí. Cuando estos químicos entran en contacto con el agua y el calor, forman ácidos que atacan las partes móviles y sus bases de petróleo.

Estos ácidos llegan a ser tan fuertes que pueden producir corrosión y desgaste a menos que el lubricante sea cambiado con frecuencia. La fricción causa que los lubricantes se deterioren y pierdan su habilidad de proteger y lubricar.

Algunos lubricantes derivan su capacidad de manejo de carga y capacidad deslizante de sus bases sintéticas y sólidos metálicos autolubricantes, que son química y térmicamente estables. Estos fortificadores metálicos o sólidos metálicos autolubricantes, están divididos en partículas micrónicas y submicrónicas, para luego ser científicamente suspendidas o mezcladas en aceites y grasas.

Debido a que los aceites sintéticos o los hidro-procesados tienen una vida útil mayor, y gracias a la estabilidad de los sólidos metálicos, estos tipos de lubricantes no necesitan ser cambiados tan frecuentemente como los convencionales.

Uno de los sólidos metálicos más importantes contenido en estos lubricantes es el Bisulfuro de Molibdeno (o MOLY) cuya fórmula química es: MoS_2 , El Comité Nacional de Consejeros de Aeronáutica (USA) descubrió que el Bisulfuro de Molibdeno, en su búsqueda de lubricantes para ser usados en aviación, plataformas de lanzamiento de cohetes y otras aplicaciones de alta temperatura y alta carga, tenía uno de los más altos niveles de lubricidad que cualquier otra sustancia descubierta hasta la fecha."Hace rodar la carga" como si fuera un rodamiento.

Cuando una película completa de MoS_2 se forma en una superficie, puede soportar cargas de hasta 500,000 PSI (libras por pulgada cuadrada). Su punto de goteo es de 1185 °C (2165 °F) y solamente es soluble en ácido sulfúrico, agua regia, y ácido clorhídrico. Estos factores hacen del Bisulfuro de Molibdeno uno de los más eficientes lubricantes que se conocen....pero debe ser transportado a las superficies a ser lubricadas, por algún medio líquido (aceite básico) o pastoso (grasa).

2.6.2 Pruebas fundamentales para análisis de aceites

Prueba Almen

Una varilla cilíndrica gira dentro de un casquillo abierto, el cual se presiona contra aquella. Se añaden pesos de 0.9 Kg. en intervalos de 10 seg. y se registra la relación existente entre la carga y la iniciación del rayado.

Prueba Timken

Se presiona un anillo cilíndrico, que gira, sobre un bloque de acero durante 10 minutos y se registra la máxima presión de iniciación del gripado.

Prueba SAE

Se hacen girar dos rodillos a diferentes velocidades y en el mismo sentido. La carga se aumenta gradualmente hasta que se registre el fallo. En este caso hay combinación de rodamiento y deslizamiento.

Prueba Fálex

Se hace girar una varilla cilíndrica entre dos bloques de material duro y en forma de V, que se presionan constantemente contra la varilla, con una intensidad que aumenta automáticamente. La carga y el par totales se registran en los calibradores.

Punto de goteo

Es la temperatura a la cual la grasa pasa de su estado sólido a líquido. La prueba se realiza aumentando la temperatura de la grasa hasta que se empiece a cambiar de estado, en ese momento se toma la temperatura y se define su punto de goteo.

2.6.3 Lubricación para rodamientos

Los rodamientos pueden ser lubricados con aceite o con grasa. El tipo de lubricación y la cantidad de lubricante están determinados por:

- Las condiciones de funcionamiento.
- El tipo y el tamaño del rodamiento.
- La construcción anexa.
- Las conducciones de lubricante.

Los rodamientos de equipos industriales están diseñados para proveer más de 65,000 horas de servicio sin falla cuando los lubricamos con la grasa correcta, en la cantidad correcta y en el momento correcto.

Las fallas más probables en rodamientos son

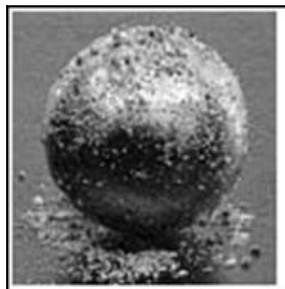
Ajuste: 16% de las fallas de rodamientos son causados por error de ajuste al instalar, revisar o hacer mantenimiento “preventivo”. Mucho de esto viene por la falta de un torquímetro, su conocimiento y su calibración. A veces el rodamiento no puede ser ajustado correctamente por exceso de grasa.

Figura 22. Balero mal ajustado y balero con exceso de grasa



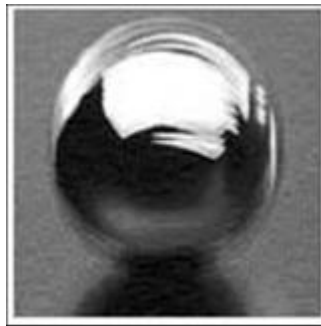
Contaminación: 14% de las fallas de rodamientos son causadas por contaminación del medio ambiente o del trabajo. La falta o falla de retenes, la revisión luego de trabajar en el agua, la limpieza del área de trabajo y el exceso de polvo afectan la vida útil del equipo.

Figura 23. Balero contaminado



Fatiga: 34% de las fallas de rodamientos son causadas por fatiga. En términos generales, se habla de los rodamientos sobrecargados, mal aplicados (rodamientos diseñados para ser usados en posición vertical e instalada horizontalmente) o falta de protección por la grasa de escasa resistencia Timken, poca adherencia, alta consistencia o pobre resistencia a los contaminantes (agua, temperatura, gases, etc.).

Figura 24. Balero fatigado



2.6.3.1 Lubricantes con aditivos

Éstos contienen: sustancias activas para la protección contra la corrosión y para mejorar la resistencia al envejecimiento, productos que, en caso de condiciones de lubricación desfavorables, reducen el desgaste. En las superficies afectadas, se crea una capa de reacción para su protección

Estas combinaciones de aditivos no actúan de la misma forma favorable en todos los campos de temperaturas y de cargas. Es necesario, en todos los casos, comprobar la compatibilidad de los lubricantes:

- Entre sí.
- Con la protección contra la corrosión.

- Con los plásticos y resinas (elastómeros y duro-resina poliéster).
- Con los metales ligeros y las aleaciones no férricas.
- Con recubrimientos, pinturas, barnices y esmaltes.
- Con el medio ambiente.

2.6.3.2 Grasas lubricantes

La grasa es el lubricante más utilizado para los rodamientos. Una grasa lubricante se define como la propagación de semilíquida a sólida de un agente espesante en un líquido (aceite base). Se compone de una mezcla de hasta 90% de aceite mineral, o aceite sintético y un espesante. En casi el 90% de todas las grasas, el espesante es un jabón metálico. Un ejemplo es el jabón de litio.

El espesante, que está hecho de una red de fibras de jabón, actúa como un contenedor para el aceite lubricante. Las cavidades de esta red se llenan de aceite, como los poros de una esponja se llena de agua. Si apretamos una esponja llena de agua, el agua se drena; la esponja “sangra”. El aceite también sangra de la grasa.

Es el aumento de temperatura en la masa de grasa alrededor del rodamiento, más que el trabajo mecánico, lo que produce el sangrado y el suministro de aceite a las superficies de contacto y de deslizamiento. A estas superficies debe llegar suficiente cantidad de aceite. El tipo de grasa elegida debe tener las propiedades adecuadas al tipo de rodamiento y a las condiciones de funcionamiento.

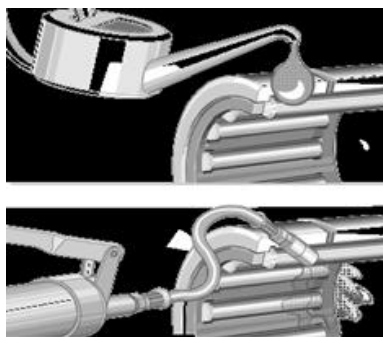
Clasificación de las grasas lubricantes

De acuerdo con la temperatura y las condiciones de funcionamiento las grasas lubricantes se pueden agrupar de acuerdo con su adaptación para diferentes condiciones de funcionamiento. La consistencia y capacidad de lubricación de una grasa están influenciadas por la temperatura de trabajo. Un rodamiento que funciona a una temperatura determinada debe ser lubricado con una grasa que tenga consistencia y capacidad de lubricación correctas a esa misma temperatura.

Las grasas se fabrican con composiciones para diferentes gamas de temperaturas de funcionamiento y se clasifican como grasas de baja (LT), media (MT) y alta (HT) temperatura. También hay un grupo de grasas, clasificadas EP (extrema presión) o EM (extrema presión con bisulfuro de molibdeno), con aditivos para incrementar la resistencia de la película de lubricante.

Según la NLGI (National Lubricating Grease Association), las cataloga según su viscosidad, como 3 grados, por ejemplo, Grasa NLGI grado No.3, es la grasa más espesa, la grasa grado No.2 es la semilíquida, esta es la más utilizada en nuestro ambiente, la grado No.1, es la más líquida, pero sin llegar a ser aceite.

Figura 25. Tipos de lubricación, por aceite o grasa



2.7 Tipos de motores eléctricos utilizados

Los motores más utilizados en esta planta (Molinos Modernos) son los motores de jaula de ardilla.

Para distinguir entre diversos tipos disponibles, la National Electrical Manufacturers Association (NEMA) ha desarrollado un sistema de identificación con letras en la cual cada tipo de motor comercial de inducción de jaula de ardilla se fabrica de acuerdo con determinada norma de diseño y se coloca en determinada clase, identificada con una letra. Las propiedades de la construcción eléctrica y mecánica el rotor, en las cinco clases NEMA de motores de inducción de jaula de ardilla, se resume en la siguiente tabla:

Tablas características de los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla de acuerdo con la clasificación en letras NEMA.

Figura 26. Partes de motor tipo jaula de ardilla

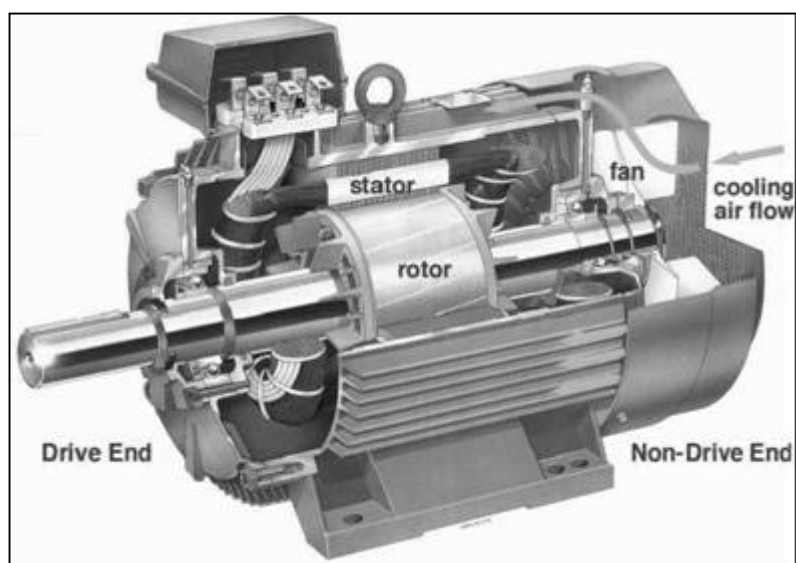


Tabla II. Especificaciones de motores tipo jaula de ardilla, según NEMA

Clase NEMA	Par de arranque (# de veces el nominal)	Corriente de arranque	Regulación de velocidad (%)	Nombre de clase del motor
A	1.5 - 1.75	5 - 7	2 - 4	Normal
B	1.4 - 1.6	4.5 - 5	3.5	De propósito general
C	2 - 2.5	3.5 - 5	4 - 5	De doble jaula alto par
D	2.5 - 3.0	3 - 8	5 - 8 , 8 - 13	De alto par alta resistencia
F	1.25	2 - 4	mayor de 5	De doble jaula, bajo par y baja corriente de arranque.

Motores de inducción de jaula de ardilla clase A

El motor clase A es un motor de jaula de ardilla normal o estándar fabricado para uso a velocidad constante. Tiene grandes áreas de ranuras para una muy buena disipación de calor, y barras con ranuras ondas en el motor.

Durante el período de arranque, la densidad de corriente es alta cerca de la superficie del rotor; durante el periodo de la marcha, la densidad se distribuye con uniformidad.

Esta diferencia origina algo de alta resistencia y baja reactancia de arranque, con lo cual se tiene un par de arranque entre 1.5 y 1.75 veces el nominal (a plena carga).

El par de arranque es relativamente alto y la baja resistencia del rotor produce una aceleración bastante rápida hacia la velocidad nominal.

Tiene la mejor regulación de velocidad pero su corriente de arranque varía entre 5 y 7 veces la corriente nominal normal, haciéndolo menos deseable para arranque con línea, en especial en los tamaños grandes de corriente que sean indeseables.

Motores de inducción de jaula de ardilla clase B

A los motores de clase B a veces se les llama motores de propósito general; es muy parecido al de la clase A debido al comportamiento de su deslizamiento-par.

Las ranuras de su motor están embebidas algo más profundamente que el los motores de clase A y esta mayor profundidad tiende a aumentar la reactancia de arranque y la marcha del rotor. Este aumento reduce un poco el par y la corriente de arranque.

Las corrientes de arranque varían entre 4 y 5 veces la corriente nominal en los tamaños mayores de 5 HP se sigue usando arranque a voltaje reducido. Los motores de clase B se prefieren sobre los de la clase A para tamaños mayores.

Las aplicaciones típicas comprenden las bombas centrífugas de impulsión, las máquinas herramientas y los sopladores.

Motores de inducción de jaula de ardilla clase C

Estos motores tienen un rotor de doble jaula de ardilla, el cual desarrolla un alto par de arranque y una menor corriente de arranque.

Debido a su alto par de arranque, acelera rápidamente, sin embargo cuando se emplea en grandes cargas, se limita la disipación térmica del motor por que la mayor parte de la corriente se concentra en el devanado superior.

En condiciones de arranque frecuente, el rotor tiene tendencia a sobrecalentarse se adecua mejor a grandes cargas repentinas pero de tipo de baja inercia. Las aplicaciones de los motores de clase C se limitan a condiciones en las que es difícil el arranque como en bombas y compresores de pistón

Motores de inducción de jaula de ardilla clase D

Los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla clase D se conocen también como de alto par y alta resistencia. Las barras del rotor se fabrican en aleación de alta resistencia y se colocan en ranuras cercanas a la superficie o están embebidas en ranuras de pequeño diámetro.

La relación de resistencia a reactancia del rotor de arranque es mayor que en los motores de las clases anteriores.

El motor está diseñado para servicio pesado de arranque, encuentra su mayor aplicación con cargas como cizallas o troqueles, que necesitan el alto par con aplicación a carga repentina la regulación de velocidad en esta clase de motores es la peor.

Motores de inducción de jaula de ardilla clase F

También conocidos como motores de doble jaula y bajo par. Están diseñados principalmente como motores de baja corriente, porque necesita la menor corriente de arranque de todas las clases. Tiene una alta resistencia del rotor tanto en su devanado de arranque como en el de marcha y tiende a aumentar la impedancia de arranque y de marcha, y a reducir la corriente de marcha y de arranque.

El rotor de clase F se diseño para remplazar al motor de clase B. El motor de clase F produce pares de arranque aproximadamente 1.25 veces el par nominal y bajas corrientes de arranque de dos a cuatro veces la nominal. Los motores de esta clase se fabrican de la capacidad de 25 hp para servicio directo de la línea.

Debido a la resistencia del rotor relativamente alta de arranque y de marcha, estos motores tienen menos regulación de voltaje de los de clase B, bajan capacidad de sobrecarga y en general de baja eficiencia de funcionamiento.

