



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

**ACTUALIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MOTORES ELÉCTRICOS POR
MEDIO DEL ANÁLISIS DE FALLAS MEDIANTE GRÁFICOS DE CONTROL**

Pablo Fernando Pacach Flores

Asesorado por el Ing. Ronald Vladimir Urrutia Flores

Guatemala, octubre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ACTUALIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MOTORES ELÉCTRICOS POR
MEDIO DEL ANÁLISIS DE FALLAS MEDIANTE GRÁFICOS DE CONTROL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

PABLO FERNANDO PACACH FLORES

ASESORADO POR EL ING. RONALD VLADIMIR URRUTIA FLORES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgén Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
EXAMINADORA	Inga. Laura Geraldina García Álvarez
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Moro Blanco
SECRETARIA	Ing. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ACTUALIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MOTORES ELÉCTRICOS POR MEDIO DEL ANÁLISIS DE FALLAS MEDIANTE GRÁFICOS DE CONTROL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha mayo de 2008.



Pablo Fernando Pacach Flores

Guatemala, 05 de agosto de 2009

Ingeniero .
José Francisco Gómez
Director
Escuela de Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala


Estimado ingeniero Gómez:

Atentamente me dirijo a usted con el propósito de presentarle el trabajo de graduación, elaborado por el estudiante universitario Pablo Fernando Pacach Flores, el cual se titula **“Actualización del mantenimiento preventivo de motores eléctricos por medio del análisis de fallas mediante gráficos de control”**.

En mi calidad de asesor, tengo el agrado de informarle que he asesorado el trabajo de graduación en mención, y luego de las revisiones necesarias, me permito APROBARLO para los efectos de graduación del autor.

Agradeciendo su atención a la presente, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,

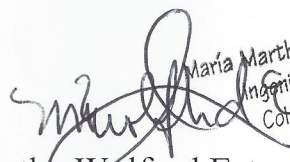

Ronald Vladimir Urrutia Flores
Ingeniero mecánico Industrial
Colegiado No. 4,936

Ronald Vladimir Urrutia Flores
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 4936



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **ACTUALIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MOTORES ELÉCTRICOS POR MEDIO DEL ANÁLISIS DE FALLAS MEDIANTE GRÁFICOS DE CONTROL**, presentado por el estudiante universitario **Pablo Fernando Pacach Flores**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


María Martha Wolford Estrada
Ingeniera Industrial
Colegiada 8659

Inga. María Martha Wolford Estrada de Hernández
Catedrática Revisora de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala abril de 2011.

/mgp



REF.DIR.EMI.161.017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **ACTUALIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MOTORES ELÉCTRICOS POR MEDIO DE ANÁLISIS DE FALLAS MEDIANTE GRÁFICOS DE CONTROL**, presentado por el estudiante universitario **Pablo Fernando Pacach Flores**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. José Francisco Gómez Rivera
DIRECTOR a.i.
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, octubre de 2017.

/mgp

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.482-2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **ACTUALIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MOTORES ELÉCTRICOS POR MEDIO DEL ANÁLISIS DE FALLAS MEDIANTE GRÁFICOS DE CONTROL**, presentado por el estudiante universitario: **Pablo Fernando Pacach Flores**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, octubre de 2016

/cc



ACTO QUE DEDICO A:

Dios todopoderoso

Por ser mi creador, el motor de mi vida, por no haber dejado que me rinda en ningún momento e iluminarme para salir adelante.

La virgen

María de Nazaret, por cuidarme e interceder por mí en todo tiempo.

Mis padres

Fidelina Flores y Pablo Pacach, mil gracias por el apoyo incondicional que me brindaron, por todos los sacrificios que hicieron a lo largo de mi carrera, así como su comprensión y paciencia en los momentos difíciles que tuvimos.

Mis hermanos y hermanas

María Elena, César Roberto, Juan José, Enma Verónica, Joel Enrique, Héctor Eduardo, por todo el apoyo, comprensión y cariño.

Mis sobrinos

Por recibirme siempre con un abrazo y un beso.

Mis familiares y amigos

Por todo su apoyo, cariño, comprensión y la paciencia que me tuvieron en los momentos más difíciles. ¡Gracias a ustedes!

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

En especial a la Facultad de Ingeniería que
me dieron la oportunidad de formar parte de
ellas.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita misericordia y amor.

Mi asesor de tesis

Ing. Ronald Urrutia por compartir su valioso tiempo y conocimiento para realizar este trabajo.

Mis amigos

Todos quienes no puedo nombrar porque sería una gran lista, sólo les digo que “en todo tiempo nos amamos los amigos, porque son como hermanos en tiempo de angustias”, y en el desarrollo ha sido una realidad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Industrias Licoreras de Guatemala, centro de producción	
Concepto básico de mantenimiento	1
1.1.1. Visión	1
1.1.2. Misión	2
1.2. Estructura corporativa	2
1.2.1. Área de manufactura	3
1.3. Productos	4
1.4. Sistema de gestión de calidad	4
2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	7
2.1. Concepto básico de mantenimiento	7
2.1.1. Tipos de mantenimiento	7
2.2. Motores de corriente alterna (CA)	9
2.3. Clasificación de los cojinetes	13
2.4. Desalineación en cojinetes	15
2.5. Dispositivo analizador de vibraciones VITEC	16
2.5.1. Procedimiento	17

2.5.2.	Aplicaciones típicas	18
2.5.3.	Detalles operativos	19
2.5.4.	Tolerancias de vibraciones	20
2.6.	Descripción general de las líneas de producción, de fabricación y suministros industriales.....	21
2.6.1.	Motores de línea 1 Kronos	21
2.6.2.	Motores de línea 2.....	23
2.6.3.	Motores de línea 3.....	25
2.6.4.	Motores de línea 4.....	26
2.6.5.	Motores de línea 5.....	26
2.6.6.	Motores de línea 6.....	27
2.6.7.	Motores del área de fabricación	29
2.6.8.	Motores del suministro de agua.....	30
2.6.9.	Motores de generación y distribución de vapor.....	31
3.	DESCRIPCIÓN Y PROPUESTA DE LA ACTUALIZACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL MANUAL DE MANTENIMIENTO	33
3.1.	Inventario de motores eléctricos	33
3.2.	Codificación de los motores en el sistema SAP	43
4.	SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL.....	51
4.1.	Placa de datos de motores eléctricos	51
4.2.	Conexiones eléctricas de los motores	52
4.3.	Conexión a tierra de motores eléctricos.....	53
4.4.	Protección contra sobrecorrientes de los motores eléctricos	54
4.4.1.	Requisitos de código	55
4.4.2.	Dispositivos de protección contra cortocircuito	56
4.4.3.	Interruptores automáticos	65
4.4.4.	Coordinación tipo 2	72

4.4.5.	Protección contra sobrecarga de motor	76
4.4.6.	Tipos de relés de sobrecarga.....	77
4.4.7.	Protección avanzada de motor	82
4.4.8.	Protección coordinada del circuito del motor.....	85
4.4.9.	Vida útil de una instalación típica de motor	90
4.4.10.	Interruptor de protección con disparo térmico	90
4.4.11.	Variadores de velocidad	93
4.5.	Caja de conexiones eléctricas de los motores	95
4.6.	Anclaje de los motores eléctricos.....	98
4.7.	Cubierta del ventilador de los motores eléctricos	101
4.8.	Desensamblaje de motores eléctricos.....	101
4.9.	Equipo contra incendios de motores eléctricos	101
5.	MEDIO AMBIENTE.....	103
5.1.	Problemática.....	103
5.1.1.	Vibraciones de los motores eléctricos	103
5.1.2.	Temperatura de los motores eléctricos	105
5.1.3.	Sobrecorrientes de motores eléctricos	106
5.1.4.	Ruido de motores eléctricos.....	107
5.2.	Medidas de mitigación	108
5.2.1.	Análisis de vibraciones de motores eléctricos	109
5.2.2.	Termografía de motores eléctricos.....	111
5.2.3.	Sistema de puesta a tierra de motores eléctricos.....	114
5.2.4.	Protecciones audibles del personal operario y de mantenimiento	115
6.	IMPLEMENTACIÓN DEL MEJORAMIENTO DEL MANUAL DE MANTENIMIENTO.....	119

7.	SEGUIMIENTO DEL MEJORAMIENTO DEL MANUAL DE MANTENIMIENTO	123
7.1.	Orden general en la toma de medidas de vibración.....	123
7.1.1.	Importancia	123
7.1.2.	Toma de lecturas de vibración.....	124
7.2.	Procedimiento empleado	126
7.2.1.	Establecimiento de la ficha para el registro de medidas.....	126
7.2.2.	Toma de medidas de vibración.....	127
7.3.	Medidas de vibración obtenidas	128
7.3.1.	Datos obtenidos de la rutina en los motores.....	128
7.3.2.	Selección de la condición de operación.....	136
7.4.	Análisis y diagnóstico	137
7.5.	Correcciones	138
7.5.1.	Desalineación axial	138
7.5.2.	Rodamientos defectuosos	138
7.6.	Chequeo de vibraciones posterior a la corrección	139
7.7.	Programa de monitoreo continuo de los niveles de vibración	139
7.7.1.	Eficiencia en el monitoreo	139
7.7.2.	Conocimiento de las máquinas.....	139
7.7.3.	Cuántas máquinas medir.....	144
7.7.4.	Determinando niveles de alarma	144
7.7.5.	Determinando las rutinas.....	145
7.7.5.1.	La fase de detección	145
7.7.5.2.	La fase de análisis.....	146
7.7.5.3.	Correcciones	147
7.7.5.4.	La fase de verificación	147

CONCLUSIONES.....	149
RECOMENDACIONES.....	151
BIBLIOGRAFÍA.....	153
APÉNDICES.....	155

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura organizacional	2
2.	Cojinete de una hilera de bolas con ranura honda (NSK Corporation, Ann Arbor, MI).....	15
3.	Diagrama de operación de mantenimiento de motores, termografía	46
4.	Medición de vibraciones	47
5.	Pruebas eléctricas al motor	47
6.	Revisión externa de motor.....	48
7.	Guarda motor	49
8.	Revisión interna de motor.....	50
9.	Conexiones eléctricas	52
10.	Arranque estrella-triángulo	53
11.	Artículo 430 NEC – requisitos del cortocircuito derivado del motor.....	56
12.	Fusibles (dispositivo de protección contra cortocircuito (DPCC)).....	57
13.	El universo de los fusibles	59
14.	Fusible de retardo de tiempo de dos elementos	64
15.	Interruptores automáticos.....	66
16.	Interruptores automáticos usados en Norte América	68
17.	Interruptores automáticos tipo IEC	69
18.	Instalación de motores en grupo en Norte América	70
19.	Instalaciones de motores fuera de Norte América	71
20.	Corriente y calor de paso	74
21.	Protección contra sobrecarga del motor	77
22.	Relé de sobrecarga de aleación eutéctica NEMA.....	78

23.	Relé de sobrecarga bimetálico NEMA	79
24.	Relé de sobrecarga bimetálico tipo IEC	80
25.	Relé de sobrecarga de estado sólido	81
26.	Relé de sobrecarga de estado sólido y circuito integrado específico para aplicación (ASIC)	82
27.	Dispositivos avanzados de protección de sobrecarga	83
28.	Curva de respuesta a sobrecarga	86
29.	Curva de respuesta de dispositivo de protección contra cortocircuito ...	87
30.	Protección coordinada del circuito del motor	88
31.	Protección no coordinada (las curvas no se intersectan)	89
32.	Protección no coordinada (las curvas se intersectan por debajo de la corriente de rotor bloqueado)	89
33.	Elemento excitador de un interruptor de protección de motor con disparador bimetálico	91
34.	Esquema de un interruptor de protección de motor con disparador térmico	92
35.	Interruptor de protección de motor	92
36.	Designación de tornillos	99
37.	Reducción de la vida media de un motor, EM, cuando el bobinado se sobrecalienta continuamente	105
38.	Clases de defectos	107
39.	Puntos de medición de vibraciones	110
40.	Transportador de cajas de empacadora a paletizadora L1 Krones	128
41.	Transportador de envase lavadora San Martín línea 1 Krones	129
42.	Bomba agua tanque 3 lavadora de envase San Martín línea 1 krones	130
43.	Bomba bandeja 1 lavadora de envase San Martín línea 1 Krones	131
44.	Bomba bandeja 2 lavadora de envase San Martín línea 1 Krones	132
45.	Vibrador de casquete Bloc Línea 1 Krones	133

46.	Turbina tanque 1 lavadora de envase San Martín línea 1 Kronos	134
47.	Turbina tanque 2 lavadora de envase San Martín línea 1 Kronos	135
48.	Cepillo tanque 2 lavadora de envase San Martín línea 1 Kronos	136

TABLAS

I.	Línea 1 Kronos	33
II.	Línea 2.....	37
III.	Línea 3.....	38
IV.	Línea 4.....	38
V.	Línea 5.....	39
VI.	Línea 6.....	39
VII.	Área de fabricación	41
VIII.	Calderas y red de agua.....	42
IX.	Requisitos de rendimiento de fusibles.....	63
X.	Recomendaciones de los fabricantes de fusibles para coordinación tipo 2.....	75
XI.	Relés avanzados de estado sólido vrs. relés de sobrecarga tradicionales.....	84
XII.	Motores no fabricados con armazones de Norma NEMA.....	96
XIII.	Diámetro de entrada para tubería <i>conduit</i> en caja de conexiones....	97
XIV.	Dimensiones de las cajas de conexiones para motores eléctricos ...	97
XV.	Dimensiones de las cajas de conexiones para motores eléctricos ...	98
XVI.	Designación de tornillos	100
XVII.	Ficha de toma de vibraciones de motores trifásicos.....	119
XVIII.	Ficha de toma de vibraciones de cajas reductoras	120
XIX.	Ficha de toma de lectura de desbalance resistivo.....	121
XX.	Condiciones de operación de los motores	137

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
G's	Aceleración de la gravedad
I²T	Amperes al cuadrado-segundos
A	Amperio
HP	Caballo de fuerza
CPM	Ciclos por minuto
Y	Conexión estrella
D	Conexión triángulo o delta
I_p	Corriente de paso pico
I_n	Corriente nominal
dB	Decibel
Hz	Hertz
kW	Kilovatios
m	Metro
m³	Metro cúbico
mm	Milímetro
%	Porcentaje
pulg	Pulgada
s	Segundo
Mils	Una milésima de una pulgada
V	Voltio

GLOSARIO

Canadian Electrical Code (CEC)	El Código Eléctrico Canadiense (CEC) o CSA C22.1 es un estándar publicado por la Asociación Canadiense de Normas relativas a la instalación y mantenimiento de equipos eléctricos en Canadá.
Cáncamo	Tornillo que tiene un anillo en lugar de cabeza en uno de sus extremos. Suele emplearse cuando se pretende elevar un objeto tirando directamente de él.
Corriente alterna (CA)	Se denomina corriente alterna (abreviada CA en español y AC en inglés, de <i>alternating current</i>) a la corriente eléctrica en la que la magnitud y el sentido varían cíclicamente.
Corriente continua (CC)	La corriente continua o corriente directa (CC en español, en inglés DC, de <i>Direct Current</i>) es el flujo continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial. A diferencia de la corriente alterna en la corriente continua las cargas eléctricas circulan siempre en la misma dirección.

Corriente de paso pico (I_p)	La corriente pico instantánea máxima, que pasa a través de un dispositivo de protección contra cortocircuito cuando éste se despeja debido a una corriente de falla de una magnitud especificada.
Decibel (dB)	Una unidad de referencia para medir la potencia de una señal o la intensidad de un sonido.
Desbalance	Distribución desigual de peso en un cuerpo, con respecto a su eje de rotación. Los ejes de inercia y rotación no coinciden.
Desgaste	Daño de la superficie por remoción de material de una o ambas superficies sólidas en movimiento relativo. Es un proceso, en el cual las capas superficiales de un sólido se rompen o se desprenden de la superficie.
Energía de paso (I^2t)	Una medida de energía térmica desarrollada dentro de un circuito, durante el tiempo total de despeje de la corriente de falla.
Excentricidad	Situación que ocurre cuando el centro geométrico de un cuerpo, no coincide con el eje de rotación.

**Hearing Protection
Devices, (HPD)**

Los dispositivos de protección auditiva son equipos de protección individual que, debido a sus propiedades para la atenuación de sonido, reducen los efectos del ruido en la audición, para evitar así un daño en el oído. Los protectores de los oídos reducen el ruido obstaculizando su trayectoria desde la fuente hasta el canal auditivo.

**Inducción
electromagnética**

Es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m. o voltaje) en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. Es así que, cuando dicho cuerpo es un conductor, se produce una corriente inducida. Este fenómeno fue descubierto por Michael Faraday quien lo expresó indicando que la magnitud del voltaje inducido es proporcional a la variación del flujo magnético (Ley de Faraday).

**National electric
code (NEC)**

El Código Eléctrico Nacional (NEC), o la norma NFPA 70, es un estándar de los Estados Unidos para la instalación segura de los cables y equipos eléctricos.

**Pérdida de
fase**

La condición que existe cuando se abre una fase de un sistema de alimentación trifásico.

Revoluciones por minuto (RPM)

Una revolución por minuto es una unidad de frecuencia que se usa también para expresar velocidad angular. En este contexto, se indica el número de rotaciones completadas cada minuto por un cuerpo que gira alrededor de un eje.

Rigidez

Capacidad de un objeto sólido o elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos.

Sensor de vibración Sobrecarga

Mecanismo mediante el cual se convierte una señal de movimiento, a una señal eléctrica que luego es interpretada por un equipo analizador de vibraciones.

Sobrecorriente

Una sobrecorriente que excede la corriente a plena carga normal de un circuito.
Una condición existente en un circuito eléctrico cuando se excede la corriente normal.

Vibración

Oscilación perceptible y medible en la superficie de las máquinas, que ocurre como consecuencia de fuerzas dinámicas que excitan el movimiento oscilatorio.

RESUMEN

El mantenimiento predictivo por medición de vibraciones mecánicas, tiene como objetivo asegurar el buen funcionamiento de las máquinas, mediante el monitoreo continuo de los niveles de vibración en las mismas, ejecutándose sin necesidad de recurrir a desmontajes y revisiones periódicas.

Los aspectos básicos que condicionan la eficacia de un plan de mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas, son: el volumen de información obtenido, procesamiento y tratamiento, y la rápida disponibilidad de resultados para la toma de decisiones.

La determinación de los niveles normales de vibración, es uno de los aspectos más importantes dentro de las tareas para la implementación del diagnóstico predictivo por vibraciones mecánicas. Como referencia se toman los valores recomendados por el medidor de vibraciones VITEC modelo 653A.

El método utilizado en este trabajo para la determinación de los niveles de vibración, es el de análisis de tendencia. Las máquinas poseen un nivel vibracional característico, dadas las condiciones en que fueron construidas y montadas, si una característica varía, se reflejará en el nivel vibracional, indicando que ha ocurrido una alteración en las condiciones originales de la misma.

La ficha de toma de vibraciones es el elemento auxiliar, como expediente de los valores globales de los niveles de vibración en la máquina; registrándose

periódicamente los valores medidos en los puntos seleccionados y todas las incidencias ocurridas durante las mediciones.

El análisis gráfico de tendencia de vibraciones de los motores trifásicos, jaula de ardilla; reportan los cambios en la evolución del nivel vibracional para la acción del mantenimiento preventivo de un grupo de motores eléctricos.

OBJETIVOS

General

Actualizar y mejorar el manual de mantenimiento, mediante visitas periódicas y por medio del análisis de fallas, con gráficos de control, utilizados en Industrias Licoreras de Guatemala.

Específicos

1. Determinar la situación actual de las líneas de envasado y de suministros industriales en Industrias Licoreras de Guatemala.
2. Realizar la ficha de toma de vibraciones de los equipos utilizados en las líneas de envasado para su graficación, interpretación y comprensión.
3. Actualizar el inventario de los motores de las líneas de envasado del área de fabricación, de calderas y red de agua, mejorando las rutinas de los elementos que intervienen para alcanzar el servicio continuo de las mismas.
4. Actualizar el plano de ubicación de motores de las líneas de producción.
5. Realizar historial de fallas, para el análisis mediante gráficos de control, para determinar la periodicidad de la falla y establecer el mantenimiento preventivo.

6. Diagramar la operación del mantenimiento de motores eléctricos.
7. Actualizar la codificación de las unidades físicas de las líneas de envasado.

INTRODUCCIÓN

Uno de los acontecimientos que produce paradas no deseadas y retardos en la producción, son las averías y fallas. Es por ello, que realmente es necesaria la aplicación de un mantenimiento eficiente acorde con las posibilidades monetarias, lo cual asegura, mediante la reducción de fallas, una producción continua y larga vida útil de los equipos; traduciéndose esto en mejoras en las utilidades económicas. La modernización y el aumento de la competitividad de la industria, trae consigo que ésta se encuentre en la tarea de realizar procesos cada día más eficaces, que aumente a la máxima cantidad posible la calidad, reduciendo los costos en un tiempo óptimo de la elaboración de los productos.

En el mantenimiento correctivo no se toman medidas de ningún tipo, hasta que se produce la avería, lo que genera altos costos. En el mantenimiento preventivo, se calcula la duración teórica de los elementos mecánicos y se reemplazan antes de que sobrepasen esta duración, lo cual si éste se realiza antes, puede alcanzar los costos del mantenimiento correctivo. Mientras tanto, en el mantenimiento predictivo se evalúa el estado de los componentes con técnicas de seguimiento y análisis, y se programan las operaciones de mantenimiento sólo cuando es necesario, con lo cual se reducen grandemente los costos del mantenimiento.

Es por esto, que el presente trabajo, tiene como propósito servir como guía para comprender de una manera fácil y sencilla la importancia que tiene el análisis de fallas por gráficos de control, dado que es como una herramienta en el diagnóstico de máquinas, proporcionando la información necesaria para

evaluar el estado (condición actual) de la máquina, reconocer los síntomas de un daño en progreso e identificar la causa, y en algunos casos, los componentes dañados. La realización del análisis, beneficiará a Industrias Licoreras de Guatemala a evitar fallas en las máquinas, lo que significa; reducir los costos de mantenimiento y por consiguiente, reducción de costos en producción, garantizando un servicio continuo de operación.

1. ANTECEDENTES GENERALES

Se describirán generalidades de Industrias Licoreras de Guatemala, así como la forma de la estructura de la corporación.