Sin embargo, cuando se arrancan con grandes cargas, las bajas de corrientes de arranque eliminan la necesidad de equipo para voltaje reducido, aún en los tamaños grandes.

Clasificación de motores de inducción de jaula de ardilla de acuerdo con el enfriamiento y el ambiente de trabajo.

Los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla, y en general todos lo motores eléctricos, se pueden clasificar también de acuerdo con el ambiente en que funcionan, sí también como en los métodos de enfriamiento.

La temperatura ambiente juega un papel importante en la capacidad y selección del tamaño de armazón para una máquina (motor), 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 hizo notar 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.

Figura 27. Motor eléctrico jaula de ardilla



Clasificación de motores de inducción tipo jaula de ardilla

La NEMA reconoce los siguientes:

Carcaza a prueba de agua:

Envolvente totalmente cerrada para impedir que entre agua aplicada en forma de un chorro o manguera, al recipiente de aceite y con medios de drenar agua al interior. El medio para esto último puede ser una válvula de retención o un agujero machuelado en la parte más inferior del armazón, para conectar un tipo de drenado.

Carcaza a prueba de ignición de polvos:

Envolvente totalmente cerrada diseñada y fabricada para evitar que entren cantidades de polvo que puedan encender o afectar desempeño o capacidad.

Carcaza a prueba de explosión:

Envolvente totalmente cerrada diseñada y construida para resistir una explosión de un determinado gas o vapor que pueda estar dentro de un motor, y también para evitar la ignición de determinado gas o vapor que lo rodee, debido a chispas o llamaradas en su interior.

Carcaza totalmente cerrada:

Envolvente que evita el intercambio de aire entre el interior y el exterior de ella pero que no es lo suficientemente cerrada para poderla considerar hermética al aire.

Carcaza protegida al temporal:

Envolvente abierta cuyos conductos de ventilación están diseñados para reducir al mínimo la entrada de lluvia o nieve y partículas suspendidas en el aire, y el acceso de estas en las partes eléctricas.

Carcaza protegida

Envolvente abierta en la cual todas las aberturas conducen directamente a partes vivas o giratorias, exceptuando los ejes lisos del motor, tienen tamaño limitado mediante el diseño de partes estructurales o parrillas coladeras o metal desplegado etc. Para evitar el contacto accidental con las parte vivas

Carcaza a prueba de salpicaduras

Envolvente abierta en la que las aberturas de ventilación están fabricadas de tal modo que si caen partículas de sólidos o gotas de líquidos a cualquier ángulo no mayor de 100° con la vertical no puedan entrar en forma directa o por choque de flujo por una superficie horizontal o inclinada hacia adentro.

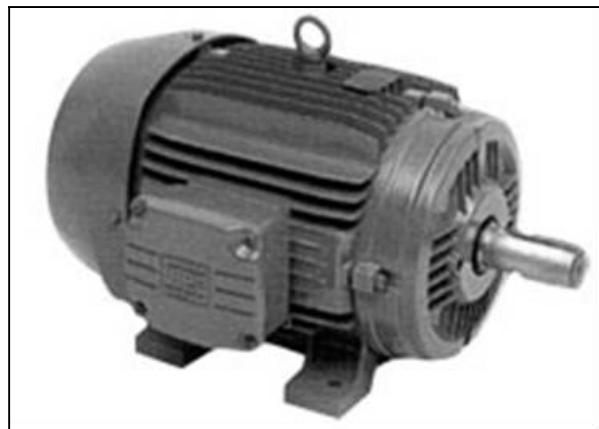
Carcaza a prueba de goteo

Envolvente abierta en que las aberturas de ventilación se construye de tal modo que si caen partículas sólidas o gotas de líquido a cualquier ángulo no mayor de 15° con la vertical no pueda entrar ya sea en forma directa o por choque y flujo por una superficie horizontal o inclinada hacia adentro.

Carcaza abierta

Envolvente que tiene agujeros de ventilación que permiten el flujo de aire externo de enfriamiento sobre y alrededor de los devanados de la máquina.

Figura 28. Motor jaula de ardilla, con carcaza abierta



Fase técnico profesional

3. DISEÑO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

3.1 Por temperatura

El diseño de mantenimiento predictivo está basado en la ejecución de monitoreos semanales de temperatura a los motores eléctricos de mayor importancia, (estos se llaman motores críticos, porque si en algún momento fallara cualquiera de estos, el molino en general pararía producción, o sea un paro no programado), con base a la tabulación de datos obtenidos en el monitoreo y el análisis de los gráficos generados con los datos derivados, se insta al análisis de vibraciones y si se encuentra en mal estado, se decide realizar un mantenimiento preventivo.

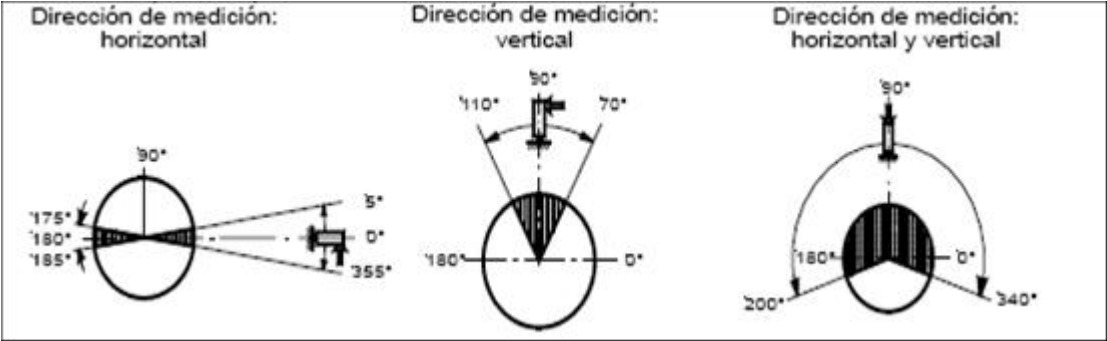
La temperatura que se mide, es la temperatura transferida del rodamiento hacia la carcasa del motor para disiparla. El monitoreo de temperatura se realiza con un pirómetro infrarrojo, marca Fluke 80/86.

3.1.1 Evaluación de puntos calientes en un motor eléctrico:

Un punto caliente es punto de medida, específico sobre la circunferencia de la carcasa del motor (alojamiento), que se encuentra en contacto directo con el rodamiento, se decidió colocar el punto caliente en el mismo lugar donde se montan sensores de velocidad, esta posición es la indicada para la medición de

temperatura, porque esta directamente sobre el motor y no da lecturas erróneas.

Figura 29. Montaje de sensores de velocidad



El dibujo anterior se muestra el sensor de velocidad colocado en diferentes posiciones sobre el alojamiento del rodamiento, sobre la carcasa del motor; con base a esto se realizó el dibujo siguiente:

Figura 30. Ubicación de puntos calientes

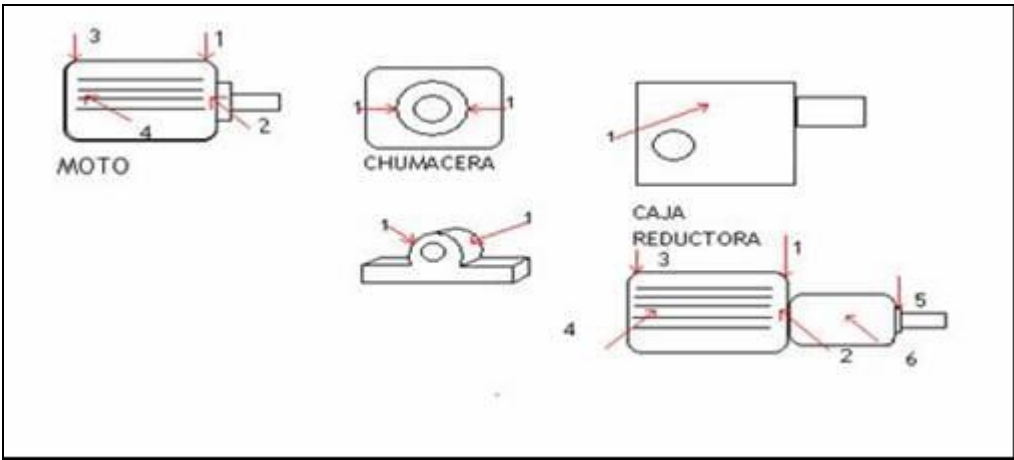
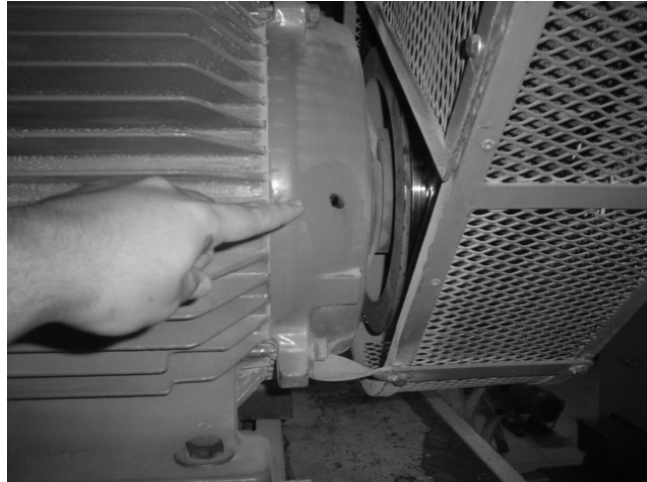


Figura 31. Punto caliente



3.1.2 Determinaciones de motores críticos.

Los motores críticos de este diseño de mantenimiento son un número relativamente bajo, pero al momento de la implementación del programa, se deberá tener en cuenta la mayoría de motores eléctricos.

Como se menciona anteriormente un motor crítico, es aquel que si en algún momento falla, el molino en general para producción por varias horas mientras se repara o se reemplaza el motor. Los nombres fueron tomados directamente de los tableros eléctricos de control y fuerza, de producción.

3.1.3 Elaboración de ruta crítica:

La ruta crítica la constituye el listado de los motores por orden de importancia, después se subdividieron por ubicación (niveles), tiempo de reemplazo

Tabla III. Lista de motores críticos

Crítico	# de figura	Nombre de Motor	Hp	RPM	Función
1	32	Transmisión 1 molino A	100	1775	Transmitir potencia a eje de bancos de trituración.
2	33	Transmisión 2 molino A	90	1180	Transmitir potencia a eje de bancos de compresión.
3	34	Transmisión 1 molino B	150	1180	Transmitir potencia a eje de bancos de trituración.
4	35	Transmisión 2 molino B	150	1180	Transmitir potencia a eje de bancos de compresión.
5	36	Ventilador de alta, molino A	177	2980	Succiona aire a presión del filtro de aspiración general, 2da etapa.
6	37, 38	Ventilador de baja, molino A	40	1465	Succiona aire a presión del filtro de aspiración general, 1ra etapa.
7	39	Ventilador de alta 150, molino B	100	1775	Succiona aire a presión del filtro de aspiración general, 2da etapa.

Continuación Tabla III. Lista de motores críticos.

8	40	Ventilador de alta 151, molino B	100	1765	Succiona aire a presión del filtro de aspiración general, 2da etapa.
9	41	Ventilador de baja 106. molino B	20	1450	Succiona aire a presión del filtro de aspiración general, 1ra etapa.
10	42,43	Ventilador de baja 110, molino B	20	1755	Succiona aire a presión del filtro de aspiración general, 1ra etapa.
11	44	Soplante de harina a filtro del 5to. nivel	15	1760	Eleva el producto hasta un 5to nivel desde el 1er nivel.
12	45	Soplante de harina a silos molino A	40	3351	Eleva el producto hasta los silos para harina desde el 1er nivel.
13	46,47	Soplante de harina a silos molino B	30	3351	Eleva el producto hasta un 5to nivel desde el 1er nivel.
14	48	Motor de banco T1 (N)	30	3351	Da potencia al banco de trituration 1, del lado norte
15	49	Motor de banco T1 (S)	30	3351	Da potencia al banco de trituration 1, del lado sur