1.1. Industrias Licoreras de Guatemala, centro de producción Nahualate, organización

Industrias Licoreras de Guatemala es una organización líder a nivel nacional, dedicada a la producción y distribución de productos de alta calidad en el mercado nacional e internacional. Cuenta con una estructura de integración vertical, que va desde el cultivo de la caña de azúcar, la elaboración de mieles, su fermentación, destilación, añejamiento y producción de bebidas alcohólicas, hasta su distribución.

Como organización, Industrias Licoreras de Guatemala, ha puesto sus ojos en el presente y al futuro, enunciando la visión y misión corporativa para orientar todas las actividades en las diferentes áreas del negocio.

1.1.1. Visión

“Ser la organización líder en la elaboración y comercialización de los más finos rones añejos y otros productos, para el mundo que disfruta de la excelencia.”

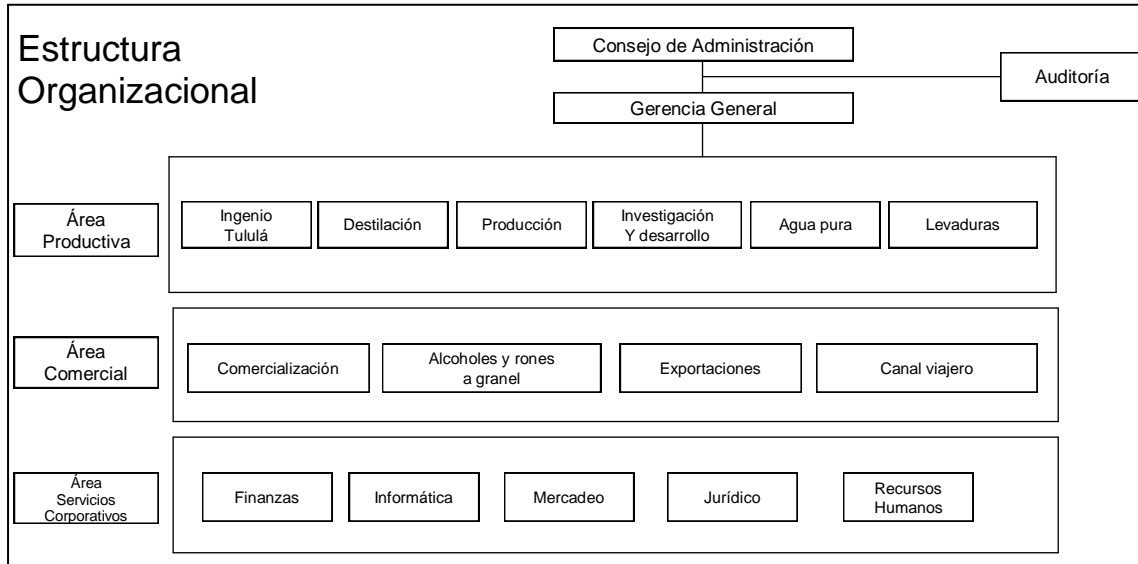
1.1.2. Misión

“Satisfacemos los gustos más exigentes alrededor del mundo, con los ronones añejos y otros productos, de la más alta calidad y excelencia, innovando constantemente con un equipo comprometido a una rentabilidad y crecimiento sostenido, con responsabilidad social.”

1.2. Estructura corporativa

Industrias Licoreras de Guatemala está organizada en tres macro secciones o áreas: productiva, comercial y de servicios.

Figura 1. Estructura organizacional



Fuente: Industrias Licoreras de Guatemala. *Área de Manufactura. Manual de la Calidad.*

Producción (área de manufactura): comprende los centros de producción, donde se elaboran y envasan las bebidas alcohólicas, en esta rama del

negocio, también está incluida la fabricación de tapones metálicos para algunos productos.

1.2.1. Área de manufactura

Es área de manufactura; la parte de la organización que se dedica a la elaboración y envasado de bebidas alcohólicas, estas actividades se realizan bajo cuatro razones sociales: Licorera Zacapaneca, S.A., Industria Licorera Quezalteca, S.A., Industria Licorera Guatemalteca S.A., e Industria Licoreras Euzkadi, S.A., que operan en dos centros de producción.

Centro de Producción Mixco (CPM): está localizado en el municipio de Mixco, departamento de Guatemala, en donde se preparan y envasan productos para el mercado nacional y exportación, como: aguardientes añejados, vodkas, rones añejados, rones Casa Botrán y rones superpremium.

En el centro de producción Mixco, operan: Licorera Zacapaneca, S.A., Industria Licorera Quezalteca, S.A., e Industria Licorera Guatemalteca, S.A.

Centro de Producción Nahualate (CPN): está ubicado en el municipio de Chicacao, departamento de Suchitepéquez, en donde se preparan y envasan productos nacionales y exportación, como: aguardientes añejados, rones añejados y premezclados.

En el centro de producción Nahualate, operan: Licorera Zacapaneca, S.A., Industria Licorera Quezalteca, S.A., e Industria Licorera Euzkadi, S.A.

1.3. Productos

Vodkas: bebidas alcohólicas, obtenidas de la fermentación proveniente de productos fermentables naturales, pudiéndose tratar o aromatizar.

Rones añejados: familias de rones extraídos de la fermentación de mieles vírgenes de azúcar, finalmente destilados y añejados por más de un año en barricas de madera de roble blanco.

Rones Casa Botrán: completan una línea de licores añejados, basados en el método Solera.

Rones Superpremium: ganadores de varios premios internacionales al Mejor Ron del Mundo, como la línea de Ron Zacapa Centenario que representan el punto de madurez de los licores.

Productos premezclados: preparados a bajo grado de alcohol a partir de una base alcohólica e ingredientes para preservar y darle sabor (sabores especiales y gas carbónico), para que el cliente deguste directamente del envase.

1.4. Sistema de gestión de calidad

- Alcance: del sistema de gestión de la calidad, en los Centros de Producción del Área de Manufactura de Industrias Licoreras de Guatemala es:
 - La fabricación y envasado de bebidas alcohólicas

- Política de calidad: la alta dirección del área de manufactura, ha expresado su compromiso con la calidad a través de la siguiente política:
 - “Los centros de producción de Industrias Licoreras de Guatemala, tenemos el compromiso de elaborar los más finos rones añejos y otros productos que cumplan con la más alta calidad y los requisitos reglamentarios para satisfacer los gustos más exigentes de nuestros clientes, mejorando continuamente la eficacia de los procesos con un equipo humano comprometido con la excelencia”.

2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El desarrollo de este capítulo tiene como objetivo mostrar la situación general de los motores de las líneas de envasado, para que el lector tenga la información necesaria del tema y de la propuesta que se hará para la solución del problema planteado.

2.1. Concepto básico de mantenimiento

Conjunto de actividades destinadas a mantener o a restablecer un bien a unas condiciones dadas de seguridad, en el funcionamiento para cumplir con una función requerida.

2.1.1. Tipos de mantenimiento

- **Mantenimiento correctivo:** también conocido como mantenimiento reactivo. Actividad de corrección de un equipo o instalación luego de ocurrida la falla; misma que ha provocado un problema en términos de calidad, seguridad o ha sacado de operación al equipo.
- **Mantenimiento preventivo:** actividades orientadas a prevenir el fallo de un equipo o instalación. Y a mantener un estado dado de funcionamiento o de confiabilidad en la operación. Se basa en rutinas de inspección, cambios de componentes y reparaciones efectuadas a intervalos fijos.
- **Mantenimiento predictivo:** también conocido como mantenimiento basado en la condición. La actividad de mantenimiento (reparación o cambio de

componentes), se realiza luego de que ha sido detectada una condición de falla incipiente, mediante métodos y herramientas de diagnóstico (análisis de lubricantes, vibraciones, termografía, ultrasonido, etc.). En el cual se genera un estimado en tiempo de la etapa de falla, lo que ofrece la posibilidad de planear de mejor manera la intervención. Se basa en rutinas de monitoreo de condición y en el análisis de los datos generado por las mismas.

- **Lubricación:** actividades de mantenimiento dedicadas a reducir o mantener dentro de un margen aceptable, el desgaste natural de 2 superficies metálicas sometidas a fricción y carga. Todas las actividades relacionadas a la aplicación de aceites y grasas a los equipos.
- **Proyecto:** actividades originadas a través de una directriz gerencial o corporativa: puede incluir modificación, traslado, automatización, ampliación de instalaciones o equipo existente, o supone la instalación de equipo nuevo. También se incluyen, en esta categoría actividades de análisis de causa raíz, en las que por fallas repetitivas se detecta una necesidad de modificación de los equipos, con el objeto de incrementar el lapso de tiempo entre ocurrencia de la falla, o bien la eliminación de la misma.
- **Actividades pendientes:** acciones de mantenimiento cuya necesidad ha sido detectada y de acuerdo a prioridades aún no han sido programadas. Éstas no se encontraban previstas en el programa anual de mantenimiento.

- Actividades no programadas: acciones de mantenimiento cuya necesidad surge, luego de haber sido asignadas las actividades diarias o semanales. Éstas incluyen; mantenimiento correctivo, proyectos y otras.
- Inspecciones de mantenimiento: actividades de verificación y chequeo en los equipos o instalaciones llevadas a cabo con la finalidad de detectar oportunidades de mejora o condiciones de operación fuera de los rangos de control.

2.2. Motores de corriente alterna (CA)

Por el fácil manejo de transmisión, distribución y transformación de la CA, se ha constituido en la corriente con más uso en la sociedad moderna.

Es por ello que los motores de CA, son los más utilizados y con el desarrollo tecnológico, se ha conseguido un rendimiento altísimo que hace que más del 90% de los motores instalados sea de CA.

Los motores de CA, se dividen por sus características en:

- Sincrónicos
 - Trifásico con colector
 - Trifásico con anillos
 - Rotor bobinado
- Asincrónicos o de inducción
 - Trifásico jaula de ardilla

- Monofásico: condensador, resistencia
 - Asíncronos sincronizados: serie o universal
 - Espiral en corto circuito
 - Hiposincrónico
 - Repulsión
- Motor sincrónico

Está fundamentado en la reversibilidad de un alternador. El campo interior de una aguja se orienta de acuerdo a la polaridad que adopta en cada momento el campo giratorio en que se halla inmersa y siempre el polo sur de la aguja se enfrenta al polo norte cambiante de posición del campo giratorio, la aguja sigue cambiando con la misma velocidad con que lo hace el campo giratorio. Se produce un perfecto sincronismo entre la velocidad de giro del campo y la de la aguja.

Se toma un estator de doce ranuras y se alimenta con corriente trifásica, se creará un campo giratorio. Si al mismo tiempo a las bobinas del rotor se le aplica una CC girará hasta llegar a sincronizarse con la velocidad del campo giratorio, de tal manera que se enfrentan simultáneamente polos de signos diferentes, este motor no puede girar a velocidades superiores a las de sincronismo, de tal forma que será un motor de velocidad constante.

La velocidad del campo y la del rotor, dependerán del número de pares de polos magnéticos que tenga la corriente. Un motor de doce ranuras producirá un solo par de polos y a una frecuencia de 60 Hz, girará a 3 600 RPM.

Como se verá, el principal inconveniente que presentan los motores sincrónicos; es que necesitan una CC para la excitación de las bobinas del

rotor, pero en grandes instalaciones, el avance de corriente que produce el motor sincrónico, compensa parcialmente el retraso que determinan los motores asincrónicos, mejorando con ello el factor de potencia general de la instalación, es decir; el motor produce sobre la red el mismo efecto que un banco de condensadores, el mismo aprovechamiento de esta propiedad, es la mayor ventaja del motor sincrónico.

- Motores asincrónicos o de inducción

Los motores trifásicos son más utilizados en la industria, ya que en el sistema trifásico se genera un campo magnético rotatorio en tres fases, además el sentido de la rotación del campo en un motor trifásico puede cambiarse, invirtiendo dos puntas cualesquiera del estator, lo cual desplaza las fases, de manera que el campo magnético gira en dirección opuesta, por lo tanto, son los que mayor análisis merecen.

Cuando se aplica una corriente alterna a un estator, se produce un campo magnético giratorio, este campo de acuerdo a las leyes de inducción electromagnéticas, induce corriente en las bobinas del rotor y éstas producen otro campo magnético opuesto según la ley de Lenz y que por lo mismo tiende a seguirlo en su rotación, de tal forma que el rotor empieza a girar con tendencia a igualar la velocidad del campo magnético giratorio, sin que ello llegue a producirse. Si sucediera, dejaría de producirse la variación de flujo indispensable para la inducción de corriente en la bobina del inducido.

A medida que se vaya haciendo mayor la diferencia entre la velocidad de giro del campo y la del rotor, las corrientes inducidas en él y por lo tanto su propio campo, irán en aumento, gracias a la composición de ambos campos se consigue una velocidad estacionaria. En los motores asincrónicos nunca se

alcanza la velocidad del sincronismo, los bobinados del rotor cortan siempre el flujo giratorio del campo inductor.

- Motores asincrónicos, jaula de ardilla

Es el más común de todos los motores eléctricos, por su sencillez y forma constructiva, elimina el devanado en el rotor o inducido. Las planchas magnéticas forman el núcleo del rotor, una vez ensambladas, dejan unos espacios cilíndricos que sustituyen a las ranuras de los rotores bobinados, por estas ranuras pasan unas barras de cobre (o aluminio) que sobresalen ligeramente del núcleo, estas barras o conductores están unidos en ambos lados por unos anillos de cobre. Se denomina jaula de ardilla por la similitud que tiene con una jaula.

En los motores de jaula de pequeña potencia, las barras son reemplazadas por aluminio inyectado, igual que los anillos de cierre, a los que se les agregan unas aletas que actúan a su vez en forma de ventilador.

Las ranuras o barras pueden tener diferentes formas y lo que se pretende con ello, es mejorar el rendimiento del motor, especialmente reducir las corrientes elevadas que producen los motores de jaula en el momento de arranque.

Cuando el inducido está parado y se conecta el estator, tienen la misma frecuencia que la se puede medir en la línea, por lo tanto, la autoinducción en el rotor, será muy elevada, lo que motiva una reactancia inductiva que es mayor donde mayor, es el campo. De la manipulación de las ranuras y en consecuencia, las barras dependerán que las corrientes sean más o menos elevadas, lo que en definitiva es el mayor problema de los motores de jaula.

Se podría pensar en un motor que abarca las dos alternativas. Este motor existe, es el motor asincrónico sincronizado, su construcción es muy parecida a la del motor asincrónico con el rotor bobinado con anillos rozantes, con la diferencia de que una de las tres fases está dividida en dos partes conectadas en paralelo.

¿Cuál es el inconveniente que presenta este motor, por lo que sólo es utilizado en grandes instalaciones?, Que para pasar de asíncrono a síncrono, necesita una serie de equipos tales como: resistencia para el arranque como motor asíncrono, conmutador que desconecta esta resistencia y conecta la CC a los anillos rozantes cuando trabaja como síncrono.

2.3. Clasificación de los cojinetes

Los cojinetes se clasifican en dos categorías principales:

- Rodamientos de bolas
 - Los rodamientos de bolas se clasifican de acuerdo a la configuración de sus anillos: rodamientos rígidos, de contacto angular y de carga axial.
- Rodamientos de rodillos
 - Los rodamientos de rodillos se clasifican en función de la forma de los rodillos: cilíndricos, de agujas, cónicos y oscilantes ó esféricos.

Los rodamientos pueden clasificarse, adicionalmente de acuerdo a la dirección en la que se aplica la carga; rodamientos para carga radial y rodamientos para carga axial.

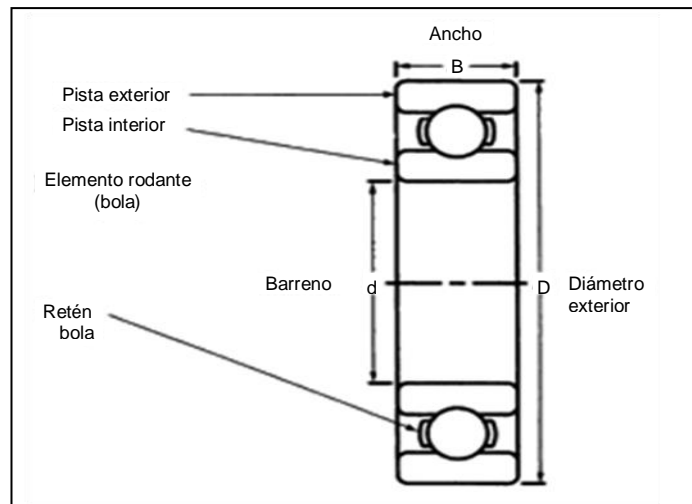
Otros aspectos de clasificación incluyen:

- El número de hileras de elementos rodantes (una, múltiples, o 4 hileras).
- No-separable o separable, en el cual, el anillo interior o el anillo exterior pueden ser separados o desmontados.
- Rodamientos de empuje, los cuales pueden tomar cargas axiales en un sentido y, rodamientos de empuje de doble sentido, que pueden tomar carga axial en ambos sentidos de una misma dirección.

También existen rodamientos diseñados para aplicaciones especiales, tales como: una unidad de rodamiento de rodillo cónico para vagones de ferrocarril (rodamiento RCT), rodamientos para soportar husillos a bola, rodamientos tipo plato giratorio (tornamesa), así como rodamientos de movimiento rectilíneo (rodamientos lineales de bolas, rodamientos lineales de rodillas), etc.

La nomenclatura de los cojinetes en estudio, se indica en la figura 2, en la que se aprecian las cuatro partes principales: pista exterior, pista interior, elementos rodantes (bolas), y separador o retén.

Figura 2. **Cojinete de una hilera de bolas con ranura honda (NSK Corporation, Ann Arbor, MI)**



Fuente: MOTT. Robert L. *Diseño de elementos de máquinas*. p. 599.

Los cojinetes de bolas de una fila soportan un pequeño desalineamiento o deflexión del eje, si un cojinete se mantiene limpio y bien lubricado, se monta y se sella contra la entrada de suciedad o polvo, se conserva en esta condición y opera a temperaturas razonables, entonces la fatiga del material será la única causa de fallo. La duración o vida útil de un rodamiento se define como el número total de revoluciones, o el número de horas de giro a una velocidad determinada de operación del cojinete, para que se produzca el fallo. En condiciones ideales el fallo por fatiga consistirá en una astilladura o descascarillado de las superficies que soportan la carga.

2.4. Desalineación en cojinetes

- La desalineación depende de cada caso:

- Horizontal: es típico que el desequilibrio de ejes tienda a causar vibraciones radiales, dependiendo del diseño del soporte. Lo habitual es detectarlo en esta dirección.
- Vertical: una vibración vertical excesiva puede indicar holguras, así como desequilibrios.
- Axial: una vibración axial excesiva puede indicar falta de alineamiento.

Los rodamientos que han sido montados en alojamientos o carcasas no concéntricas entre sí, generarán una considerable vibración axial y carga inusual en los rodamientos. De ser este problema diagnosticado, debe ser resuelto lo más pronto posible, antes de que pueda causar una falla prematura. Los defectos en los rodamientos se pueden clasificar como; distribuidos (rugosidades superficiales, ondulaciones sobre las pistas y elementos rodantes desiguales) y localizados (grietas, hendiduras, resaltes, picaduras y descascaramiento).

- La característica que permite identificar este problema:
 - Generará considerable vibración axial respecto a las demás orientaciones.

Alinear los acoples o balancear el rotor no aliviará el problema. Estos rodamientos deben ser desmontados para instalarlos correctamente.

2.5. Dispositivo analizador de vibraciones VITEC

El modelo de vibraciones 653A VITEC y medidor de cojinetes está diseñado para cumplir con todas las funciones de lectura de vibraciones, además de la característica adicional de ser capaz de detectar problemas potenciales de cojinetes anti-fricción y de engranajes.

El principio de funcionamiento del modo de prueba de cojinetes del Medidor 653A, es bastante simple. Es un hecho comúnmente aceptado que los rodamientos defectuosos (Rodamientos incluyen sólo rodamientos tipo antifricción de bolas, rodillos, rodillos cónicos, etc.) y engranajes, generan una señal de alta frecuencia de vibración que puede ser de 20 a 50 veces (o más) la velocidad de rotación del equipo. El modo de prueba de cojinetes del modelo 653A, permite medir estas componentes de alta frecuencia de vibración, haciendo caso omiso de las frecuencias más bajas de vibración que normalmente se asocian con problemas comunes, tales como: desequilibrio, desajuste, etc.

2.5.1. Procedimiento

- Las lecturas de vibraciones deben tomarse en los modos de aceleración, velocidad y desplazamiento antes de tomar lecturas en el modo de prueba de cojinetes, este procedimiento conseguirá la atención de niveles de vibración inaceptables, debido a los problemas comunes señalados anteriormente.
- Girando el selector del modo a la posición de prueba de cojinete y ajustando la perilla de los RPM a la velocidad de rotación de la máquina en estudio. El medidor indica, solamente las componentes de alta

frecuencia de vibración normalmente asociadas con defectos de engranajes o rodamientos (en el modo de prueba de rodamiento, el modelo 653A filtra todas las frecuencias de vibraciones, hasta la quinta armónica de la selección de velocidad sobre la perilla de los RPM). Cuanto mayor sea la lectura, mayor es la energía destructiva que se está generando por estos problemas de alta frecuencia.

- Los siguientes valores tomados en el modo de prueba de cojinetes, puede ser utilizado como una estimación aproximada de la condición que lleven, no se utilizan estos valores como absolutos, así como la geometría del rodamiento (razón del diámetro de anillo interior a exterior, tamaño del eje, tipo de elemento de rodamiento, tamaño de elemento de rodamiento, etc.) puede afectar a estos valores:
 - Cojinete nuevo: 0,3 a 0,6 G's
 - Cojinete en servicio, bueno: 0,5 a 1,0 G's
 - Cojinete con defectos: 1,5 a 2,5 G's
 - Cojinete con falla: de 3 a 6 G's
 - Cojinete averiado: 8 a 12 G's

- Aunque los valores anteriores son sólo de carácter general, los valores absolutos de un determinado tamaño y tipo de rodamiento en una máquina específica, se pueden determinar con un registro histórico preciso de los valores de prueba de cojinete de las vibraciones, hasta que se realiza una inspección. La condición del rodamiento puede ser referenciada a las lecturas de prueba de cojinete, y puede ser utilizado como un indicador para evaluar la condición del rodamiento para futuras lecturas.

2.5.2. Aplicaciones típicas

- Mantenimiento preventivo: probablemente, la aplicación más útil de este instrumento. Cuando se usa para mediciones periódicas, pueden hacerse las comparaciones de los datos, descubriendo una tendencia creciente en la vibración. Así, la investigación extensa puede hacerse para determinar la naturaleza exacta del área del problema.
- El servicio de campo: con unas pocas medidas simples, un ingeniero de servicio de campo puede determinar la cantidad de vibración. Esto puede evitar el costo innecesario del paro para inspeccionar las partes.
- Inspección entrante: las tolerancias de vibración son a menudo incluídas en las especificaciones de las partes adquiridas, para prevenir vibraciones excesivas en los productos finales.
- Prueba de ensamblaje final: la prueba de vibración en los productos acabados puede hacerse anterior al embarque para asegurar el cumplimiento con las normas de calidad de producción.