Figura 32. Transmisión 1, molino A



Figura 33. Transmisión 2, molino A

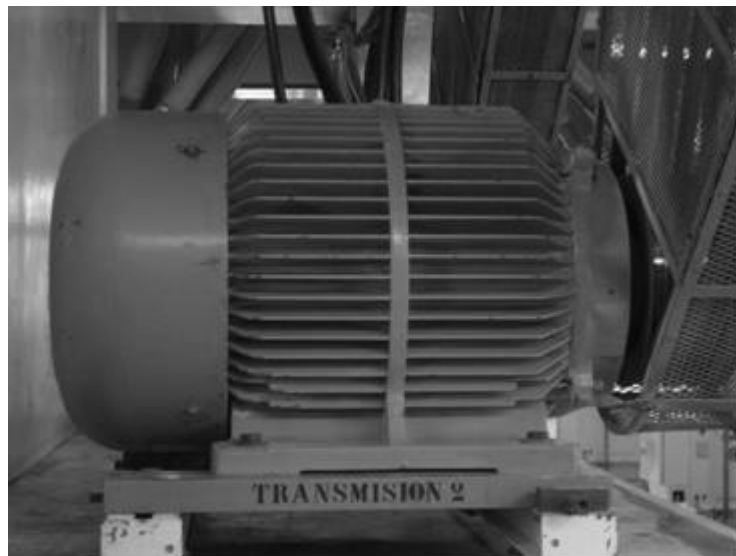


Figura 34. Transmisión 1, molino B



Figura 35. Transmisión 2, molino B



Figura 36. Motor de ventilador alta presión, molino A

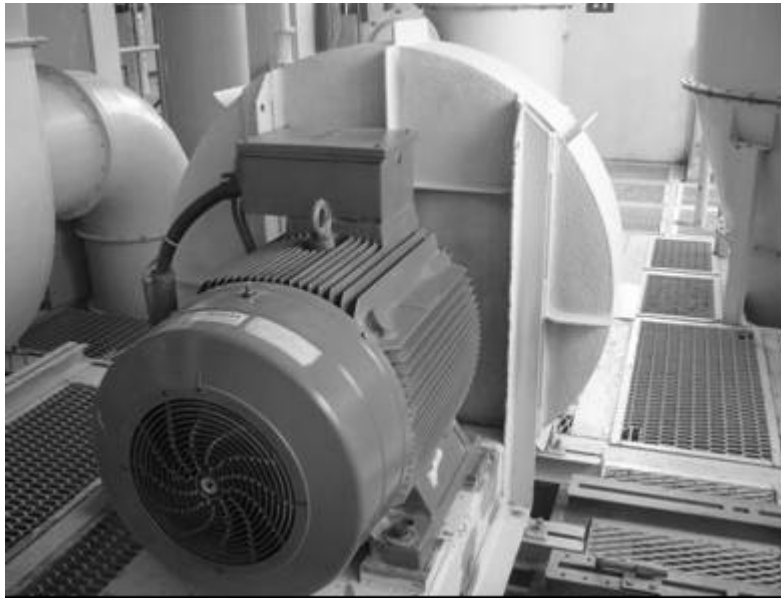


Figura 37. Motor de ventilador de baja presión, molino A

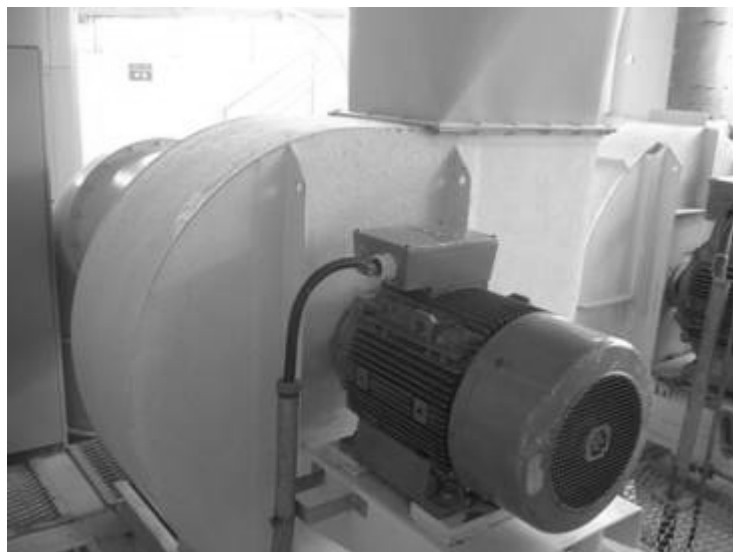


Figura 38. Ventilador de baja presión, molino A

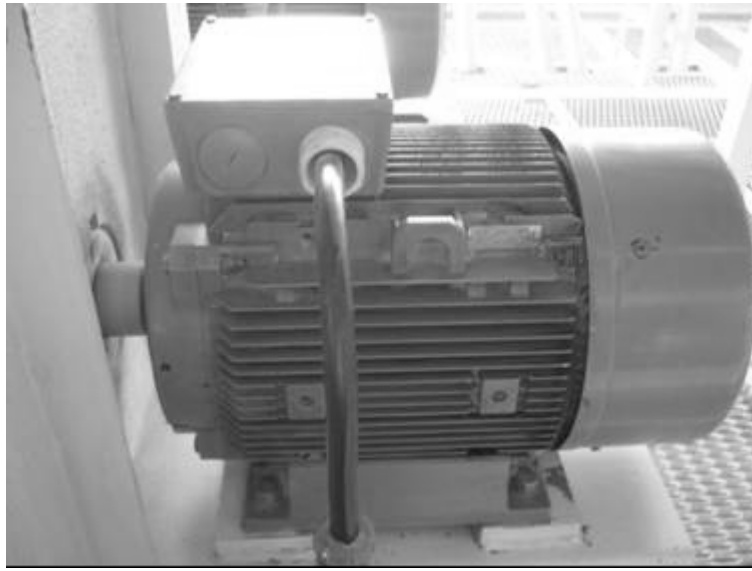


Figura 39. Motor de ventilador de baja presión 150

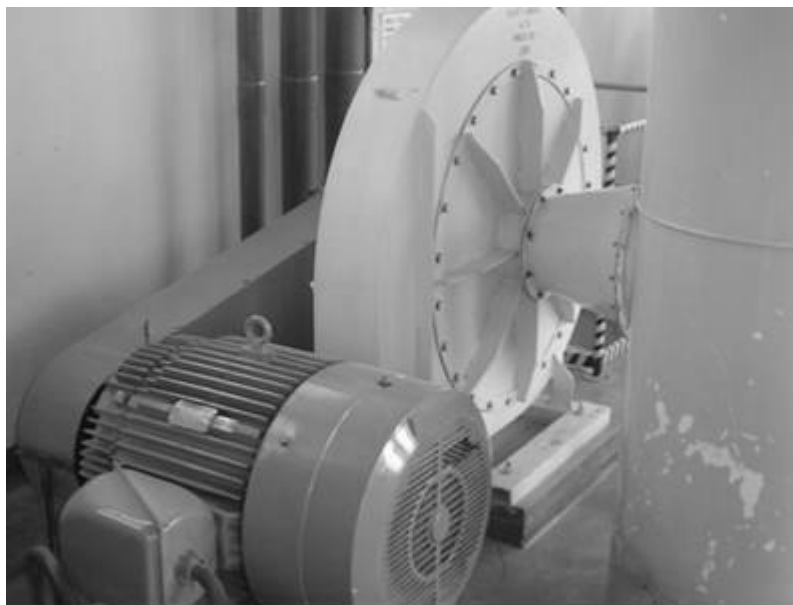


Figura 40. Motor de ventilador de baja presión 151



Figura 41. Motor de ventilador de baja presión 106



Figura 42. Motor de ventilador de alta presión 110



Figura 43. Ventilador alta presión 110



Figura 44. Soplante de harina a filtro del 5to



Figura 45. Soplante de harina a silos, molino A

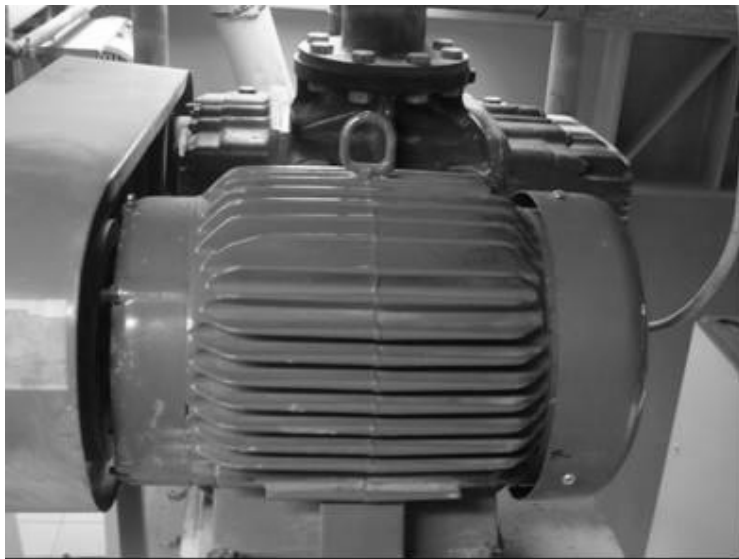


Figura 46. Soplante de harina a silos, molino B

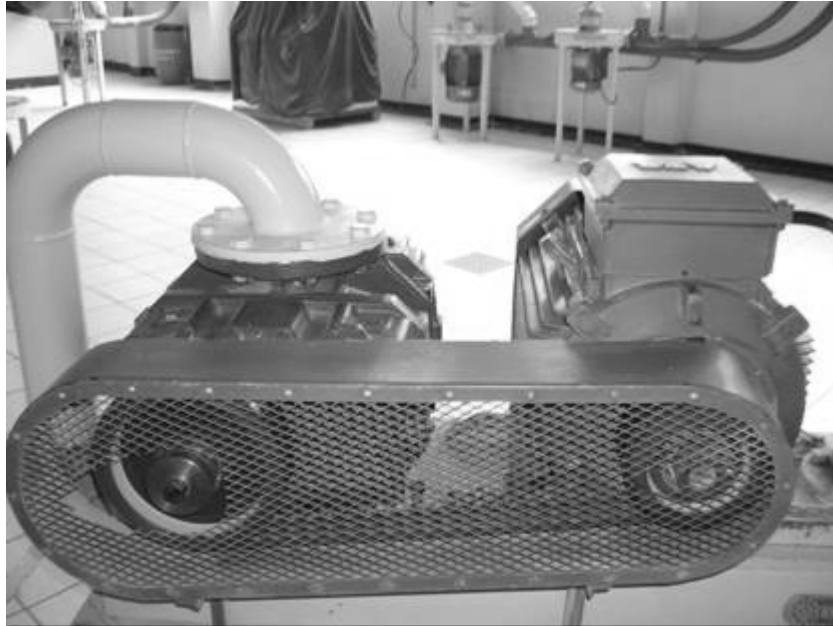


Figura 47. Soplante de harina a silos, molino B



Figura 48. Motor de banco T1 (N)

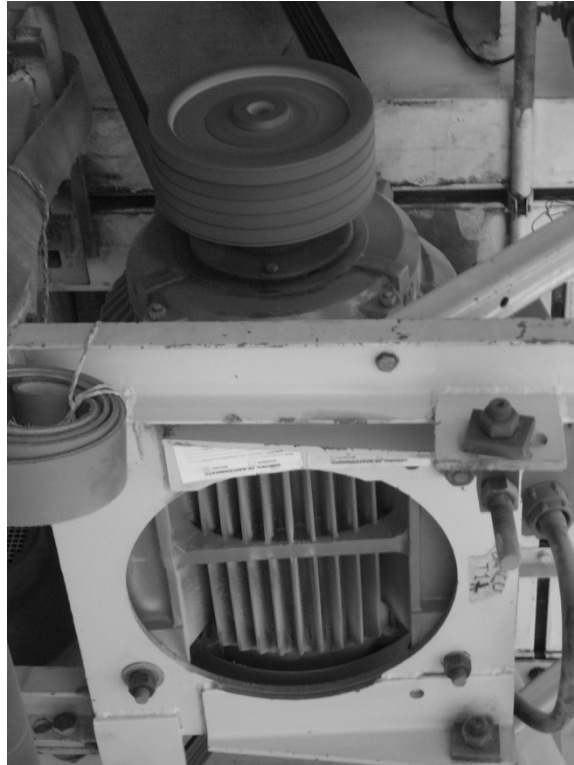


Figura 49. Motor de banco T1 (S)



3.1.4 Períodos de toma de temperaturas.

Estos molinos tienen producción las 24 hrs. al día durante toda la semana, por esta razón tiene establecido un paro de producción de 8 horas a la semana, para realizar mantenimiento a las máquinas. Los molinos se alternan en los paros de producción, el molino A para producción los días jueves, y el molino B los días miércoles. Al saber esto se decidió realizar la toma de datos los días martes, en el transcurso de 6 meses, la duración del proyecto de EPS del 03 de enero del 2006 al 21 de diciembre del 2006, se realizó el recorrido crítico una vez a la semana.

3.1.5 Factores importantes en la toma de temperaturas:

Los factores importantes en la toma de temperatura, son principalmente, la instalación adecuada de los rodamientos, porque si es equivocada su instalación produce vibración y aumento de temperatura.

La lubricación con el lubricante adecuado para cada aplicación, porque si se utiliza grasa para alta temperatura o de otras especificaciones en rodamientos de baja revolución por ser más gruesa la grasa, disminuya la capacidad de rodar y viceversa, si la grasa es muy líquida en rodamientos de alta velocidad, esta la expulsa quedando sin lubricación.

Fallas eléctricas en los devanados del estator, porque si están haciendo falso contacto alambres de los devanados, esto también aumenta temperatura.

Influye la calidad del repuesto que se está instalando, porque si es de mala calidad rápidamente provoca elevación de temperatura y colateralmente falla prematura.

Se tomó en cuenta tener más o menos la misma temperatura ambiente al momento de realizar las mediciones de temperatura porque esta influye en la toma de los datos.

Por ejemplo en la época de verano (marzo y abril) la temperatura aumento de 35°C a 45°C., en algunos casos e igualmente la disminución en la época de invierno (noviembre y diciembre) desde una temperatura de 35°C hasta 25°C.

3.2 Por vibración

Cuando la figura de los monitoreos de temperatura cambia su pendiente hacia arriba significa aumento en la temperatura del motor, si la variación es mayor de 10 grados centígrados de la temperatura de trabajo, entonces se procede a validar la falla por medio del análisis de vibración, este se puede realizar con equipo propio o en Guatemala existen varias empresas que realizan estos análisis, para el caso en cuestión se contrato a la empresa Elliot, Ebara Group, quien realiza el análisis de espectros de frecuencias de vibraciones del o los motores solicitados, esta empresa se basa en la norma ISO 2372 y VDI 2056, para emitir el dictamen del estado de la máquina a la cual se realizó al análisis de vibraciones.

El uso de estos equipos requiere de personal calificado y los análisis se realizan en sitio y con la máquina operando.

El equipo utilizado es marca Schenck serie 60. Que cuenta con 8 módulos de espectro de medición. Se utilizaron sensores de velocidad con este equipo.

Figura 50. Equipo Schenck serie 60



3.2.1 Reemplazo de rodamientos en mal estado.

Para la instalación de rodamientos se deben utilizar las herramientas adecuadas, por que si se utilizan herramientas que no son las apropiadas para este trabajo se pueden dañar los cojinetes nuevos incrementando los cotos de mantenimiento por la perdida de estos repuestos sin haber sido utilizados, por esto se recomienda la compra de herramienta especifica para el montaje de rodamientos.

Figura 51. Caja reductora, cojinete inserto



Uno de los métodos para montar rodamientos o rodamientos es el de inducción de calor hacia los rodamientos, este método es el más especializado pero la máquina resulta de alto costo.

Figura 52. Equipo para el calentamiento de los rodamientos



El método utilizado en esta empresa, son las herramientas para montaje de golpe, pero para esto se debe tener en cuenta las siguientes instrucciones básicas

- Elegir un lugar limpio.
- Revisar el eje, alojamiento y radios de acuerdo en sus dimensiones.
- Acabados precisos y forma cilíndrica, del eje.
- Limpiar el eje, alojamiento y cojinete.
- Tener cuidado al tocar las superficies rectificadas del rodamiento para impedir posibles rastros de óxido (las sales del sudor humano, oxida las superficies no lubricadas).

Figura 53. Herramienta de extracción de rodamientos



Figura 54. Eje con rodamientos en mal estado



Figura 55. Extracción de rodamientos



Figura 56. Herramienta de montaje de rodamientos de golpe



Figura 57. Montaje de cojinete con herramienta de golpe



4. RESULTADOS

4.1 Datos obtenidos de medición de temperatura.

4.1.1 Tabulación de datos de temperatura

La tabulación y la generación de gráficas fueron realizadas en hojas electrónicas (Excel), para mejor manejo de datos y fechas.

Se realizó divisiones por: ubicación, el molino a que pertenece (A o B), El nombre del equipo. Los puntos de medición o calientes anterior definidos (figura de motores número 30). Las tablas se pueden observar en anexos.

4.1.2 Análisis de gráficos obtenidos con base a tabulación de temperaturas

Pueden ser varias las causas cuando el dato de temperatura aumenta

- Falta de lubricante
- Rodamiento en mal estado
- Fallas eléctricas, entre las más importantes.

Los gráficos fueron elaborados con base a las tablas de datos tabulados, con la opción de base de datos masivos, que ofrece el Software utilizado. Se realizaron pruebas para adecuada utilización del Software, buena visualización de gráficas siguientes y como consecuencia el buen análisis de los gráficos.

En a figura 58 de prueba, se muestran los comportamientos térmicos de 4 motores de 100HP (promedio), y de 1180 RPM.

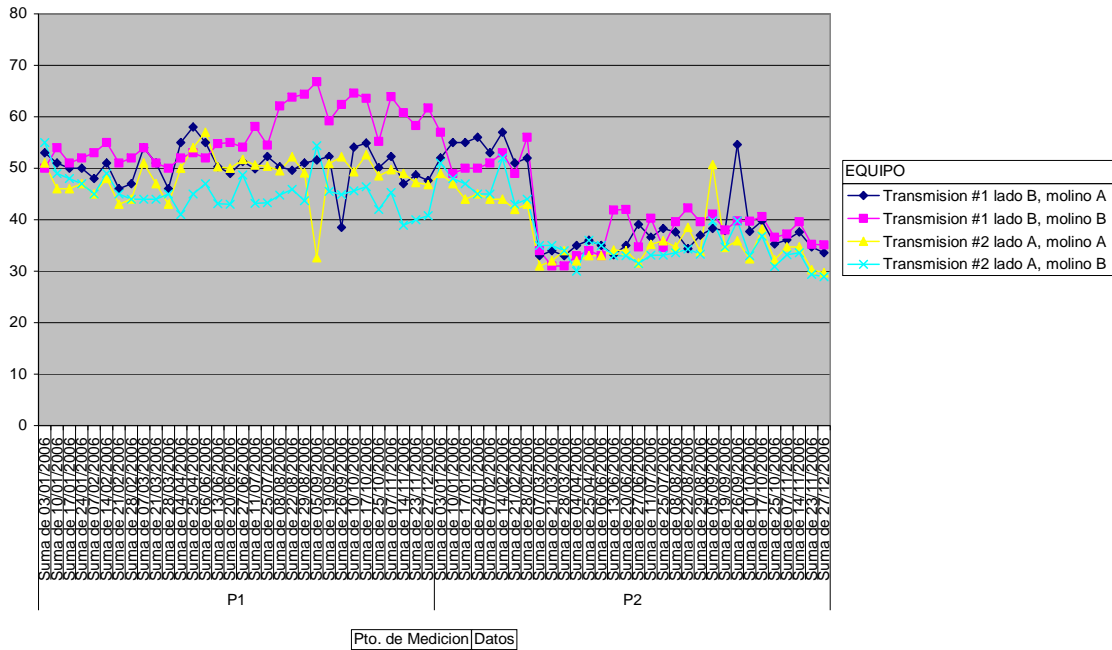
Como se puede observar en los 4 motores el punto 1 (cojinete delantero) mantienen la tendencia de alta temperatura de cada motor, mientras que el punto 2 (cojinete trasero) mantiene la tendencia de baja temperatura por esta razón el análisis se realizo con base al punto 1 por ser el punto caliente más representativo del estado de los rodamientos del motor.