2.5.3. Detalles operativos

Uno de los principales usos para el medidor de vibraciones, Modelo 652A, es para medir las vibraciones de maquinaria durante un período de tiempo. Una tendencia creciente en la cantidad de vibración detectada es una buena indicación que pronto la máquina necesitará reparaciones, debido a cojinetes desgastados, o partes internas sueltas o desgastadas, o una condición general de desequilibrio. La programación anticipada de tales reparaciones a menudo

evitan costos, tiempos fuera de servicio no programados causados por el fallo de un componente defectuoso.

Si las vibraciones superan los límites admisibles, la máquina debe ser definitivamente inspeccionada por la causa del problema.

El mejor punto de una máquina para medir las vibraciones, es en la carcasa del cojinete. Si la carcasa del cojinete, no es de fácil acceso, se debe colocar el sensor de vibración en un apoyo o estructura asociado cercano.

Sin embargo, el exceso de vibración detectado en una carcasa de cojinete, no significa que la causa es un rodamiento defectuoso. Por ejemplo: un componente del rotor suelto en un motor o generador puede producir vibraciones que se transmiten a lo largo del eje de rotor a la carcasa del cojinete.

2.5.4. Tolerancias de vibraciones

- El límite aceptable de vibración que puede tolerarse en una máquina, depende de muchos factores, incluyendo:
 - El producto deseado de la máquina (pulido y terminando).
 - La rigidez de los soportes y la base del cojinete.
 - Alineación de las coplas y cojinetes.
 - La velocidad de operación como relación a la resonancia y la velocidad crítica.
 - La vibración transmitida de otras fuentes.

2.6. Descripción general de las líneas de producción, de fabricación y suministros industriales

A continuación se detalla la distribución de los motores eléctricos por líneas de producción y áreas.

2.6.1. Motores de línea 1 Kronos

- Despaletizadora

Posee: siete motores transportadores de cajas de despaletizadora a desempacadora, motor de mesa de capas, motor de separación de hileras, cinco motores transportadores de tarimas, motor principal, motor de dispositivo de descarga, y el motor de mecanismo de traslación-elevación.

- Desempacadora

Posee: trece motores transportadores de cajas de desempacadora a lavadora de cajas, cuatro motores transportadores de envase desde la desempacadora al orientador, y el motor principal.

- Orientador

Posee: trece motores transportadores de envase de orientador a lavadora de envases, dos motores de revestimiento protector, dos motores de ajuste de altura de cabina, motor soplador de evacuación de casquetes, y el motor principal.

- Lavadora de cajas

Posee: dos motores transportadores a lavadora de cajas, y una bomba principal de lavadora de cajas.

- Lavadora de envases

Posee: dos motores transportadores de envase de lavadora a Zepf, tres bombas de soda tanque 1, 2 y 3, dos bombas de bandeja 1 y 2; bomba de agua tanque 3 de lavadora de envases a lavadora de cajas, bomba de filtro de soda, motor principal, motor de mecanismo de elevación, motor de mecanismo de traslación, motor de mecanismo volteador, dos motores de turbina tanque 1 y 2, dos motores de cedazo tanque 1 y 2; y dos motores de cepillo tanque 1 y 2.

- Zepf

Posee: seis motores transportadores de lavadora de envase a Zepf, y el motor principal.

- Duotronic

Posee: tres motores transportadores de envase de Duotronic a Bloc, motor de inspección, y el motor principal.

- Bloc

Posee: seis motores transportadores de envase de Duotronic a Bloc y de Bloc a empacadora, motor vibrador de casquete, motor de tolva taponadora,

motor de ajuste de altura de etiquetadora, bomba de vacío, motor soplador de casquetes, motor de tolva de taponadora, y el motor principal.

- Empacadora

Posee: nueve motores transportadores de lavadora de cajas a empacadora y de empacadora a paletizadora, seis motores transportadores de envase de Bloc a empacadora, y el motor principal.

- Paletizadora

Posee: nueve motores transportadores de cajas de empacadora a paletizadora, motor de mesa de capas, motor separador de hileras, cinco motores transportadores de tarimas, motor de mecanismo de traslación, y el motor principal.

2.6.2. Motores de línea 2

- Lavadora de envases

Posee: motor de cedazo, bomba de soda, y el motor de tracción de cadena.

- Llenadora

Posee: motor transportador de llenadora a taponadora, bomba de vacío, y el motor de tracción.

- Taponadora

Posee: motor transportador de taponadora a etiquetadora Meyer, motor de tracción, motor de tolva de casquete, y el motor soplador de envases.

- Etiquetadora Meyer

Posee: motor de tracción principal y el motor de tracción rodo engomador

- Mesa de empaque Meyer

Posee: motor de mesa de empaque de etiquetadora Meyer

- Etiquetadora Harland

Posee: motor transportador de línea 2 a etiquetadora Harland, motor de curva transportador de entrada a etiquetadora Harland de línea 3, motor de curva transportador de salida línea 3 a etiquetadora Harland, motor transportador de taponadora y línea 3 a etiquetadora Harland, y el motor de tracción.

- Mesa de empaque Harland

Posee: motor de mesa de empaque de etiquetadora Harland, y el motor transportador elevado de cajas a mesa de empaque Harland y Meyer.

2.6.3. Motores de línea 3

- Lavadora de pre-lavado

Posee: motor de tracción cedazo, bomba de soda, motor de tracción cadena de canastos, y la bomba de enjuague final.

- Lavadora de envases

Posee: motor de tracción cedazo, bomba de soda, y el motor de tracción cadena de canastos.

- Llenadora

posee: motor de tracción transportador llenadora a taponadora, motor de tracción, motor de cambio de vacío, y la bomba de vacío.

- Taponadora

Posee: motor de tracción, motor de tolva de casquete, y el motor soplador de envases.

- Etiquetadora

Posee: motor de tracción principal

- Mesa de empaque

Posee: motor de mesa de empaque, y el motor transportador de cajas

2.6.4. Motores de línea 4

Posee: bomba de retorno a tanque de reproceso, motor transportador de llenadora a mesa de empaque, y el motor transportador de salida de mesa de empaque.

2.6.5. Motores de línea 5

- Tanque soda

Posee: bomba de tanque de soda, para lavado de tanque de preparación de jarabe.

- Proporcionador

Posee: bomba del proporcionador

- Saturador

Posee: bomba de saturador CO₂

- Equipo frío

Posee: bomba de propilenglicol, bomba torre de enfriamiento, y el motor de ventilador torre de enfriamiento.

- Llenadora/engargoladora

Posee: motor de sellado, motor de estrella, y el motor transportador de llenadora a Warmer.

- Warmer

Posee: bomba de agua caliente, motor transportador de latas, motor soplador, y el motor transportador de latas para envolvedora.

- Envolvedora

Posee: motor alimentación de nylon, motor del ventilador de túnel de termocontracción, y el motor de transportador de túnel de termocontracción.

2.6.6. Motores de línea 6

- Lavadora

Posee: motor tracción de cadena principal, motor tracción cedazo y cepillo, motor de mesa de acumulación, bomba soda, bomba de extracción de etiquetas, bomba de aclarado, motor de mesa I01 entrada envase vacío *bypass*, y el motor de transportador I03 entrada a lavadora.

- Enjuagadora

Posee: tres motores transportadores I04, I02 e I05 de envase vacío de lavadora a enjuagadora, bomba de tanque, y el motor de tracción principal.

- Llenadora

Posee: motor de tracción principal, y el motor elevación campana

- Coronadora

Posee: motor tracción principal, y el motor de tolva

- Tolva

Posee: motor transportador de tolva

- Taponadora Laf

Posee: motor principal

- Warmer

Posee: bomba de agua de entrada, bomba de agua de salida, dos motores transportadores I06 e I14 de envase de taponadora Laf a Warmer, motor transportador I10 a la entrada de Warmer, motor soplador, y el motor transportador de salida a etiquetadora.

- Saturador

Posee: bomba de alimentación saturador CO₂, bomba de salida saturador CO₂, bomba de torre de enfriamiento, y el motor de torre de enfriamiento.

- Etiquetadora

Posee: motor tracción principal, dos motores transportadores I11, I07 de envase de Warmer a etiquetadora, y el motor de lubricación etiquetadora.

- Mesa de empaque

Posee: motor transportador I08 a mesa de empaque, dos motores transportadores I12 e I09 de etiquetadora a mesa de empaque, motor transportador I13 retorno a mesa de empaque, y el motor transportador de cajas a mesa de empaque.

- Envolvedora

Posee; 1 motor alimentación de nylon

- Tunel termoencogible

Posee; 1 motor ventilador, y 1 motor transportador

2.6.7. Motores del área de fabricación

Los motores del área de fabricación accionan las bombas centrífugas y agitadores de tanques siendo los siguientes:

- Bomba trasiego de recepción de materia prima (materia prima añejo alcohol).
- Bomba trasiego de materia prima a preparaciones.
- Bomba de dilución de jarabe de azúcar.

- Bomba trasiego de materia prima.
- Bomba de prefiltración (productos con color).
- Bomba de clarificación (productos claros).
- Bomba de prefiltración.
- Seis agitadores de tanque (de jarabe, precapa y cuatro de preparación).
- Bomba para trasiego reprocesos (reproceso de producción).
- Dos bombas para pulido (producto envasado).
- Cinco bombas de alimentación a líneas de envasado.
- Bomba de lavado cip (limpieza de líneas).
- Bomba de jarabe VIP.
- Bomba de prefiltración, sala de jarabe VIP.
- Agitador tanque, sala de jarabe VIP.
- Bomba de enfriamiento, sala de jarabe VIP.
- Bomba alimentación a producción VIP.
- Bomba de filtro pulido sala de jarabe VIP.

2.6.8. Motores del suministro de agua

Los motores del área de fabricación, accionan las bombas centrífugas, siendo las siguientes:

- Dos bombas de los pozos de agua al aljibe MATN-014.
- Bomba que envía el agua del aljibe MATN-014 y luego pasa por filtros de carbón al aljibe MATN-015.
- Dos bombas que trasladan una parte del agua a la red de agua dura y la otra parte pasa por suavizadores de zeolita al tanque de almacenamiento, teniendo una bomba de reserva para los tiempos de mayor producción.

- Dos bombas que trasladan el agua suave al tanque auxiliar de calderas, a fabricación y al área I y II de envasado.

2.6.9. Motores de generación y distribución de vapor

Los motores del área de generación y distribución de vapor, accionan las bombas centrífugas, siendo las siguientes:

- Bomba de descarga de bunker a tanque de almacenamiento.
- Bomba de recirculación de bunker de tanque de almacenamiento a tanques auxiliares.
- Dos bombas de recirculación de bunker a calderas.
- Tres bombas de recirculación de agua suave a calderas.

3. DESCRIPCIÓN Y PROPUESTA DE LA ACTUALIZACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL MANUAL DE MANTENIMIENTO

En el desarrollo de este capítulo, se tratará lo concerniente a la actualización del inventario físico, codificación y operación de los motores que intervienen en las líneas de producción de envasado en Industrias Licoreras de Guatemala.