En lo que respecta el punto No. 2 (P2), es el punto en la parte trasera del motor, lado del ventilador, se ven aumentos de temperatura pero no son significativos, porque no se encuentran directamente sobre el rodamiento y porque tienen influencias externas como el ventilador que mantiene frío el motor.

En el eje X, se muestran los puntos de medida (P1 y P2) y cada punto, se divide en las fechas de tomas de temperatura. La toma de medidas se realizo cada semana durante el periodo del 03 de enero del 2006 al 21 de diciembre del 2006.

En el eje Y, se encuentran los rangos de temperatura de 0° a 80° centígrados, (en este caso), la mayoría de gráficos tienen el rango mencionado. Los rangos de temperatura son estos, porque es más o menos la temperatura nominal de operación en cada motor, si los motores aumentan de caballaje o revoluciones, la temperatura aumenta, a más caballaje el número de espiras en el estator aumenta y esto aumenta su temperatura nominal.

Figura 58. Prueba de gráfico



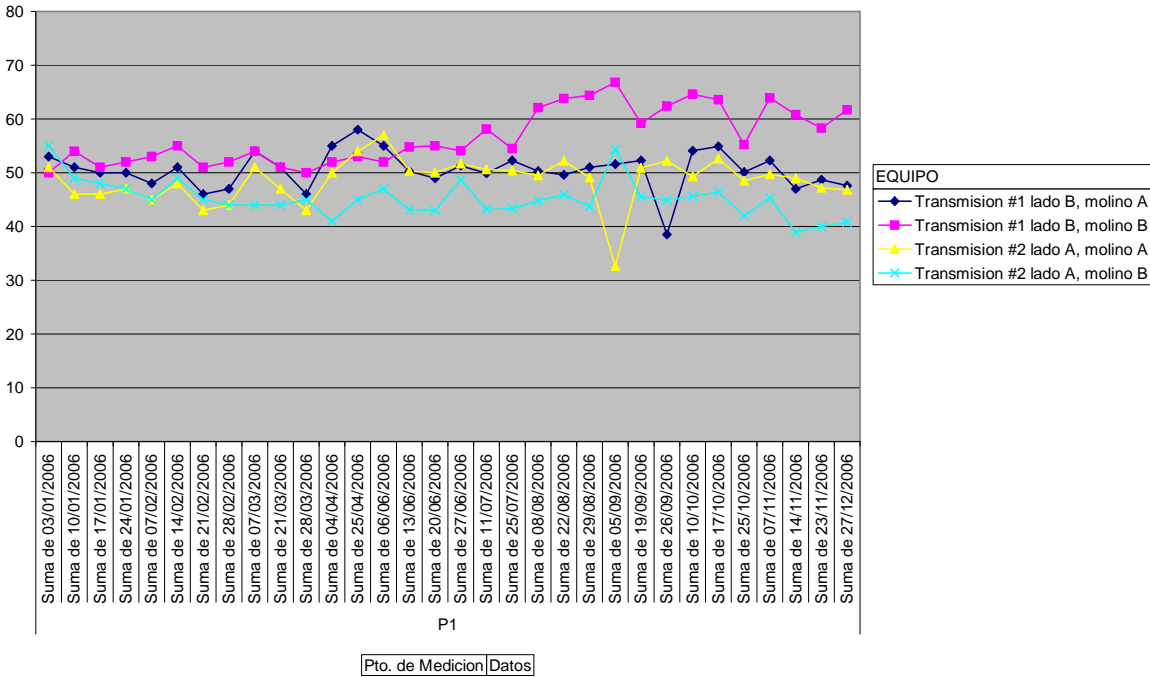
Comparación de 4 motores, punto número 1

En esta solo se muestra el punto de medición P1.

Se ve el comportamiento de los motores de transmisión de potencia al eje motriz de bancos de trituración y compresión

Se puede observar que los transmisiones No.1 lado B, No.2 lado A del molino A y No.2 lado A, molino B su tendencia es estable mientras que la transmisión No.1 lado B, molino B la tendencia es hacia un incremento de temperatura haciendo suponer que el cojinete se esta dañando.

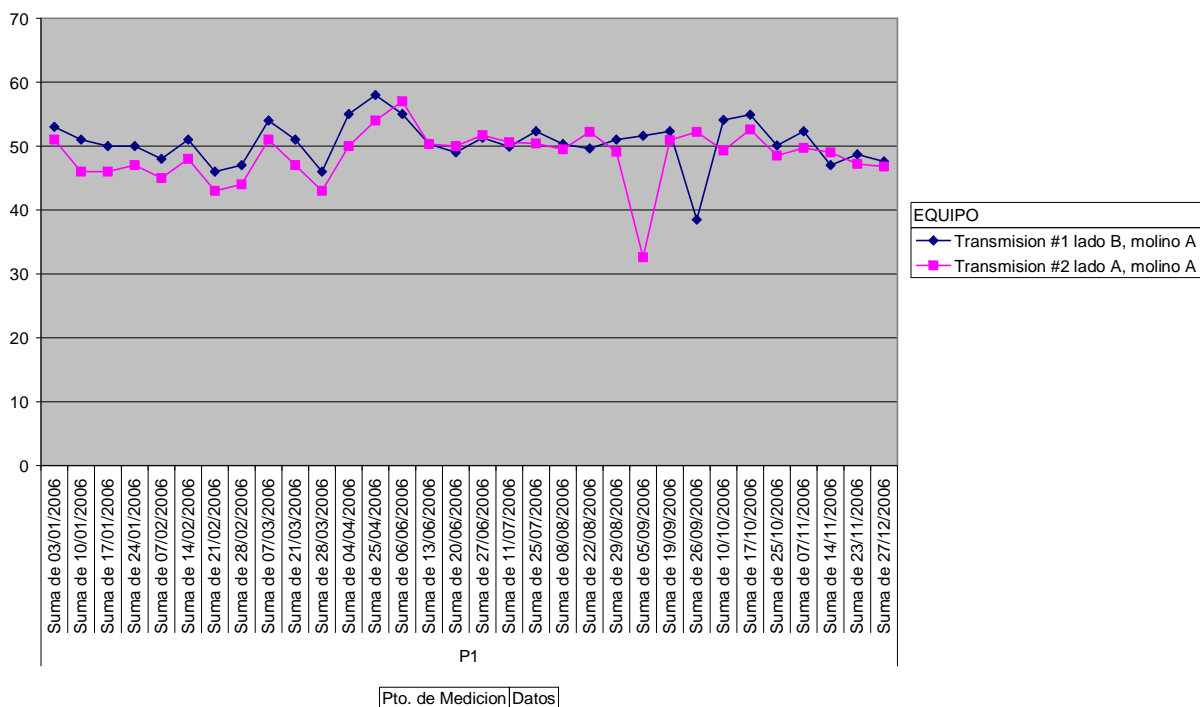
Figura 59. Comparación de 4 motores, punto número 1



Motores de transmisión del molino A

Se evalúa el desempeño térmico de dos motores de transmisión de potencia al eje motriz, Se aprecia una tendencia estable hasta los meses de marzo y abril donde se detecta un ligero incremento en la temperatura consecuencia del incremento en la temperatura ambiente, luego continua estable hasta la fecha, 05/09/2006 donde por programa se realizó mantenimiento preventivo, el cual consistió en engrase de rodamientos del motor, esto se reflejó en una baja considerable en la temperatura la cual luego de un pequeño incremento, por el acomodamiento de la grasa, continuo baja lo que refleja o hace suponer un mayor tiempo de vida del rodamiento.

Figura 60. Motores de transmisión del molino A

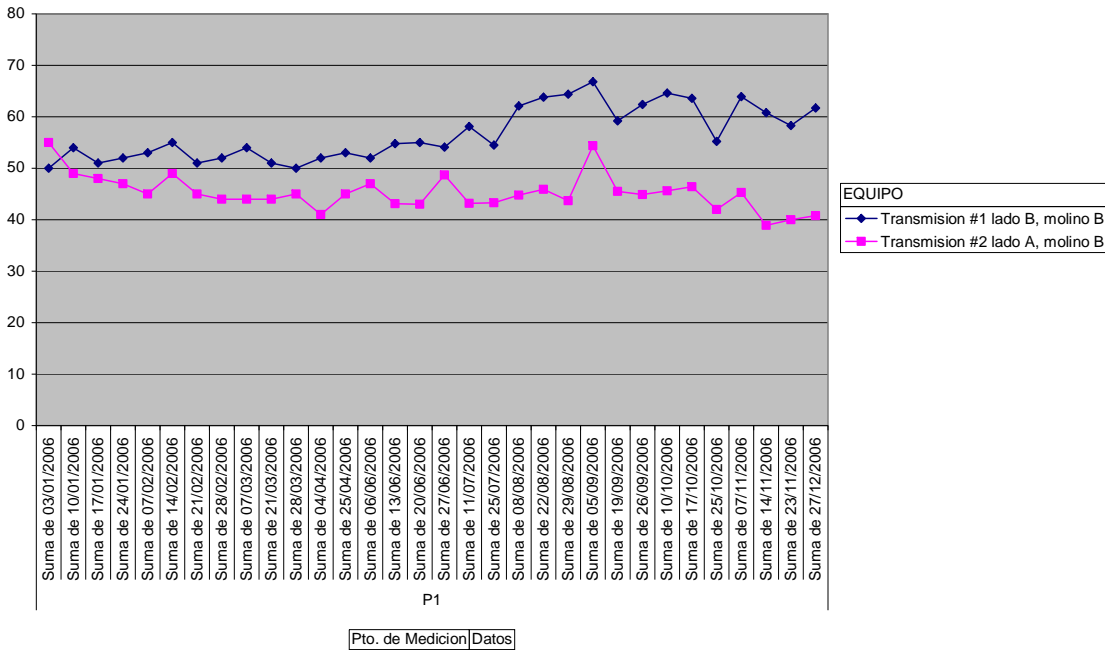


Motores de transmisiones del molino B

Se muestra el comportamiento térmico de los mismos motores de la Figura 60 y se aprecia que el motor de transmisión No. 1 lado B, molino B, aumenta de temperatura en la fecha 25/07/06, esto se debió a que los bancos de trituración se atascaron (se llenaron de producto) y el motor se sobrecargó, se procedió a la revisión física del motor determinando que el aumento de temperatura no era por rodamientos dañados, sino porque el devanado del estator sufrió daño y por esta razón aumentó la temperatura nominal de trabajo.

El comportamiento del motor de transmisión No. 2, es casi una línea horizontal, esta es la que se desea mantener por medio del Mantenimiento Predictivo.

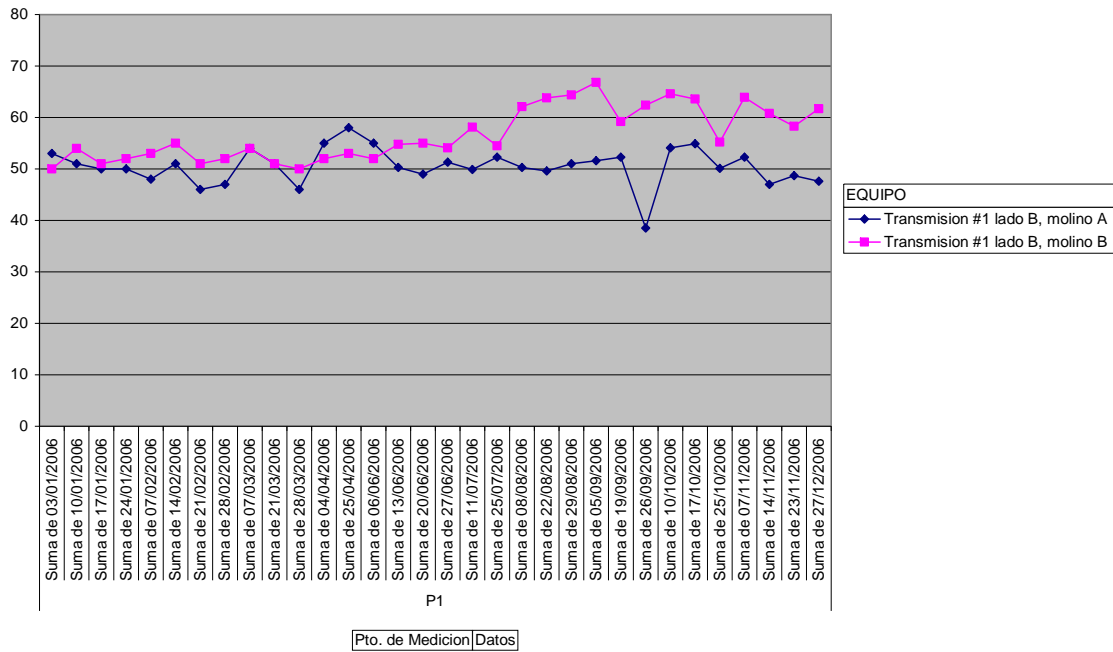
Figura 61. Motores de transmisiones del molino B



Comparación de motores de transmisiones 1, de ambos molinos.

En esta figura se muestra el comportamiento de dos motores de igual caballaje, revoluciones y que realizan el mismo trabajo, la tendencia es casi lineal y similar en ambas figuras hasta el momento en que el motor de la transmisión No.1 lado B molino B sufrió daño debido al atasco de producto, de igual forma se aprecia el cambio generado por la lubricación realizada al motor de la transmisión No. 1 lado B molino A, cumpliendo con el programa de mantenimiento preventivo.

Figura 62. Comparación de motores de transmisiones 1, de ambos molinos



Comparación de motores de transmisiones 2, de ambos molinos.

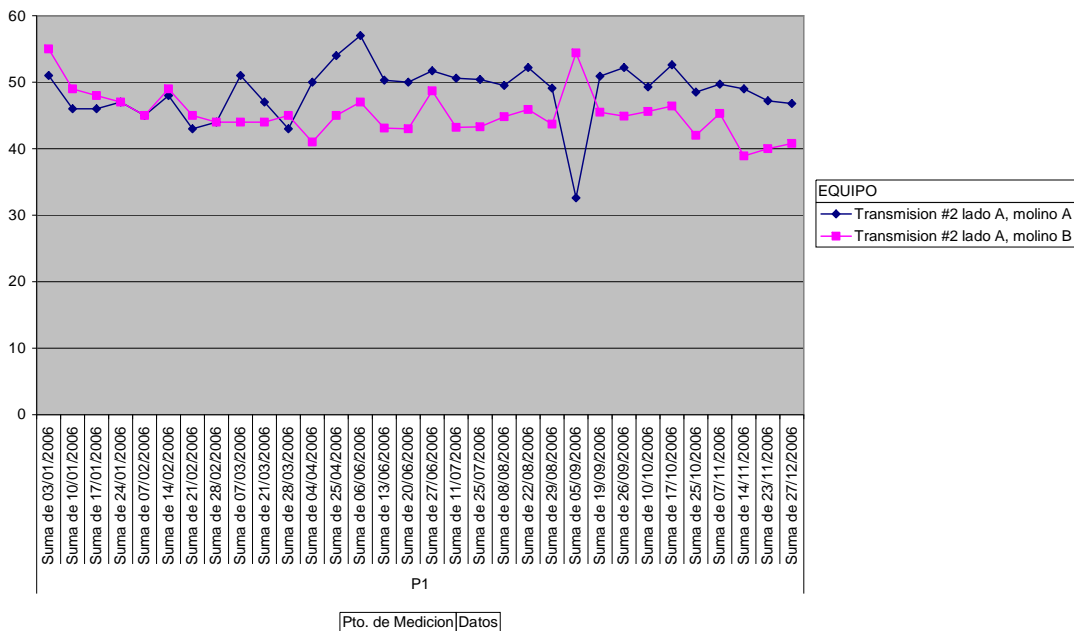
En esta figura también se muestra el comportamiento de dos motores de igual caballaje, revoluciones y que realizan el mismo trabajo en diferente molino A y B, se demuestra que el comportamiento es similar.

Al inicio de la toma de mediciones ambos se mantienen con la misma tendencia pero en el transcurso de las fechas las tendencias pueden cambiar por diferentes razones, ya sea a la baja o al alza por lo que toma importancia el monitoreo de la temperaturas para apoyar las decisiones consecuentes.

Para el caso de la transmisión 2 lado A molino A, el día 25/04/06 la temperatura se incremento en 5 grados dicho incremento no es representativo de daño especialmente por ser época de verano, el 06/05/06 nuevamente se incrementa la temperatura en 4 grados, obligando automáticamente a reducir el periodo de observación, sin embargo ésta descendió.

Si la alta temperatura hubiese continuado por una semana más pero sin incrementar, se solicitaría el análisis de vibraciones. Para la fecha 05/09/06 se observa un cambio a la baja esto debido a mantenimiento realizado como se explica en la figura 62.

Figura 63. Comparación de motores de transmisiones 2, de ambos molinos



Comparación de 3 motores de soplantes de ambos molinos

Muestra el comportamiento de temperatura de 3 motores eléctricos que impulsan a 3 soplantes, (blowers, de 2 lóbulos cada soplante).

Tabla IV. Soplates de harina

Nombre	Hp	RPM
Soplante de harina a filtro del 5to nivel	15	1760
Soplante de harina a silos del molino A	40	3351
Soplante de harina a silos del molino B	30	3351

El motor del soplante de harina a filtro de 5to nivel en la fecha 05/09/06 sufre un incremento de temperatura de 12°C, como el aumento no es mayor de 15°C según lo establecido, simplemente se continuó con el monitoreo, sin embargo en la fecha 19/09/06 nuevamente se detecta incremento en la temperatura, esta vez fue de 9°C más, sumado al anterior la temperatura incremento un total de 21°C.

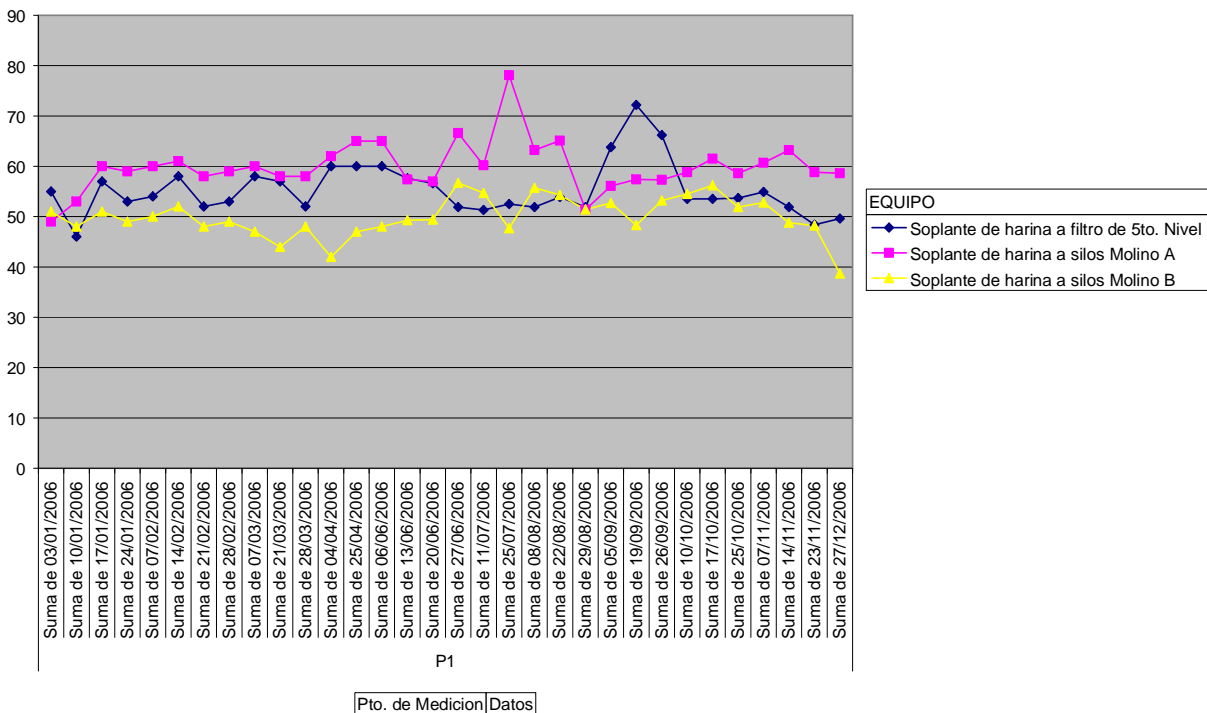
Este aumento de temperatura podría ser reflejo de cojinete en mal estado pero en mantenimientos previos se determino que la grasa de las pistas internas de los cojinetes se degrada por lo que se decidió aplicar 5gr de grasa grado NGLI No.2 a cada rodamiento y monitorear los resultados observando un descenso gradual en la temperatura a partir del 20/09/06. El motor del soplante de harina a silos del molino A en la fecha 27/06/06 sufre un incremento de temperatura de 9°C, se aplico grasa con base al procedimiento aplicado al motor del soplante de harina a filtro de 5to nivel.

En la fecha 11/07/06 se observo una baja en la temperatura pero en el monitoreo de fecha 25/07/06 la temperatura incremento nuevamente por arriba de los 15°C, como la aplicación de grasa era reciente la decisión tomada fue de reemplazar los rodamientos el día 30/06/06, determinando que efectivamente los rodamientos estaban dañados. No se realizó análisis de vibraciones por que el mantenimiento programado de esta máquina estaba próximo.

En el monitoreo de fecha 10/10/06 se observa que el motor llego a trabajar a su temperatura nominal, esta es la manera que se utiliza el mantenimiento predictivo. Antes que falle el motor se realiza el mantenimiento programado.

Con respecto al motor del soplante de harina a silos del molino B, se puede observar un comportamiento térmico constante casi lineal, lo que significa que los rodamientos trabajaron de forma óptima en el transcurso del año. A finales de año se muestra un descenso en la temperatura, esto es debido a la temperatura ambiente, que es bastante baja en esta época.

Figura 64. Comparación de tres motores de soplantes de ambos molinos



Motores de banco T-1, molino B, punto número 1 (P1):

La tendencia de la temperatura del motor de estos bancos de trituración, es la óptima que se desea observar con este diseño de mantenimiento predictivo.

Si la temperatura aumenta en 15°C, partiendo de su temperatura nominal de trabajo, se advierte posible falla de cojinete.

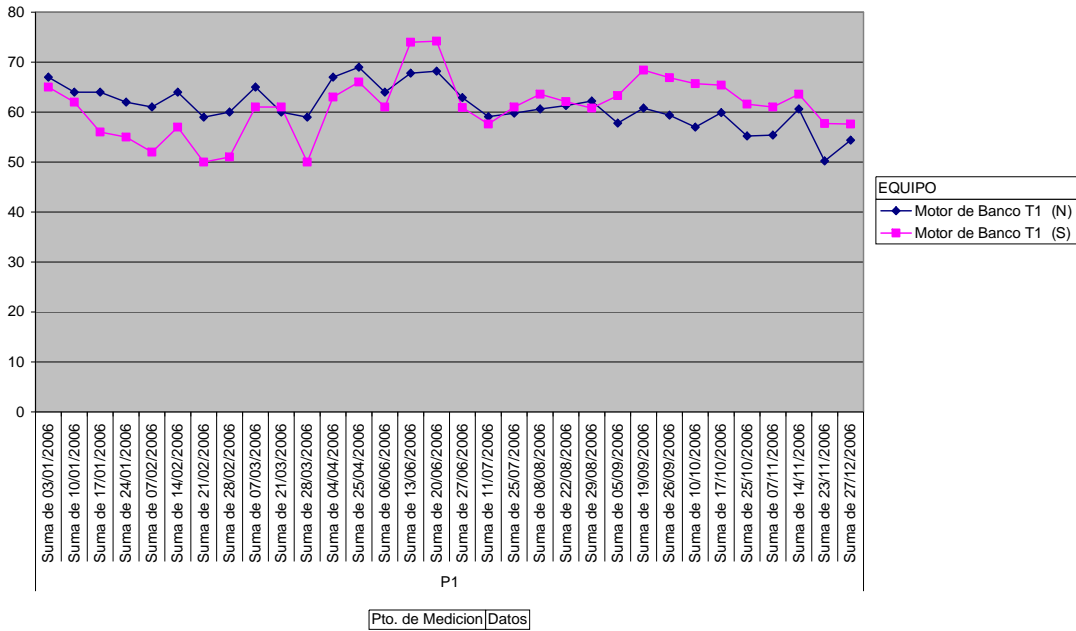
En el caso del motor del banco T.1 N, trabaja a una temperatura nominal de 60°C, este en la fecha 28/03/06 aumento a 70°C, esto no advierte que los rodamientos del motor estén dañados, solo refleja que fue una semana calurosa.

Se observa un comportamiento estable en la figura del motor del banco T-1 S, este de igual forma no excede los 15°C que se fijo como límite de temperatura para determinar el buen estado de los cojinetes.

Los motores de los bancos T-1 N y S, aumentaron temperatura en la misma fecha y esto indica que fue debido al aumento de temperatura ambiente durante esta semana, se detecto una temperatura ambiente de 27°C a 30°C.

Luego de estas fechas, la temperatura desciende, más por la época de invierno hacia el final de año.

Figura 65. Motores de banco T-1, molino B, punto número 1 (P1)



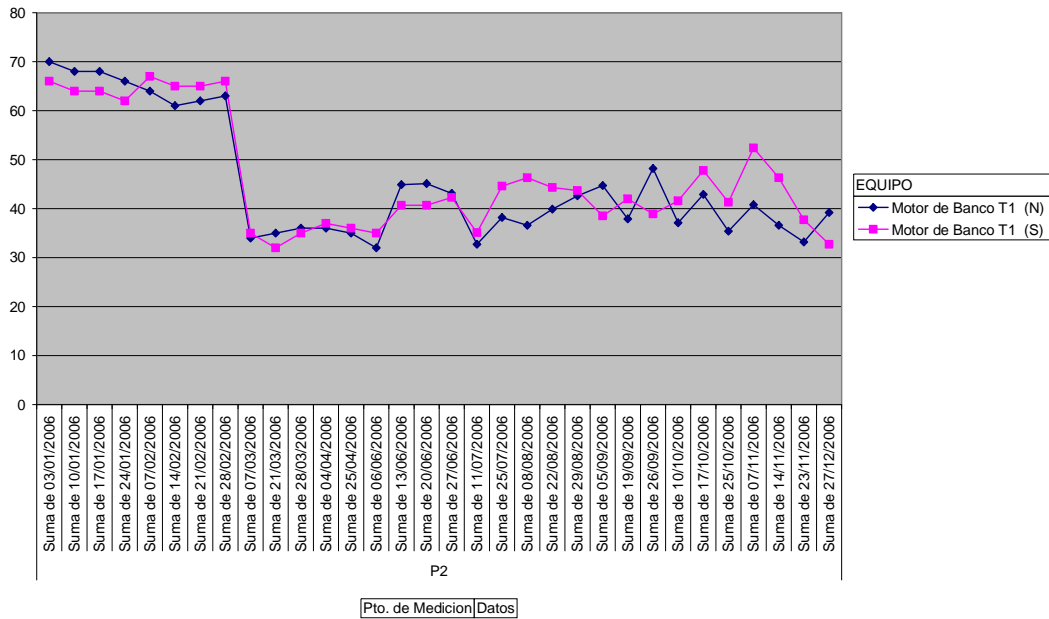
Motores de banco T-1, molino B, punto número 2 (P2).

Los datos de temperatura de la fecha 03/01/06 al 28/02/06, fueron tomados al inicio de este proyecto en un punto del motor no adecuado por estar localizado en el devanado del motor, por lo tanto la temperatura tomada es la del motor en si porque es la temperatura con que trabajan las espiras de cables eléctricos internos donde fluye la corriente eléctrica, al ubicar adecuadamente el punto de medición los datos cambiaron drásticamente.

A partir de la fecha 07/03/06, los datos fueron obtenidos en el punto número 2 (P2) del motor, el cual proporciona datos significativos del estado del cojinete trasero, pero afectado por agente externo como lo es el viento a presión que proporciona el ventilador acoplado al eje trasero para enfriar el devanado del motor.

Esto indica que la medición realizada de temperatura para el estado de rodamientos, debe tomarse lo más cercano posible al alojamiento del cojinete para que proporcione datos reales del estado de los mismo.

Figura 66. Motores de banco T-1, molino B, punto número 2 (P2)



Comparación de tres motores de ventilador de baja presión.

En esta figura se observan las tendencias de temperatura de tres motores de ventiladores radiales de baja presión.

Tabla V. Ventiladores de baja presión

Nombre	Hp	RPM
Ventilador de baja 110	20	1755
Ventilador de baja 106	20	1450
Ventilador de baja presión, del molino A	40	1465

El motor del ventilador de baja 106 en la fecha 20/06/06 muestra un aumento en la temperatura de 8°C, lo cual no es relevante porque como se menciona con anterioridad no sobrepasa los 15°C de la temperatura nominal de trabajo y se confirma el 27/06/06 porque disminuyó la temperatura.

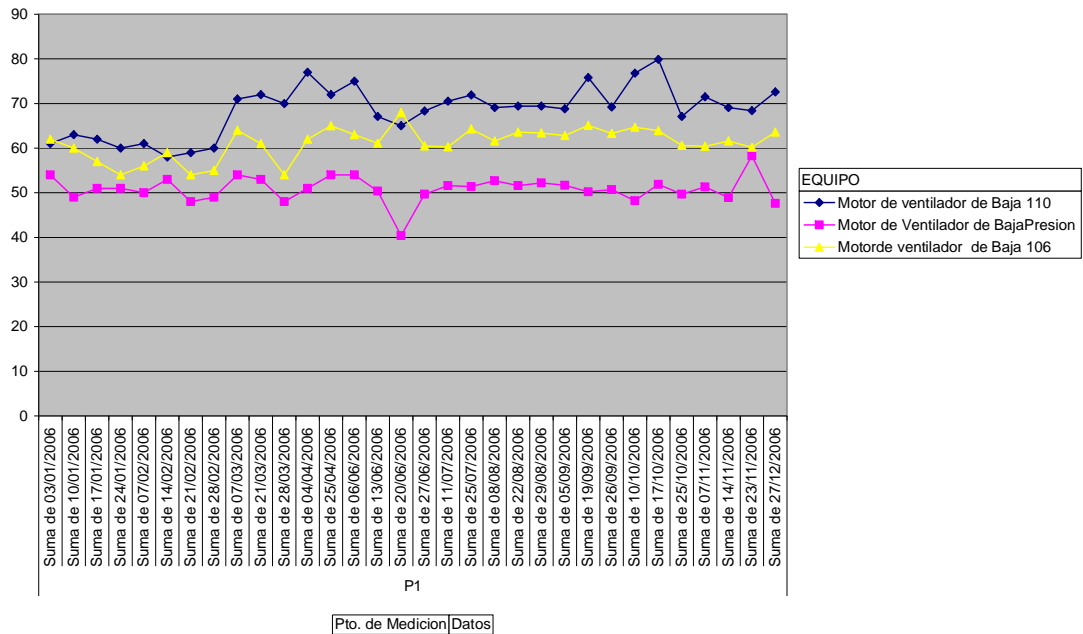
El motor del ventilado de baja 110 en la fecha 28/02/06 muestra un aumento de temperatura de 11°C y a partir de esta fecha se mantiene con este rango de los 11°C sobre la temperatura nominal de trabajo.