3.1. Inventario de motores eléctricos

A continuación se registran los datos de los motores eléctricos de las líneas y áreas de fabricación, que suministran una gran cantidad de información útil sobre diseño y mantenimiento.

Tabla I. Línea 1 Krones

No.	UBICACIÓN	MARCA	CAPACIDAD	# SERIE	# MODELO	CÓDIGO	RUTINA
1	Transportador de cajas despaletizadora L1	ATB	1,1 kW	3706372-21	A90S/4H11	M 581 KT 38	NC
2	Transportador de cajas despaletizadora L1	ATB	0,75 kW	7689474 F	R075/4-7	M 211 KT 01	NC
3	Transportador de cajas despaletizadora L1	ATB	0,75 kW	7707043 E	R075/4-7	M 221 KT 02	NC
4	Transportador de cajas despaletizadora L1	ATB	0,75 kW	7707043 F	R075/4-7	M 231 KT 03	NC
5	Transportador de cajas despaletizadora L1	ATB	0,75 kW	7707043 F	R075/4-7	M 241 KT 04	NC
6	Transportador de cajas despaletizadora L1	ATB	0,75 kW			M 251 KT 05	NC
7	Transportador de cajas despaletizadora L1	ATB	0,75 kW	7707043 F	R075/4-7	M 261 KT 06	NC
8	Transportador de cajas desempacadora L1	ATB	1,5 kW	3677067-28	A90L/4J11	M 271 KT 07	NC
9	Transportador de cajas desempacadora L1	ATB	1,1 kW	3708914-58	A90S/4H11	M281 KT 08	NC
10	Transportador de cajas desempacadora L1	ATB	0,75 kW	7710233	R075/4-7	M 551 KT 09	NC
11	Transportador de cajas desempacadora L1	ATB	1,1 kW	3685462-46	A90S/4H11	M 301KT 10	NC
12	Transportador de cajas desempacadora L1	ATB	1,1 kW	3706544-7	A90S/4H11	M 311 KT 11	NC
13	Transportador de cajas desempacadora L1	ATB	1,1 kW	3711069-1	A90S/4H11	M 321 KT 12	NC
14	Transportador de cajas desempacadora L1	ATB	1,1 kW	3708914-19	A90S/4H11	M 331 KT 13	NC
15	Transportador de cajas desempacadora L1	ATB	1,1 kW	3708914-2	A90S/4H11	M 341 KT 14	NC

Continuación tabla I.

No.	UBICACIÓN	MARCA	CAPACIDAD	# SERIE	# MODELO	CÓDIGO	RUTINA
16	Transportador de cajas desempacadora L1	ATB	0,75 kW	7707043 E	RF075/4-7	M 351 KT 15	NC
17	Transportador de cajas desempacadora L1	ATB	1,1 kW	3706544-20	AF90S/4H11	M 371 KT 17	NC
18	Transportador de cajas desempacadora L1	ATB	0,75 kW	77067721	RF075/4-7	M 381 KT 18	NC
19	Transportador de cajas desempacadora L1	ATB	1,1 kW	3710228-19	AF90S/4H11	M 391 KT 19	NC
20	Transportador de cajas resto de equipos L1	SEW	0,37 kW	90375233.4	DFT71D-4TF/C	M 32	NC
21	Transportador de cajas resto de equipos L1	SEW	0,12 kW	10375233	SF32D63K4TF	M 42	NC
22	Transportador de cajas desempacadora L1	ATB	0,75 kW	7707043 F	RF075/4-7	M 401 KT 20	NC
23	Transportador de cajas empacadora L1	ATB	0,75 kW	7707043 F	RF075/4-7	M 411 KT 21	NC
24	Transportador de cajas empacadora L1	ATB	0,75 kW	7706772	RF075/4-7	M 421 KT 22	NC
25	Transportador de cajas empacadora L1	ATB	0,75 kW	7707043 F	RF075/4-7	M 431 KT 23	NC
26	Transportador de cajas empacadora L1	ATB	1,1 kW	3707039-23	AF 90S/4H	M 441 KT 24	NC
27	Transportador de cajas empacadora L1	ATB	1,1 kW	3708914-10	AF 90S/4H	M451 KT 25	I
28	Transportador de cajas empacadora L1	ATB	0,75 kW	7705927 F	RFVO 75/4-7	M461 KT 26	I
29	Transportador de cajas empacadora L1	ATB	1,5 kW	3709210-39	AF 90L/4J	M 471 KT 27	I
30	Transportador de cajas empacadora L1	ATB	1,5 kW	3710227-9	AF 90L/4J	M 491 KT 29	I
31	Transportador de cajas empacadora L1	ATB	1,1 kW	3697721-19	AF 90S/4H	M 501 KT 30	NC
32	Transportador de cajas paletizadora L1	ATB	0,75 kW	7708913-F	RF075/4-7	M 831 KT 31	NC
33	Transportador de cajas paletizadora L1	ATB	0,75 kW	7707043-F	RF075/4-7	M 821 KT 32	NC
34	Transportador de cajas paletizadora L1	NORD	0,43 kW	9515071	1S54A-71	M811 KT 33	NC
35	Transportador de cajas paletizadora L1	ATB	0,75 kW	7708913-F	RF075/4-7	M 801 KT 34	NC
36	Transportador de cajas paletizadora L1	ATB	1,1 kW	3707039-30	AF 90S/4H	M 751 KT 35	NC
37	Transportador de cajas paletizadora L1	SEW	0,75 kW	5855955312	R27DT80N4	M 741 KT 36	NC
38	Transportador de cajas paletizadora L1	ATB	0,75 kW	7709465 F	RF075/4-7	M 731 KT 37	NC
39	Transportador de cajas paletizadora L1	ATB	0,75 kW	7706772 F	RF075/4-7	M 721 KT 41	NC
40	Transportador de cajas paletizadora L1	ATB	0,75 kW	7678811 F	VRF075/4-7	M 701 KT42	NC
41	Transportador de envase desempacadora L1	ATB	1,5 kW		A 90L/4B11	M 501 T 01	I
42	Transportador de envase desempacadora L1	ATB	1,5 kW		A 90L/4B11	M 341 T 02	I
43	Transportador de envase desempacadora L1	ATB	1,1 kW		A 90L/4B11	M 351 T 03	I
44	Transportador de envase desempacadora L1	ATB	1,1 kW			M 431 T 04	I
45	Transportador de envase orientador L1	ATB	2,2 kW		AF100L/4H12	M 441 T 07	I
46	Transportador de envase orientador L1	ATB	3 kW		AF100L/4B1	M 451 T 08	I
47	Transportador de envase orientador L1	ATB	2,2 kW	3708915-21	AF100L/4H12	M 461 T 09	I
48	Transportador de envase orientador L1	ATB	1,1 kW		A90S/4A11	M 471 T 10	I
49	Transportador de envase orientador L1	ATB	0,75 kW		RO75/4-7	M 481 T 11	I
50	Transportador de envase orientador L1	ATB	0,75 kW		RO75/4-7	M 481 T 12	I
51	Transportador de envase orientador L1	ATB	0,75 kW		RO75/4-7	M 491 T 13	I
52	Transportador de envase orientador L1	ATB	0,75 kW		RO75/4-7	M T 14	I
53	Transportador de envase orientador L1	ATB	1,1 kW		A90S/4A11	M 511 T 15	I
54	Transportador de envase orientador L1	ATB	1,1 kW		A90S/4A11	M 521 T 16	I

Continuación tabla I.

No.	UBICACIÓN	MARCA	CAPACIDAD	# SERIE	# MODELO	CÓDIGO	RUTINA
55	Transportador de envase orientador L1	ATB	0,75 kW		RO75/4-7	M 531 T 17	I
56	Transportador de envase orientador L1	ATB	0,75 kW		RO75/4-7	M 551 T 18	I
57	Transportador de envase orientador L1	ATB	1,1 kW		A90S/4A11	M 561 T 19	I
58	Revestimiento protector orientador L1	Krones	0,55 kW	393276/127		M811	I
59	Revestimiento protector orientador L1	Krones	0,55 kW	393276/171		M 814	I
60	Ajuste de altura de cab. orientador L1	Krones	0,25 kW	393577/86		M 831	I
61	Ajuste de altura de cab. orientador L1	Krones	0,25 kW	393577/71		M 834	I
62	Soplador. evac. casquetes orientador L1	STEPHAN	0,55 kW	0530/72	2GD71 NB-2	M 837	I
63	Transportador de envase lavadora L1	ATB	0,75 kW			M T 20	I
64	Transportador de envase lavadora L1	CORRADI	0,75 kW	54093514	MTA80B/4	M T 21	I
65	Transportador de envase sepf L1	ATB	0,75 kW	7709465 F	RF075/4-7	M 511 T 22	I
66	Transportador de envase sepf L1	ATB	0,75 kW	7706541 F	RF075/4-7	M 521 T 23	I
67	Transportador de envase sepf L1	ATB	1,1 kW	3708914-57	AF90S/4H	M 531 T 24	I
68	Transportador de envase sepf L1	ATB	0,75 kW	7709465 F	RF075/4-7	M 541 T 25	I
69	Transportador de envase sepf L1	ATB	0,75 kW	7708913 F	RF075/4-7	M 551 T 26	I
70	Transportador de envase sepf L1	ATB	0,75 kW	7709465 F	RF075/4-7	M 561 T 27	I
71	Transportador de envase duotronic L1	ATB	0,75 kW	7709465 F	RF075/4-7	M 571 T 28	I
72	Transportador de envase duotronic L1	ATB	0,75 kW	7709465 F	RF075/4-7	M 511 T 29	I
73	Transportador de envase duotronic L1	ATB	0,75 kW	7711027 F	RF075/4-7	M 601 T 30	I
74	Transportador de envase bloc L1	ATB	1,5 kW	3706779-32	AF90L/4J	M 571 T 32	I
75	Transportador de envase bloc L1	ATB	0,75 kW	7706541 F	RF075/4-7	M 591 T 33	I
76	Transportador de envase bloc L1	ATB	1,1 kW	3710228-6	AF 90S/4H	M 601 T 35	I
77	Transportador de envase bloc L1	ATB	0,75 kW	7709465 F	RF075/4-7	M 611 T 36	I
78	Transportador de envase bloc L1	ATB	2,2 kW	3708915-10	AF100L/4H	M 621 T 37	I
79	Transportador de envase bloc L1	ATB	1,1 kW	3710228-9	AF 90S/4H	M 631 T 38	I
80	Transportador de envase empacadora L1	ATB	1,5 kW	3706548-31	AF 90S/4J	M 641 T 39	I
81	Transportador de envase empacadora L1	ATB	1,1 kW	3708914-49	AF 90L/4H	M 661 T 41	I
82	Transportador de envase empacadora L1	ATB	1,1 kW	3708914-13	AF 90S/4H	M 671 T 42	I
83	Transportador de envase empacadora L1	ATB	1,5 kW	3822438-12	AF 90L/4J	M 681 T 43	I
84	Transportador de envase empacadora L1	ATB	1,5 kW	3709210-40	AF 90L/4J	M 691 T 44	I
85	Transportador de envase empacadora L1	ATB	0,75 kW	7709465 F	RF075/4-7	M 521 T 45	I
86	Mesa de capas paletizadora L1	ATB	0,75 kW	7705570F	RF075/4-7	M 601	I
87	Separador de Hileras Paletizadora L1	-	-	-	-	M 651	I
88	Transportador de tarimas paletizadora L1	SEW	0,25 kW	3079540200 3	R40DT7K4B46	PT 08 M1041	I
89	Transportador de tarimas paletizadora L1	SEW	0,25 kW		R40DT7K4B46	PT 09 M1051	NC
90	Transportador de tarimas paletizadora L1	SEW	0,55 kW		R40DT7K4B46	PT 10 M541	NC
91	Transportador de tarimas paletizadora L1	SEW	0,55 kW		R40DT7K4B46	PT 11	NC
92	Transportador de tarimas paletizadora L1	SEW	0,55 kW		R40DT7K4B56	PT 12	NC
93	Mesa de capas despaletizadora L1	ATB	1,5 kW	0530/84	AF 906	M 601	NC

Continuación tabla I.