En la fecha 28/03/06, aumenta nuevamente la temperatura en 8°C más, previo a realizar el análisis de vibraciones se analizó del tipo de cojinete el cual es uno de bolas a rotula (oscilante).

En este tipo de cojinete la grasa tiende a salirse de las pistas, lo que provoca mala lubricación en los baleros, por esta razón se aplicaron a los rodamientos 5gr de grasa grado NGLI No.2 para alta revolución y la temperatura bajó considerablemente, hasta llegar a su temperatura nominal en el 27/06/06.

El motor del ventilador de baja presión, del molino A, es el motor que mantiene un comportamiento lineal en su temperatura de trabajo, por lo que se menciona con anterioridad esta es la tendencia eficiente de trabajo de un motor eléctrico.

Figura 67. Comparación de tres motores de ventilador de baja presión



Comparación de tres motores de ventiladores de alta presión.

En esta figura se muestra el comportamiento de la temperatura en tres motores de ventiladores radiales de alta presión,

Tabla VI. Ventiladores de alta

Nombre	Hp	RPM
Ventilador de alta 150	100	1775
Ventilador de alta 151	100	1765
Ventilador de alta presión, del molino A	177	2980

El motor del ventilador 150 el día 28/02/06 tiene un aumento de temperatura, debido a que no se podía parar para aplicarle grasa porque no cuenta con graseras para la lubricación en funcionamiento y es un motor crítico.

Se decidió realizar análisis de vibraciones, puesto que la fecha de mantenimiento programado estaba muy lejana. Los datos presentados indicaron que el motor tenía en mal estado los rodamientos, por esta razón en el paro de mantenimiento programado del día 08/03/08, se realizó el cambio de rodamientos, Se aprecia el descenso de temperatura en la fecha 28/03/06 y luego continua con su temperatura nominal de trabajo constante.

De igual manera, en el motor del ventilador 151, se aprecia un aumento de temperatura el 21/02/06 y tampoco cuenta con graseras, se realizó análisis de vibraciones y también los datos determinados reflejaron rodamientos en mal estado, debido a estos datos en la fecha 08/03/06 se cambiaron los rodamientos al motor. En la fecha 22/08/06 hubo un aumento en la temperatura no significativo porque el aumento no fue mayor de 15°C. Luego en la fecha 29/08/06 continuó con su temperatura nominal de trabajo.

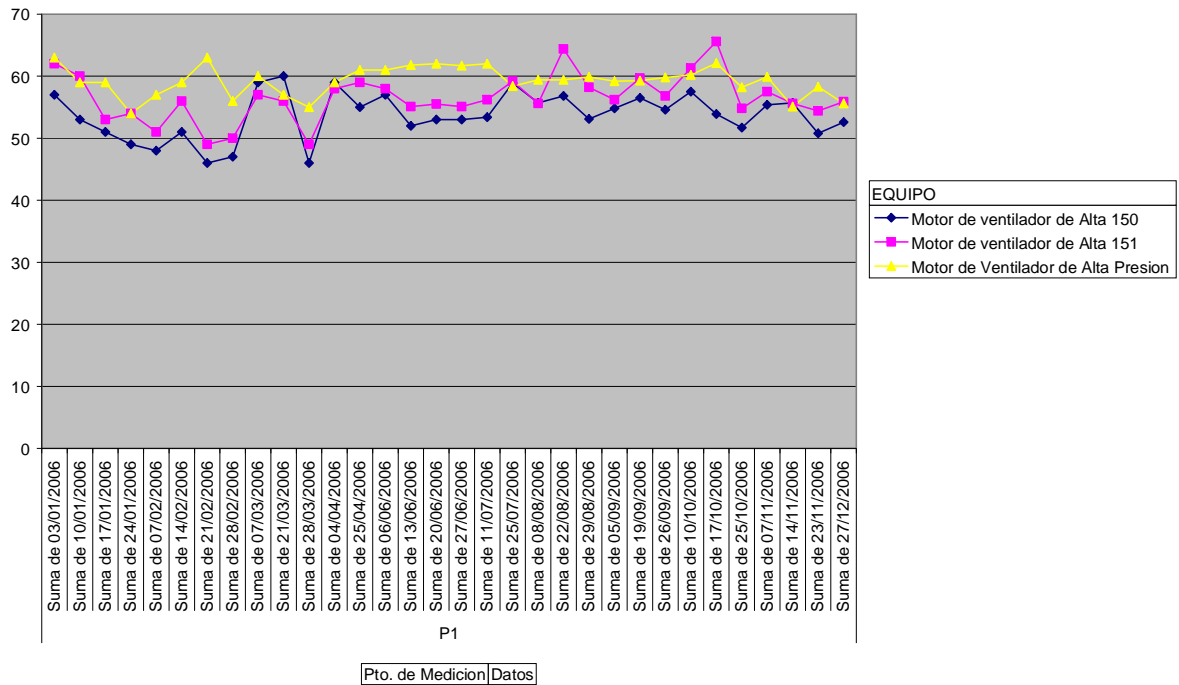
En la fecha 10/10/06 y 17/10/06, se registró aumento de temperatura sobre los 15°C pero como el cambio de rodamientos se había realizado 8 meses atrás se decidió aplicar grasa a los rodamiento, grado NGLI No.3 para alta temperatura y alta revolución, a partir de la fecha 18/10/06 el comportamiento fue constante.

La tendencia apreciable en los motores de los ventiladores de alta presión es constante y es en estos es donde más se reflejan los cambio de temperatura del medio ambiente, en las fechas de verano presenta pequeños aumentos y a finales de año presenta disminución, por los cambios climáticos de estas fechas.

El 11/07/06 por mantenimiento programado o preventivo, se aplicó grasa para motores de alta revolución y alta temperaturas en el motor del ventilador de alta presión.

Se puede observar que por ser de mayor revolución trabaja casi a 10°C más que los otros motores.

Figura 68. Comparación de tres motores de ventiladores de alta presión



Comparación de motores de ventiladores de alta y baja presión del molino A.

Tabla VII. Ventiladores

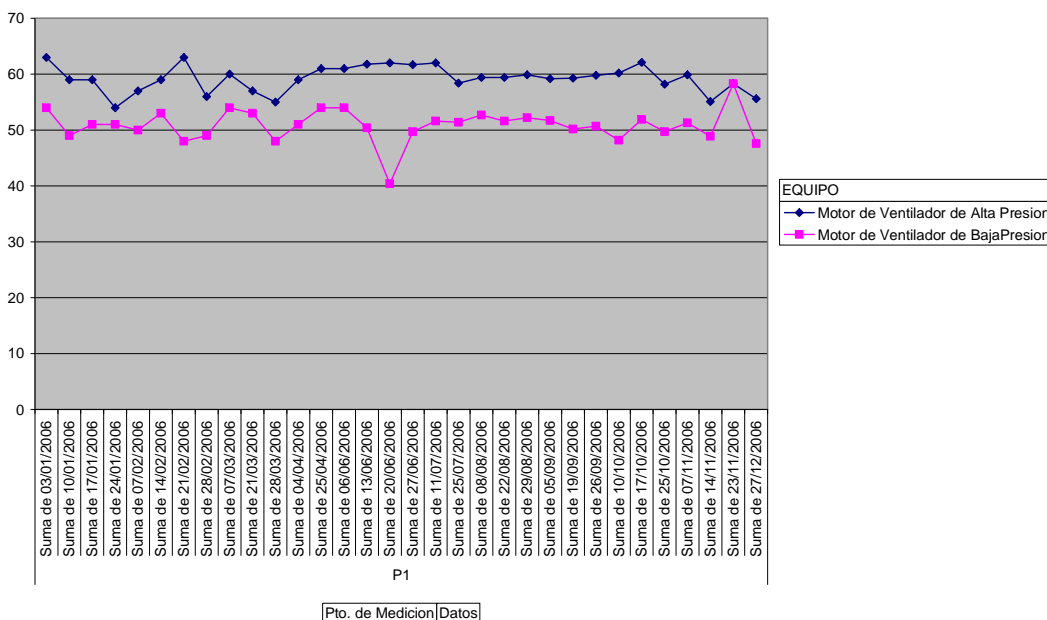
Nombre	HP	RPM
Ventilador de baja presión, del molino A	40	1465
Ventilador de alta presión, del molino A	177	2980

En esta figura se compara el comportamiento térmico de los motores de los ventiladores radiales del molino A.

Los motores de los ventiladores de baja y alta presión del molino A, son del tipo de motor eléctrico de carcasa abierta, por esta razón ambos motores eléctricos según el monitoreo se observa que mantienen la temperatura nominal de trabajo constante, la diferencia radica en las revoluciones, caballajes y cargas de trabajo.

Adicionalmente, la ventilación de este tipo de motores es altamente eficiente, puesto que tiene ranuras en el envoltorio del motor, para que circule bien el aire proporcionado por el ventilador acoplado al eje no motriz. La diferencia de temperatura de cada motor es apreciable porque como se menciona anteriormente, a mayores revoluciones, caballaje y cargas de trabajo su temperatura nominal de trabajo será mayor y por el contrario, cuando estas condiciones son menores.

Figura 69. Comparación de motores de ventiladores de alta y baja presión del molino A



4.2 Datos obtenidos de medición de vibraciones mecánicas

Como en los motores eléctricos de los ventiladores de alta presión se detectó un incremento de temperatura arriba de los 15°C, se determinó realizar el análisis de mediciones de vibración y el análisis de espectros de frecuencia de vibraciones para cada uno de estos motores.

La compañía que se contrató para realizar este servicio se basa en el tamaño de las máquinas para establecer las condiciones de trabajo para dichas máquinas haciendo uso de tablas de valores límites, acorde a la norma ISO 2372 y VDI 2056. (Tabla adjunta en anexos)

Para los motores eléctricos de estas máquinas la elevación de temperatura no es causada únicamente por el mal estado los rodamientos, influyen otros factores importantes como el desbalance de la turbina del ventilador, que en este caso podría causar un incremento en la temperatura porque los rodamientos sufren movimiento radial, el desbalance se puede provocar por producto u oxido pegado en las aspas de la turbina.

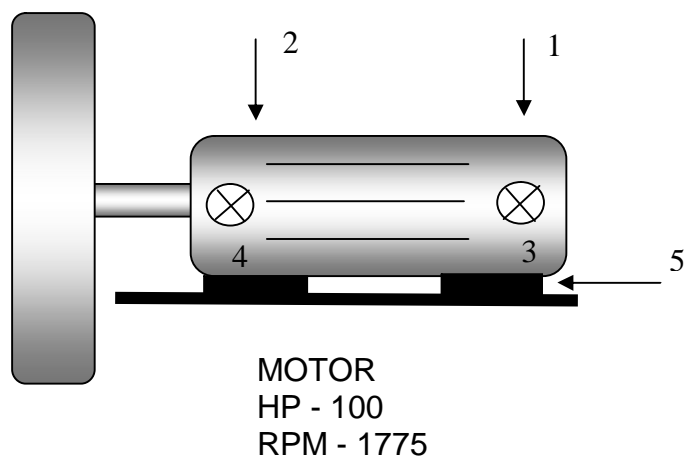
Esta es una de las razones por la que se puede solicitar el análisis de espectros de frecuencia. Se adjuntan los resultados y se comparan contra los datos obtenidos en las tomas de temperatura.

Todas las mediciones fueron realizadas en mm/s (milímetros por segundo) y rpm (revoluciones por minuto). OBV, es la vibración global, esto quiere decir que es la vibración de la máquina completa. Para tomar esta vibración el sensor es instalado en las bases de metal donde va anclada la máquina. BCU, es la medición de vibración directamente sobre el motor.

4.2.1 Análisis de gráficos obtenidos en vibraciones

Análisis de ventilador de alta presión número 150.

Figura 70. Ventilador número 150



Como se puede observar en la figura 68, en la fecha 21/02/06, este ventilador aumentó su temperatura, lo que derivó en el análisis de vibraciones.

El gráfico a continuación, presenta el espectro de frecuencias del ventilador radial de alta presión número 150.

Figura 71. Espectro de frecuencia de ventilador número 150

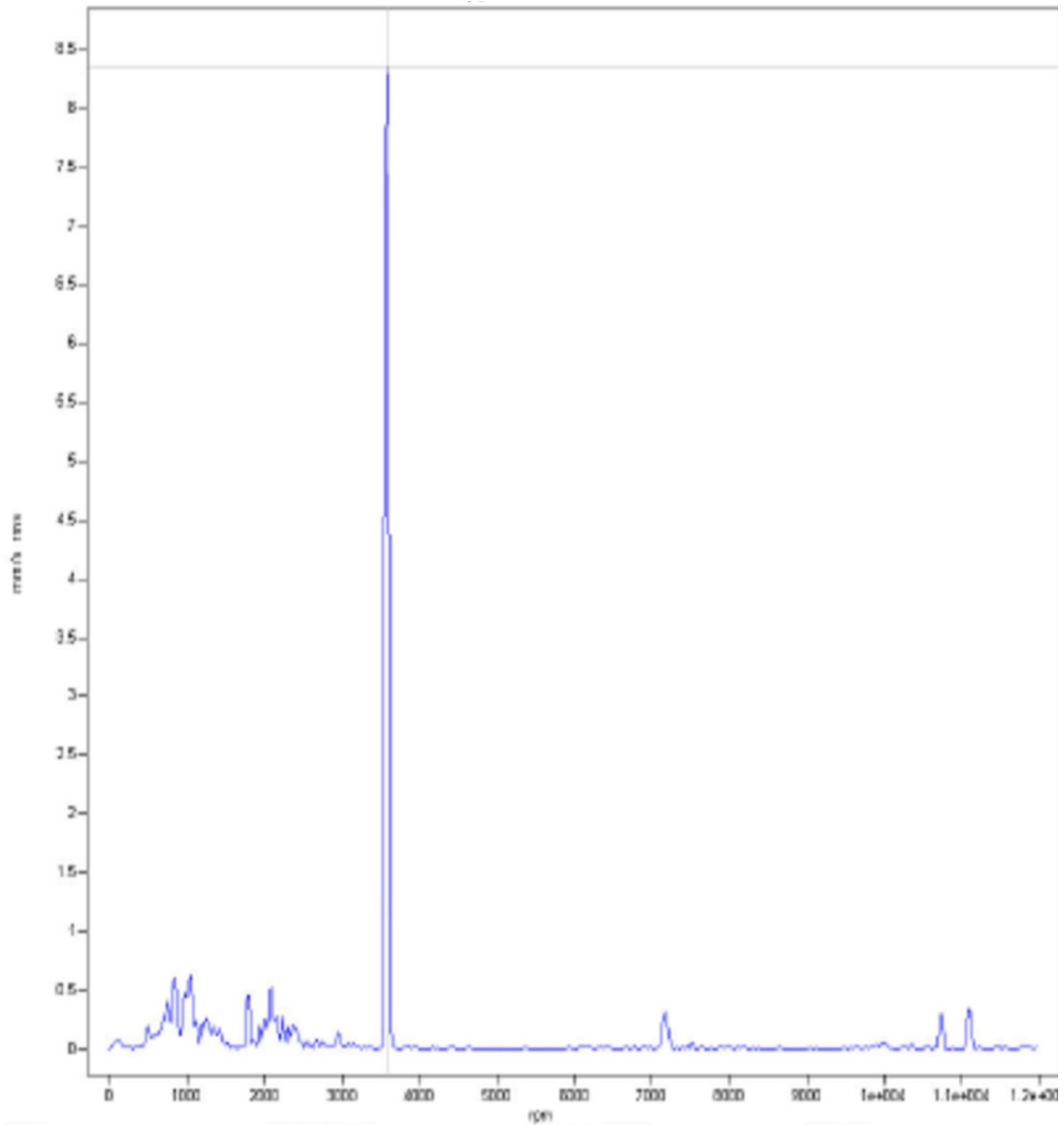


Tabla VIII. Ventilador número 150

Análisis de Vibraciones		
Punto	OBV (mm/s)	BCU
1	3.43	
2	8.36	
3	1.71	0.06
4	5.21	0.99
5	7.43	

Máquina: Mediana

Condición: No aceptable

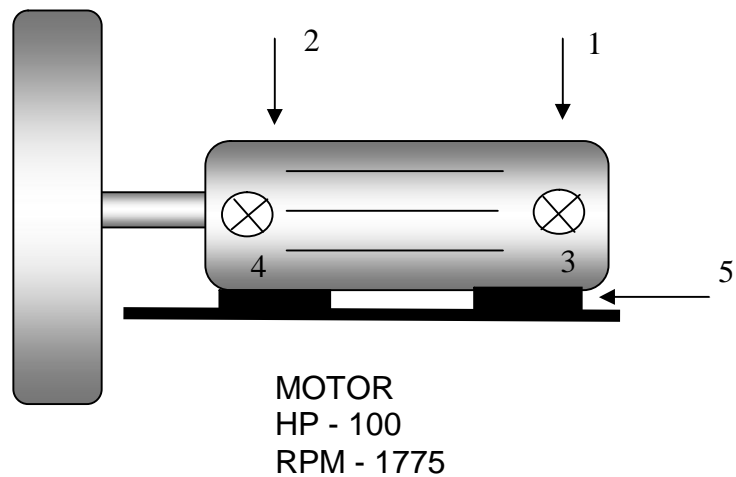
En la norma ISO 2372, este motor del ventilador 150, se clasifica como máquina mediana y el límite de vibración de esta máquina es de 7mm/s.

Como se puede observar en la tabla VIII, el punto 2, aumentó a 8.35 mm/s, lo que significa que el cojinete esta en mal estado.

Por los datos detectados en la medición de vibraciones, la máquina esta en un estado no aceptable, por esta razón se le cambiaron los rodamientos, en la fecha 08/03/06.

Análisis de vibración de ventilador de alta presión número 151

Figura 72. Ventilador número 151



Como se muestra en la figura 68, en la fecha 21/02/06, este ventilador aumentó temperatura. De igual forma se determinó solicitar el análisis de vibraciones.

El gráfico a continuación, presenta el espectro de frecuencias del ventilador radial de alta presión número 151, este presenta picos en múltiplos del número de revoluciones.

Figura 73. Espectro de frecuencia de ventilador número 151

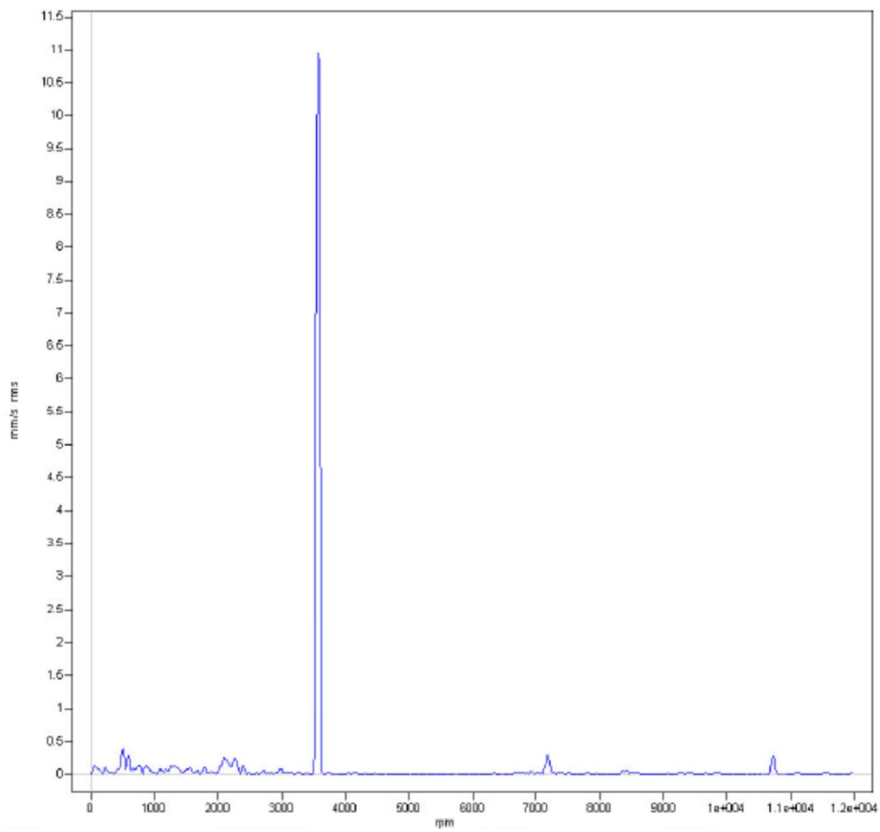


Tabla IX. Motor número 151

Análisis de Vibraciones		
Punto	OBV	BCU
1	5.23	
2	6.99	
3	3.06	0.07
4	10.90	2.08
5	8.75	

Máquina: Mediana

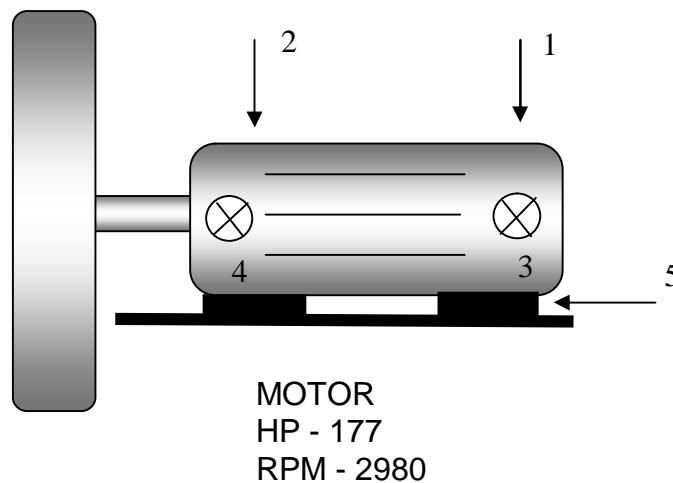
Condición: No aceptable

Según norma ISO 2372, esta máquina se encuentra catalogada como una máquina mediana y el límite de vibración de la misma, es de 7mm/s. Como se muestra en la tabla IX, el punto 4, aumentó a 10.90, esto significa que el cojinete está en mal estado.

Por los datos detectados en la medición de vibraciones, la máquina está en un estado no aceptable, por esta razón se le cambiaron los rodamientos, en la fecha 08/03/06.

Análisis del ventilador de alta presión del molino A

Figura 74. Ventilador de alta presión del molino A



El gráfico a continuación, presenta el espectro de frecuencias del ventilador alta presión del molino A.

Figura 75. Espectro de frecuencia de ventilador de alta presión del molino

A

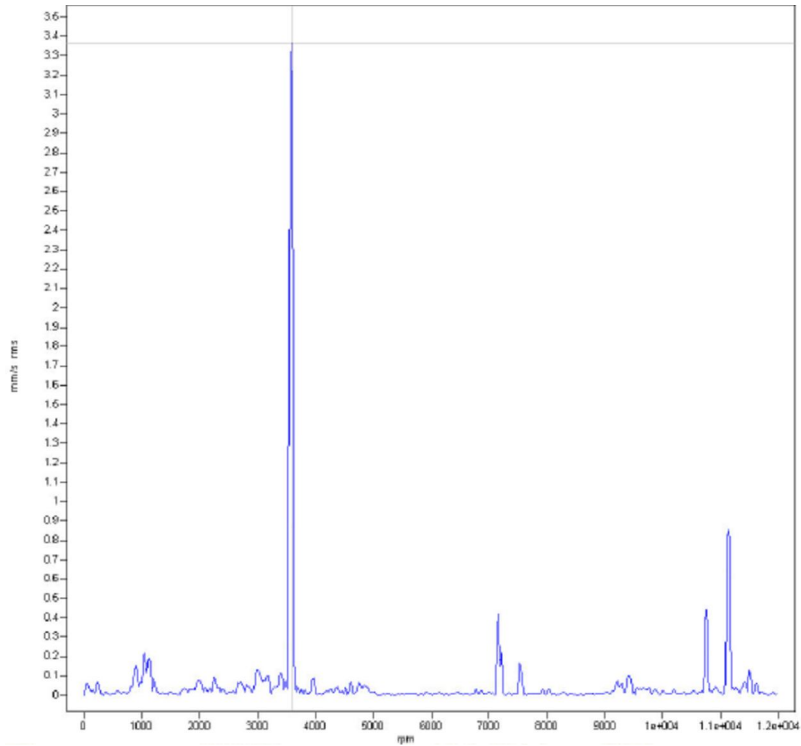


Tabla X. Ventilador de alta presión

Análisis de Vibraciones		
Punto	OBV	BCU
1	1.95	
2	3.50	
3	0.84	0.05
4	1.37	0.26
5	1.70	
6	1.83	

Máquina: Grande

Condición: Aceptable

Según norma ISO 2372, está máquina se encuentra catalogada como una máquina grande y el límite de vibración es de 4.5mm/s. Como se muestra en la tabla No. 8, no se detectaron aumentos en ningún punto, lo que significa que los rodamientos se encuentran en buen estado.

Por los datos obtenidos en la tabla X, las vibraciones de la máquina están en un estado aceptable.

Datos otorgados por producción de molinos modernos

Los paros no programados, se disminuyeron, por ejemplo; en enero del 2006 (cuando inicio el proyecto) en total del mes son 1440.00 horas de trabajo continuo y de estas 10.37 horas fueron de paro de producción para reparar maquinaria, en enero del 2007 de las mismas horas de producción se disminuyó a 8.37 horas de paro, pero para mantenimiento preventivo.

Igualmente en julio del 2006 de las mismas 1440.00 horas, se paro producción 14.09 horas por el mantenimiento correctivo, en julio del 2007, se paro producción 3.28 horas para mantenimiento preventivo. En octubre del 2006 se paro producción durante 15.17 horas para mantenimiento correctivo y en octubre de 2007, 3.50 horas de paro para mantenimiento

Fase enseñanza y aprendizaje

5. FASE DIDÁCTICA

5.1 Programa de capacitación

El programa de capacitación es dirigido al personal de mantenimiento de la planta, este se realizó con el fin de dar a conocer las definiciones principales de teoría que es la base de este diseño de mantenimiento predictivo, como por ejemplo, que es mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo, tipos de herramientas de toma de mediciones y teoría de temperatura.

Además de esto también los pasos que se deben tomar para elaborar la ruta crítica, el porque de los puntos calientes, los periodos de toma de temperatura, y por último el análisis de gráficos para realizar el análisis de vibraciones.

5.1.1 Conceptos básicos

Mantenimiento

Es la serie de trabajos a ejecutar sobre el equipo, con el fin de prolongar la vida útil y aumentar el servicio continuo.

Mantenimiento preventivo

Este mantenimiento es efectuado con la intención de reducir la probabilidad de falla, consiste en someter al equipo, después de un determinado periodo de funcionamiento, a un desmontaje total o parcial para verificar su estado, procediendo a la reparación o sustitución de los elementos deteriorados y de aquellos para los que se espere una falla próxima.

Mantenimiento predictivo.

Este mantenimiento consiste en la vigilancia o seguimiento del estado de una máquina de forma continua o discontinua, mediante la captación de señales que modifican su forma de trabajar (señales físicas), dependiendo de la falla. Las señales debidamente tratadas y analizadas se usan para diagnosticar el tipo de falla, donde se esta produciendo y su severidad. Esta información permite conocer la severidad de la fallas, así como planificar adecuadamente y con anticipación las paradas y reparaciones.

Mantenimiento correctivo

Es la serie de trabajos necesarios a ejecutar cuando el mantenimiento preventivo indica que se impone una reparación del equipo

Herramienta para toma de medidas de temperatura y vibraciones.

Para realizar medidas de temperatura se pueden utilizar un termopar que se basa en un voltaje eléctrico producido por la unión de conductores diferentes y que cambia con la temperatura, este voltaje se usa como medida indirecta de la temperatura.

Por medio de un termistor, este método se obtiene gracias a la propiedad de variación de la resistencia eléctrica con la temperatura.

O por medidores láser para temperatura, los medidores láser para temperatura hacen posible una medición de la temperatura sin contacto por medio de la radiación infrarroja de un cuerpo.

Para realizar tomas de vibraciones mecánicas, se puede utilizar un transductor de vibración, denominado captador o sensor, es un dispositivo que convierte el movimiento de impacto, o bien de la vibración en señal óptica, mecánica o más habitualmente, eléctrica, que es proporcional al movimiento. El transductor que logra la conversión del movimiento esta señal se denomina elemento transductor. Entre éstos, están los sensores de velocidad, aceleración y desplazamiento.

Teoría de temperatura

La temperatura, no es una forma de energía en si, sino una medida de la cantidad de energía que posee un cuerpo como calor. En otras palabras, si damos calor a un cuerpo, su temperatura aumenta. La temperatura es un indicador de la energía cinética de las moléculas. Cuando un objeto se siente caliente, los átomos en su interior se están moviendo rápidamente en direcciones aleatorias y cuando se siente frío, los átomos se están moviendo lentamente

Se puede propagar de varias formas, por conducción que es la transmisión del calor por contacto molecular, por convección es cuando el calor se transporta con la masa misma. Es la forma en que se transmite el calor en los fluidos, es decir, en los líquidos y en los gases.

Radiación es la transferencia de calor por radiación se hace por medio de ondas electromagnéticas que pueden propagarse igual en un medio material que en la ausencia de este.

5.1.2 Bases para diseño de mantenimiento predictivo

Un motor crítico, es aquel que si en algún momento falla, el molino en general para producción por varias horas mientras se repara o se reemplaza el motor. Los nombres fueron tomados directamente de los tableros eléctricos de control y fuerza, de producción.

Al momento de realizar la ruta crítica, se debe de tomar en cuenta, el área de accesibilidad que tiene el motor al momento de la toma de temperatura y vibración, porque si es muy incomodo y riesgoso realizarlo, los datos ya no son significativos.

Un punto caliente es punto de medida, específico sobre la circunferencia de la carcasa del motor (alojamiento), que se encuentra en contacto directo con el rodamiento, se decidió colocar el punto caliente en el mismo lugar donde se montan sensores de velocidad, esta posición es la indicada para la medición de temperatura, porque esta directamente sobre el motor y no da lecturas erróneas.

5.2 Metodología

En esta fase se desarrolló un método de enseñanza con base a clases magistrales, con los temas anteriores descritos.

La manera de impartir la inducción al mantenimiento predictivo a motores eléctricos con base a temperatura y vibración, fue por medio de diapositivas,

realizadas con la descripción de cada tema, con gráficos entendibles y con ejemplos prácticos, estos ejemplos se acercaban a la realidad, similares a los que el personal de mantenimiento están acostumbrados a realizar todos los días.