No.	UBICACIÓN	MARCA	CAPACIDAD	# SERIE	# MODELO	CÓDIGO	RUTINA
94	Separación de hileras despaletizadora L1	ATB	0,75 kW	7709166F	RF075/4-7	M 651	NC
95	Transportador de tarimas despaletizadora L1	SEW	0,55 kW		R40DT80K4BM6	PT 01 M1041	NC
96	Transportador de tarimas despaletizadora L1	SEW	0,55 kW		R40DT80K4	PT 02 M1051	NC
97	Transportador de tarimas despaletizadora L1	SEW	0,55 kW		R40DT80K4BM6	PT 04 M541	NC
98	Transportador de tarimas despaletizadora L1	SEW	0,25 kW		R40DT71K4	PT 06 M1061	NC
99	Transportador de tarimas despaletizadora L1	SEW	0,25 kW		R40DT71K4BM6	PT 07 M1071	NC
100	Principal despaletizadora L1	SEW	2,2 kW		R835PU112MB/2B M6	M 462	I
101	Dispositivo descarga despaletizadora L1	SEW	0,55 kW		RF63DT80K4BM6	M 611	I
102	Inspección boca duotronic L1	BIG	0,25 kW	9043	MF90-45FU	M 845	I
103	Principal duotronic L1	SIEMENS	0,75 kW	ED66952701 008	LN50967AA112	M 203	I
104	Principal de orientador L1	ATB	7,5 kW	3691175-02	132/43-11	M 201	I
105	Bomba soda Tk 1 lav. de envase L1	WEG	7,5 kW		BB36812	ENMO-003	I
106	Bomba soda Tk 2 lav. de envase L1	CORRADI	7,5 kW	5401070	MTA132C2/2	ENMO-004	I
107	Bomba agua Tk3 lav. de envase L1	CORRADI	2,2 kW	54204533	MTA100L1/4	ENMO-005	I
108	Bomba bandeja 1 lav. de envase L1	CORRADI	4 kW	54351831	MTA112M/4	ENMO-006	I
109	Bomba bandeja 2 lav. de envase L1	CORRADI	4 kW	54352135	MTA112M/4	ENMO-007	I
110	Bomba agua Tk3 a lav. de cajas L1	STA-RITE	0,5 kW	7B88		ENMO-008	I
111	Bomba principal lav. de cajas L1	KSB	15 kW	DEG160MB Z	NR94041748	ENMO-009	I
112	Principal Zepf L1	SEW	1 HP	80T4025514 /1	K46DT80N4	ENMO-010	I
113	Vibrador casquete bloc L1	BALDOR	2 HP	35B11-754	M3157	ENMO-011	I
114	Tolva taponadora L1	LEESON	1/3 HP	11193100	A6T17EC23F	ENMO-012	I
115	Filtro de soda lavadora sanmartín L1			6307-Z-J/C3	65-0998-1-526	ENMO-013	I
116	Ajuste altura de etiquetadora L1	Krones	0,25 kW	C31709540	82F9318	ENMO-014	I
117	Bomba de vacío bloc L1	ROTRON	10 HP	F693	37E16BX63261	ENMO-015	I
118	Soplador de casquetes bloc L1	STEPHAN	0,18 kW	2364937	GD 12S	ENMO-018	I
119	Principal lav. de envase L1	SEW	5,5 kW	709048003/ 3010002	K76D213054	ENMO-019	I
120	Mec. elevación lav. de envase L1	SEW	1,1 kW	700100074/ 3010001	560D29054	ENMO-020	I
121	Mec. traslación lav. de envase L1	SEW	1,5 kW	8700359169 7	DFT9054BM62HR	ENMO-021	I
122	Mec. volteador lav. de envase L1	SEW	1,1 kW	7001100073 /2010003	D29054	ENMO-022	I
123	Turbina Tk 1 lav. de envase L1	SEW	7,5 kW	709048004/ 3010001	DZ132MZ4TF	ENMO-023	I
124	Turbina Tk 2 lav. de envase L1	SEW	7,5 kW	7001100091 /2010002	DZ132MZ4TF	ENMO-024	I
125	Cedazo Tk 1 lav. de envase L1	CORRADI	0,75 kW	54091679	MTA80B/4	ENMO-025	I
126	Cedazo Tk 2 lav. de envase L1	CORRADI	0,75 kW	54091666	MTA80B/4	ENMO-026	I
127	Cepillo Tk 1 lav. de envase L1	ENCLOSED	3/4 HP	2781459	56	ENMO-027	I
128	Cepillo Tk 2 lav. de envase L1	CORRADI	0,75 kW	54091669	MTA80B/4	ENMO-028	I
129	Principal desempacadora L1	ATB	2,2 kW	37102206	AF100L/4H12	ENMO-029	I
130	Principal empacadora L1	ATB	2,2 kW	37102261	AF100L/4H12	ENMO-030	I
131	Mec. traslación despaletizadora L1	SEW	1,1 kW	10429338	KF76DT90S4BM6/ HR	ENMO-031	I

Continuación tabla I.

No.	UBICACIÓN	MARCA	CAPACIDAD	# SERIE	# MODELO	CÓDIGO	RUTINA
132	Mec. traslación paletizadora L1	SEW	1,1 kW	10429339	KF76DT90S4BM6/HR	ENMO-032	I
133	Principal paletizadora L1	SEW	2,2 kW	016018340/4	R835PU112MB/2B M6	ENMO-033	I
134	Tolva de taponadora alcoa bloc L1	LEESON	1/3 HP	11193100	A6T17EC23F	ENMO-038	I
135	Principal bloc L1	LINCOLN	20 HP	C183074/X0 7X13X0834		ENMO-039	I

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. Línea 2

No.	UBICACIÓN	MARCA	CAPACIDAD	# SERIE	# MODELO	CÓDIGO	RUTINA
136	Cedazo lavadora L2	WEG	0,5 HP	CGMF844296 95	CPD20-89250	ENMO-051	I
137	Bomba de soda lavadora L2	BALDOR	15 HP	LM25131	254T	ENMO-052	I
138	Tracción cadena lavadora L2	EBERLE	2 HP	6695-LR	S90-L4	ENMO-053	I
139	Transportador llenadora L2	SM-CYCLO	1,5 HP		CNMH1H405Y A29	ENMO-054	NC
140	Bomba de vacío llenadora L2	STERLING	4 HP	36G478W415 G2	502-155	ENMO-055	C
141	Tracción llenadora L2		1 HP	F-1049-03- 169		ENMO-056	I
142	Transportador taponadora L2		0,5 HP			ENMO-057	NC
143	Tracción taponadora L2	WEG	1,5 HP		90WS-680	ENMO-058	I
144	Tolva de casquete taponadora L2	JEEUMONT	0,5 HP	1257-7-9	VN063-W	ENMO-059	I
145	Soplador de envases L2	ABB	10 HP	3GAA131002 ASA	2AA-132GB	ENMO-060	---
146	Tracción principal etiquetadora meyer L2	U.S. MOTORS	2 HP	5A7051-3		ENMO-061	NC
147	Tracción rodo engomador etiquetadora Meyer L2	U.S. MOTORS	0,5 HP	F-4152181 1971-006- 02026	UNI-MTC	ENMO-062	NC
148	Mesa de empaque etiquetadora Meyer L2	ELECTRA M.	0,75 HP		5K49ZG8266	ENMO-063	NC
149	Transportador línea 2 a Harland L2	ASEA	1 HP	4242939	MRG-8	ENMO-064	NC
150	Curva transportador entrada a Harland de línea 3	CORADI	1 HP			ENMO-065	NC
151	Curva transportador salida línea 3 a Harland L2	PACF	1 HP	D-119416-Q	LR24684	ENMO-066	NC
152	Transportador entrada Harland L2	EBERHARD ELECTRODR IVES	1 HP	1673041-9	G0210DK84- 200L	ENMO-067	NC
153	Tracción etiquetadora Harland L2		2 HP		R99211003	ENMO-068	I
154	Mesa de empaque Harland L2	BALDOR	2 HP	F1285	VM355-8T	ENMO-069	NC
155	Transportador elevado de cajas L2	RELIANCER	0,75 HP	418691-MV		ENMO-070	NC

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. Línea 3

No.	UBICACIÓN	MARCA	CAPACIDAD	# SERIE	# MODELO	CÓDIGO	RUTINA
156	Tracción cedazo lavadora L3	BALDOR	1 HP	M-3116T	35B0187	ENMO-081	I
157	Bomba de soda lavadora L3	MARATHON	10 HP		8A215TTDR702 6FH-W	ENMO-082	I
158	Tracción cadena de canastos lavadora L3	BALDOR	2 HP	M3558-T	35A01-872	ENMO-083	I
159	Tracción transportador llenadora L3	ASEA	0,5 HP		0046-00	ENMO-084	I
160	Tracción llenadora L3		0,5 HP			ENMO-085	I
161	Motor de cambio de vacío L3	RELIANCE	0,5 HP		P56G3375N- GV	ENMO-086	I
162	Bomba de vacío llenadora L3	MARATHON	5 HP		BC184TTGS70 26AAW	ENMO-087	C
163	Tracción taponadora L3	STERLING	1,5 HP	5A7051-3		ENMO-088	I
164	Tolva de casquete L3	GENERAL	0,25 HP		5C37KG-252	ENMO-089	I
165	soplador de envases L3	ABB	10 HP	3GAA131 002ADA	2AA132-SB	ENMO-090	--
166	Tracción principal etiquetadora meyer L3		3 HP			ENMO-091	I
167	Mesa de empaque L3	U.S. MOTORS	0,25 HP		380475-60	ENMO-092	I
168	Transportador de cajas L3	GENERAL	2 HP		5K49ZG8266	ENMO-093	NC
169	Tracción cedazo lavadora de prelavado L3	MASTER	0,5 HP	7412WR W	CS10842	ENMO-094	NC
170	Bomba de soda lavadora pre-enjuague L3	LINCOLN	7,5 HP		1698952	ENMO-095	NC
171	Tracción cadena de canastos lavadora de prelavado L3	BALDOR	1,5 HP		M 1967	ENMO-096	NC
172	Bomba enjuague final lavadora pre-enjuague L3	BALDOR	1,5 HP		S	ENMO-097	NC

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. Línea 4

No.	UBICACIÓN	MARCA	CAPACIDAD	# SERIE	# MODELO	CÓDIGO	RUTINA
173	Retorno Tk resp. CUSHA L4	MARATHON	1 HP	143 T	NN143TTGS7026 CCW	ENMO-001	NC
174	Transportador entrada CUSHA L4	SEW	0,25 kW	7001100138	DZ71C4	ENMO-034	NC
175	Transportador salida CUSHA L4	RELIANCE	0,5 HP	P56H1338T-ZN	FR56C	ENMO-035	NC