CONCLUSIONES

1. Los tipos de análisis para este mantenimiento son: análisis de temperatura, vibraciones y ultrasonido.
2. Los cojinetes en un motor eléctrico sufren calentamiento por: falta de lubricante, suciedad en los cojinetes, fatiga del cojinete, por mala instalación, todos estos factores afectan al rodamiento, por lo que sufre desgaste y por consiguiente el aumento de temperatura.
3. Los paros no programados, se disminuyeron en un 57.334%, según datos otorgados por producción de Molinos Modernos (ver tabla en anexos)
4. El mantenimiento se optimizó en un 58.3%, porque se observaron las posibles fallas de la máquina antes que fallaran y se pudo programar un mantenimiento a la máquina, con esto se bajaron los costos de repuesto y mano de obra.
5. Las rutas críticas que se realizaron en este proyecto quedaron establecidas para que en un futuro se continúe haciendo las inspecciones de estas máquinas críticas.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con el control de mediciones de temperatura y vibración de los motores críticos, para que el sistema de mantenimiento predictivo cuente con una base de datos completa.
2. Al realizar las mediciones de temperatura y vibración de motores eléctricos tomar en cuenta la variación de temperatura ambiental, el desajuste de poleas, y los desbalances de rotores.
3. Trasladar este sistema de mantenimiento predictivo a plantas con similares características, para optimizar el mantenimiento preventivo de motores eléctricos.
4. Realizar un estudio similar al presente, utilizando ultrasonido, como base del mantenimiento predictivo.

BIBLIOGRAFÍA

1. THOMPSON T., William. **Teoría de Vibraciones: Aplicaciones**. México: Editorial PRENTICE-HALL.
2. STEIDEL, Robert F. **Introducción al estudio de las vibraciones Mecánicas**. México DF: Editorial CECSA, 1984.
3. PINZON Camacho, Álvaro. **Medición de Vibraciones. Técnica de medición. Balanceo y Mantenimiento Predictivo**. Colombia: Editorial McGraw Hill.
4. Manual de mantenimiento preventivo de la empresa.
5. Manuales de instalación y operación de motores eléctricos.
6. Catálogo de cojinetes FAG del año 2000.
7. Folleto o catálogo de rodamientos SKF, 2003.
8. Internet, www.dliengineering.com/vibman-spanish.htm, 2007.
http://www.tutiempo.net/silvia_larocca/Temás/Met11.htm), 2007.

ANEXOS

Tabla XI. Análisis de horas de producción

Análisis de horas de producción. Total de horas: 1440.00			
Mes	2006	2007	2006 Vrs 2007
Enero	12.40	13.08	-5.484
Febrero	11.30	4.55	59.735
Marzo	21.24	10.06	52.637
Abril	5.43	11.30	-108.103
Mayo	15.53	9.50	38.828
Junio	5.58	6.21	-11.290
Julio	18.50	3.28	82.270
Agosto	16.31	6.17	62.170
Septiembre	7.45	8.20	-10.067
Octubre	20.53	9.28	54.798
		Promedio de % del 2006	57.334

Datos otorgados por producción de Molinos Modernos

Tabla XII. Norma ISO 2372
VALORES LÍMITES PARA EVALUAR
VIBRACIONES MECANICAS DE MÁQUINARIA
SEGÚN ISO 2372 Y VDI 2056
Vibración (rms) en mm/s

mm/s rms					NO ACEPTABLE
	28				
18					
11					ACEPTABLE
7					
4.5					BUENO
2.8					
1.8					
1.1					
0.7					
0.45					
0.28					
	Máquinas pequeñas (motor eléctrico Hasta 15Kw)	Máquina mediana (motores eléctricos de 15Kw hasta 75Kw 20 HP 100HP)	Máquina grande	Turbinas	

Ubicación	Molino	Equipo	Pto. de medición	03/01/2006	10/01/2006	17/01/2006
1er Nivel	A	Transmision #2 lado A, molino A	P1	51	46	46
1er Nivel	A	Transmision #2 lado A, molino A	P2	49	47	44
1er Nivel	A	Transmision #2 lado A, molino A	P3	33	32	31
1er Nivel	A	Transmision #1 lado B, molino A	P1	53	51	50
1er Nivel	A	Transmision #1 lado B, molino A	P2	52	55	55
1er Nivel	A	Transmision #1 lado B, molino A	P3	34	30	30
1er Nivel	B	Transmision #2 lado A, molino B	P1	55	49	48
1er Nivel	B	Transmision #2 lado A, molino B	P2	51	48	47
1er Nivel	B	Transmision #2 lado A, molino B	P3	36	30	33
1er Nivel	B	Transmision #1 lado B, molino B	P1	50	54	51
1er Nivel	B	Transmision #1 lado B, molino B	P2	57	49	50
1er Nivel	B	Transmision #1 lado B, molino B	P3	34	33	32
4to Nivel	A	Motor de ventilador de alta presión	P1	63	59	59
4to Nivel	A	Motor de ventilador de alta presión	P2	57	52	54
4to Nivel	A	Motor de ventilador de alta presión	P3	35	35	34
4to Nivel	A	Motor de ventilador de baja presión	P1	54	49	51
4to Nivel	A	Motor de ventilador de baja presión	P2	51	49	51
4to Nivel	A	Motor de ventilador de baja presión	P3	34	34	33
5to Nivel	B	Motor de ventilador de baja 110	P1	61	63	62
5to Nivel	B	Motor de ventilador de baja 110	P2	73	69	64
5to Nivel	B	Motor de ventilador de baja 110	P3	34	32	31
5to Nivel	B	Motor de ventilador de baja 106	P1	62	60	57
5to Nivel	B	Motor de ventilador de baja 106	P2	66	63	60

Tabla XIII. Base de datos de temperaturas

Ubicación	Molino	Equipo	Pto. de medición	03/01/2006	10/01/2006	17/01/2006
5to Nivel	B	Motor de ventilador de baja 106	P3	35	34	35
5to Nivel	B	Motor de ventilador de alta 150	P1	57	53	51
5to Nivel	B	Motor de ventilador de alta 150	P2	62	59	57
5to Nivel	B	Motor de ventilador de alta 150	P3	31	36	38
5to Nivel	B	Motor de ventilador de alta 151	P1	62	60	53
5to Nivel	B	Motor de ventilador de alta 151	P2	58	56	51
5to Nivel	B	Motor de ventilador de alta 151	P3	35	35	33
1er Nivel	A	Soplante de harina a filtro de 5to. nivel	P1	55	46	57
1er Nivel	A	Soplante de harina a filtro de 5to. nivel	P2	48	53	49
1er Nivel	A	Soplante de harina a filtro de 5to. nivel	P3	33	30	34
1er Nivel	A	Soplante de harina a silos molino A	P1	49	53	60
1er Nivel	A	Soplante de harina a silos molino A	P2	54	43	51
1er Nivel	A	Soplante de harina a silos molino A	P3	32	31	35
1er Nivel	B	Soplante de harina a silos molino B	P1	51	48	51
1er Nivel	B	Soplante de harina a silos molino B	P2	46	40	39
1er Nivel	B	Soplante de harina a silos molino B	P3	34	30	31
1er Nivel	B	Motor de banco T1 (N)	P1	67	64	64
1er Nivel	B	Motor de banco T1 (N)	P2	70	68	68
1er Nivel	B	Motor de banco T1 (N)	P3	35	35	37
1er Nivel	B	Motor de banco T1 (S)	P1	65	62	56
1er Nivel	B	Motor de banco T1 (S)	P2	66	64	64
1er Nivel	B	Motor de banco T1 (S)	P3	34	32	32

Continuación tabla XIII. Base de datos de temperaturas

	24/01/2006	07/02/2006	14/02/2006	21/02/2006	28/02/2006	07/03/2006	21/03/2006	28/03/2006	04/04/2006
	47	45	48	43	44	51	47	43	50
	45	44	44	42	43	31	32	34	32
	31	31	32	31	30				
	50	48	51	46	47	54	51	46	55
	56	53	57	51	52	33	34	33	35
	32	32	35	32	31				
	47	45	49	45	44	44	44	45	41
	45	45	52	43	44	35	35	34	30
	33	31	34	31	30				
	52	53	55	51	52	54	51	50	52
	50	51	53	49	56	34	31	31	33
	30	31	34	31	30				
	54	57	59	63	56	60	57	55	59
	50	53	54	59	52	37	34	35	39
	32	38	35	36	37				
	51	50	53	48	49	54	53	48	51
	50	51	51	49	50	35	36	33	36
	35	35	33	33	34				
	60	61	58	59	60	71	72	70	77
	64	64	60	62	63	35	37	34	36
	31	30	35	31	29				
	54	56	59	54	55	64	61	54	62

24/01/2006	07/02/2006	14/02/2006	21/02/2006	28/02/2006	07/03/2006	21/03/2006	28/03/2006	04/04/2006
59	59	54	57	58	34	33	36	34
34	36	33	35	37				
49	48	51	46	47	59	60	46	59
52	54	55	52	53	34	36	31	36
32	36	32	36	38				
54	51	56	49	50	57	56	49	58
53	51	52	49	50	31	32	33	34
34	30	36	30	29				
53	54	58	52	53	58	57	52	60
45	46	49	44	45	34	34	34	35
31	30	31	30	29				
59	60	61	58	59	60	58	58	62
45	49	55	47	48	36	35	35	35
30	31	34	31	30				
49	50	52	48	49	47	44	48	42
48	39	47	39	38	34	31	35	31
30	32	32	32	31				
62	61	64	59	60	65	60	59	67
66	64	61	62	63	34	35	36	36
32	29	35	29	28				
55	52	57	50	51	61	61	50	63
62	67	65	65	66	35	32	35	37
31	33	34	33	32				

Continuación tabla XIII. Base de datos de temperaturas

Continuación tabla XIII. Base de datos de temperaturas

25/04/2006	06/06/2006	13/06/2006	20/06/2006	27/06/2006	11/07/2006	25/07/2006	08/08/2006	22/08/2006
54	57	50.3	50	51.7	50.6	50.4	49.5	52.2
33	33	34.1	34	31.6	35.2	35.9	34.7	38.5
58	55	50.3	49	51.3	49.9	52.3	50.3	49.6
36	35	33.2	35	39.1	36.6	38.3	37.6	34.4
45	47	43.1	43	48.7	43.2	43.3	44.8	45.9
36	35	33	33	31.5	33.1	33.1	33.6	34.3
53	52	54.8	55	54.1	58.1	54.5	62.1	63.8
34	33	41.9	42	34.7	40.3	34.6	39.6	42.3
61	61	61.8	62	61.7	62	58.4	59.4	59.4
37	36	37.1	37	36.4	38.1	36.4	34.5	33.6
54	54	50.4	40.4	49.7	51.6	51.4	52.7	51.6
32	34	41.6	41.6	32.6	42.8	41.4	44.3	42.5
72	75	67.1	65	68.3	70.5	71.9	69.1	69.4
34	35	30.4	43.2	46.8	46	40.7	33.6	32.2
65	63	61.1	68	60.5	60.3	64.3	61.6	63.6
33	34	42.1	31	40.7	40.6	43.9	42.2	42.4

Continuación tabla XIII. Base de datos de temperaturas

25/04/2006	06/06/2006	13/06/2006	20/06/2006	27/06/2006	11/07/2006	25/07/2006	08/08/2006	22/08/2006
55	57	52	53	53	53.4	58.9	55.7	56.8
35	32	39	38.6	38.6	39.4	42.1	40.7	41.7
59	58	55.1	55.5	55.1	56.2	59.2	55.6	64.4
35	32	32.2	33.5	32.6	32.6	35.7	33.4	39.1
60	60	57.6	56.6	51.9	51.3	52.5	51.9	53.9
36	33	45.2	45.5	36.6	32.4	38.5	34.2	41.6
65	65	57.4	57	66.6	60.2	78.1	63.2	65.1
35.3	34	40.2	45.5	41.1	39.5	42.5	37.9	39.7
47	48	49.3	49.4	56.7	54.7	47.7	55.7	54.3
36	35	34.2	34.2	36.6	34.1	33.8	36.3	30.2
69	64	67.8	68.2	62.9	59.1	59.8	60.6	61.3
35	32	44.9	45.1	43.1	32.7	38.2	36.6	39.9
66	61	74	74.2	60.9	57.6	61	63.6	62.1
36	35	40.7	40.7	42.3	35.1	44.6	46.3	44.3

Continuación tabla XIII. Base de datos de temperaturas

29/08/2006	05/09/2006	19/09/2006	26/09/2006	10/10/2006	17/10/2006	25/10/2006	07/11/2006	14/11/2006
49.1	32.6	50.9	52.2	49.3	52.6	48.5	49.7	49
33.8	50.7	34.6	35.9	32.4	38.2	32.2	34.7	34.7
51	51.6	52.3	38.5	54.1	54.9	50.1	52.3	47
37	38.3	37.9	54.6	37.7	39.8	35.3	36.1	37.6
43.7	54.4	45.5	44.9	45.6	46.4	42	45.3	38.9
33.3	39.8	34.7	39.8	33	36.8	30.9	33.2	33.6
64.4	66.8	59.2	62.4	64.6	63.6	55.2	63.9	60.8
39.6	41.1	38	39.8	39.7	40.6	36.6	37.2	39.6
59.9	59.2	59.3	59.8	60.2	62.1	58.2	59.9	55.1
37.9	37.9	36	36.7	32.2	38.2	36.6	36.2	34.7
52.2	51.7	50.2	50.7	48.2	51.9	49.7	51.3	48.9
42.3	40.9	41.7	41.9	39	42.9	41.1	43.7	40.7
69.4	68.8	75.8	69.2	76.8	79.9	67.1	71.5	69.1
36.2	35.2	42.2	39.1	52.4	44.2	32.3	34.8	33.6
63.4	62.8	65.1	63.3	64.7	63.9	60.6	60.4	61.6
43.7	41.8	46.1	43	46.4	43.8	38.3	42.8	42.2

29/08/2006	05/09/2006	19/09/2006	26/09/2006	10/10/2006	17/10/2006	25/10/2006	07/11/2006	14/11/2006
53.1	54.8	56.5	54.6	57.5	53.9	51.7	55.4	55.7
41.8	41.2	43.3	41.9	44.2	42.4	39.2	42.3	40.7
58.2	56.2	59.7	56.8	61.3	65.6	54.8	57.5	55.6
35.3	34.5	36.7	35.1	36.7	36	31.3	34.8	33.4
51.9	63.8	72.2	66.2	53.5	53.5	53.7	54.9	51.9
33.8	38.8	39.2	40.5	36.7	38.1	37.3	37.2	34.2
51.4	56.1	57.4	57.3	58.8	61.5	58.6	60.7	63.2
33.8	41.9	36	36.7	35.1	38.3	37	38.6	37.9
51.4	52.7	48.3	53.2	54.5	56.2	51.9	52.8	48.8
33.8	34.6	34.3	34.6	36.1	35.3	33.3	35.8	36.3
62.2	57.8	60.8	59.4	57	59.9	55.2	55.4	60.6
42.6	44.7	37.9	48.2	37.1	42.9	35.4	40.8	36.6
60.8	63.3	68.4	66.9	65.7	65.4	61.6	61	63.6
43.7	38.5	42	38.9	41.6	47.8	41.3	52.4	46.3

Continuación tabla XIII. Base de datos de temperaturas

Continuación tabla XIII. Base de datos de temperaturas

23/11/2006	27/12/2006
47.2	46.8
30.3	29.7
48.7	47.6
34.7	33.6
40	40.8
29.4	28.9
58.3	61.7
35.2	35.1
58.3	55.6
34.6	33.5
58.3	47.6
34.8	39.3
68.4	72.6
44.3	37.2
60.2	63.6
40.2	44.2
50.8	52.6
38.3	40.3
54.4	55.9
30.4	33.3
48.4	49.6
28.9	28.5

Continuación tabla XIII. Base de datos de temperaturas

23/11/2006	27/12/2006
58.8	58.6
30.5	35.7
48.2	38.7
30.5	27.2
50.2	54.4
33.2	39.2
57.7	57.6
37.7	32.7