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Línea 5

No.	UBICACIÓN	MARCA	CAPACIDAD	# SERIE	# MODELO	CÓDIGO	RUTINA
176	Bomba de tanque de soda L5	LOWARA	1,06 kW	CEABC/5/A	996	ENMO-108	NC
177	Bomba de proporcionador L5	LOWARA	1,06 kW	CEA80/5/A	1604	ENMO-109	NC
178	Bomba de saturador CO2 L5	LOWARA	1,1 kW			ENMO-110	I
179	Bomba de propilenglicol equipo de frío L5	ADAS	1 HP	A2003M	2402246	ENMO-111	NC
180	Motor de sellado llenadora/engargoladora L5	ADAS	0,75 HP	FRGf 71	240801	ENMO-112	I
181	Motor de estrella llenadora/engargoladora L5	STM	0,12 HP	156B4	99037796	ENMO-113	I
182	Motor transportador de llenadora L5	ADAS	0,50 HP			ENMO-114	I
183	Bomba de agua caliente Warmer L5	ADAS	0,50 HP	A2001	230947	ENMO-115	NC
184	Motor transportador Warmer L5	ADAS	0,50 HP	FRGf 71	2412107	ENMO-116	I
185	Motor soplador Warmer L5	WEG	7,5 HP	112M	BL83070	ENMO-117	---
186	Motor transportador de latas L5	ZAE	0,25 HP	71S4D		ENMO-118	NC
187	Motor alimentación de nylon envolvente L5	CZERWENY	0,37 HP	1A1712-4	380475-60	ENMO-119	NC
188	Motor del ventilador de túnel de termocontracción L5	CZERWENY	0,37 HP	A71-2A		ENMO-120	NC
189	Transportador de túnel de termocontracción L5	CZERWENY	0,37 HP	A71-4B		ENMO-121	NC
190	Bomba torre de enfriamiento L5	SIEMENS	2 HP	145T	51323839	ENMO-122	NC
191	Ventilador torre de enfriamiento L5	ADAS	0,75 kW			ENMO-123	NC

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Línea 6

No.	UBICACIÓN	MARCA	CAPACIDAD	# SERIE	# MODELO	CÓDIGO	RUTINA
192	Motor tracción de cadena principal lavadora L6	ROSSI	1,5 kW	10515107	F0-90LC-6-B5	ENMO-134	I
193	Motor tracción cedazo y cepillo L6	MOTOVARIO	0,90 kW	07-5257208	T90S6	ENMO-135	I
194	Motor mesa de acumulación lavadora L6	MOTOVARIO	1,8 kW	07-5357817	T90L4	ENMO-136	I
195	Bomba soda lavadora L6	EBARA	5,5 HP	1320120016	3MWE40-225/4.06	ENMO-137	I
196	Bomba extracción de etiquetas lavadora L6	MARRELLIM OTORI	9,2 kW	S-115911320110	MAA132MB4-B35	ENMO-138	I
197	Bomba aclarado lavadora L6	EBARA	4 HP	016	3MWE40-125/3.06	ENMO-139	I
198	I01 mesa entrada envase vacío bypass lavadora L6	BAUER	0,37 kW	M2146341-1	BS10-74VH/D08MA4-TF-K305	ENMO-140	I
199	Transportador I03 entrada a lavadora L6	BAUER	0,37 kW	M2146340-1	BS10-74VH/D08MA4-TF-K305	ENMO-141	NC
200	Transportador I04 envase vacío a enjuagadora L6	BAUER	0,55 kW	M2146335-2	BS10-74VH/D08MA4-TF-K305	ENMO-142	NC
201	Transportador I02 envase vacío a enjuagadora L6	BAUER	0,75 kW	M2146332-1	BS10-74VH/D08LA4-TF-K307	ENMO-143	NC
202	Transportador I05 envase vacío a enjuagadora L6	BAUER	0,55 kW	M2146335-1	BS10-74VH/D08MA4-TF-K305	ENMO-144	NC
203	Bomba de tanque enjuagadora L6	EBARA	1 HP	CH63000926	2CD70/10	ENMO-145	I
204	Tracción principal etiquetadora L6	U.S. MOTORS	10 HP	V06V104R072M	A923A	ENMO-016	I

Continuación tabla VI.

No.	UBICACIÓN	MARCA	CAPACIDAD	# SERIE	# MODELO	CÓDIGO	RUTINA
205	Tracción principal enjuagadora L6	SIEMENS	0,37 kW	E0712/51 01806	1LA70734AB92	ENMO-146	I
206	Tracción principal llenadora L6	SIEMENS	4,6 kW	0711/111 6216- 004-1	1LA7913-4AA-107	ENMO-147	I
207	Tracción principal coronadora L6	MARRELLIM OTORI	0,25 kW	A4C0702 B00040	MA71MA4-85	ENMO-148	I
208	Motor tolva coronadora L6	MOTOVARIO	0,37 kW	7536449 6	T71B4	ENMO-149	I
209	Motor elevación campana llenadora L6	SUMITOMO	0,55 kW	S6F0596 77	F80S/4	ENMO-150	I
210	Motor de tolva L6	MARRELLIM OTORI	0,37 kW	A4C0701 B00040	MA71MA285	ENMO-151	I
211	Motor principal taponadora Laf L6	U.S. MOTORS	3 HP	62- 20923- 965	215T	ENMO-152	I
212	Bomba de agua Warmer de entrada L6	SIEMENS	1,2 HP	4951	1LA7-080-2YC69	ENMO-153	I
213	Bomba de agua Warmer de salida L6	SIEMENS	3,0 HP	7038	1LA7-090-2YA69	ENMO-154	I
214	Bomba alimentación saturador CO2 L6	CANTONI & C	3,5 kW	SG 100L- 4B	W-035348	ENMO-155	I
215	Bomba de salida saturador CO2	M.C.R.	2 HP	8001690 001	MR100L6	ENMO-156	I
216	Transportadora I06 de envase a Warmer L6	BAUER	0,55 kW	M214633 3-1	BS10-74VH/D08MA4- TF-K305	ENMO-157	NC
217	Transportadora I14 de envase a Warmer L6	BAUER	0,55 kW	M214633 8-1	BS10-74VH/D08MA4- TF-K305	ENMO-158	NC
218	Transportador I10 Warmer entrada L6	BAUER	0,55 kW	M214649 8-2	BS10-74H/D08MA4- TF	ENMO-159	NC
219	Transportador Warmer salida L6	SEW	0,18 kW	58 712 16145.11	SA67R37DR63M4	ENMO-160	NC
220	Motor soplador Warmer L6	SIEMENS	2,0 HP	4911	1LA7-083-2YA60	ENMO-161	---
221	Transportador I11 de envase a etiquetadora L6	BAUER	0,55 kW	M214649 8-1	BS10-74H/D08MA4- TF	ENMO-162	NC
222	Transportador I07 envase a etiquetadora L6	BAUER	0,75 kW	M214633 4-1	BS10-74VH/D08LA4- TF-K307	ENMO-163	NC
223	Motor lubricación etiquetadora L6	BAUER	0,25 kW	4AP-71 4SB3B14	9311507	ENMO-164	I
224	Transportador I08 a mesa de empaque L6	BAUER	0,75 kW	M214633 4-2	BS10-74VH/D08LA4- TF-K307	ENMO-165	NC
225	Transportador I12 a mesa de empaque L6	BAUER	0,55 kW	M214633 8-2	BS10-74VH/D08MA4- TF-K305	ENMO-166	NC
226	Transportador I09 a mesa de empaque L6	BAUER	1,1 kW	M214633 6-1	BS20-74VH/D09SA4- TF-K311	ENMO-167	NC
227	Transportador I13 retorno a mesa de empaque L6	BAUER	0,55 kW	M251127 06-1	BS10-74VH/D08MA4- TF-K305	ENMO-168	I
228	Motor alimentación de nylon envolvente L6	SIEMENS	0,21 kW	D-91056	1LA7063-4AB90	ENMO-169	I
229	Motor ventilador túnel termoencogible L6	SIEMENS	0,43 kW	D-91056	1LA7073-4AB10	ENMO-170	I
230	Transportador túnel termoencogible L6	SIEMENS	0,43 kW	D-91056	1LA7073-4AB10	ENMO-171	I
231	Transportador de cajas a mesa de empaque L6	DAYTON	1/2 HP	E47479 107J180	6K342BA	ENMO-172	I
293	Bomba de torre de enfriamiento L6 VIP	G.E	3 HP	003 7073461	SK48TN2182	ENMO-173	I
294	Motor de torre de enfriamiento VIP	LIANG CHI	0,55 kW	089NS	143TC	ENMO-174	I

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Área de fabricación

No.	UBICACIÓN	MARCA	CAPACIDAD	# SERIE	# MODELO	CÓDIGO	RUTINA
232	Recepción alcohol-añejo	U.S. MOTORS	3 HP		182TCM	FAMO-001	I
233	Trasiego TK prep. Alcohol añejo	U.S. MOTORS	7,5 HP	213T	AB31A	FAMO-002	NC
234	Trasiego dilución mezcla azúcar	MARATHON	1 HP	TGS	NN143TTGS7 026CCW	FAMO-003	NC
235	Retención-filtro de carbón FAFI 01	SIEMENS	10 HP	RGP2216	5K215QRA2J A9A	FAMO-004	NC
236	Filtro clarificador FAFI 02	RELIANCE	3 HP	3Y240208A1	S13YC	FAMO-005	NC
237	Filtro pulidor-Quezalteca	MARATHON	1 HP	143 T	NN143TTGS7 026CCW	FAMO-006	I
238	Bomba de envío a llenadota-galón línea 4	MARATHON	1 HP	143 T	NN143TTGS7 026CCW	FAMO-007	I
239	Bomba traslado licor a envasado I línea de reserva	MARATHON	1 HP	143 T	NN143TTGS7 026CCW	FAMO-008	I
240	Bomba de alimentación de línea 1	U.L. LISTED	1,5 HP		145JM	FAMO-009	NC
241	Ambulante reprocesos	U.S. ELECTRICA	3 HP	B2130096	182 TC	FAMO-010	I
242	Bomba de alimentación de línea 2	PACEMAKER	3 HP		182TC	FAMO-011	I
243	Bomba de alimentación de línea 3	WEG	1,5 HP		00158XP3E14 5T	FAMO-012	I
244	Bomba del filtro de FAFI 03	U.S. MOTORS	7,5 HP	213T	AB31A	FAMO-013	NC
245	Trasiego de materia prima cusha	RELIANCE	5 HP	P18G1064F	184TC	FAMO-014	NC
246	Trasiego de cusha y alcohol de kuto	U.S. MOTORS	7,5 HP	213T	AB31A	FAMO-015	NC
247	Bomba del filtro de pulido FAFI 07	U.L. LISTED	3 HP	598	182 TC	FAMO-016	NC
248	Bomba del filtro de pulido FAFI 08	U.L. LISTED	3 HP	598	182 TC	FAMO-017	NC
249	Bomba ambulante de lavado CIP	SIEMENS	2 HP	51-323-839	145T	FAMO-018	I
250	Agitador tanque FATN-012 de preparación	RELIANCE	3 1/2 HP	XX180TZ	B77V4474N- CB	FAMO-019	I
251	Agitador tanque FATN-011 de preparación	RELIANCE	3 1/2 HP	XX180TZ	B77V4474N- VR	FAMO-020	I
252	Agitador tanque FATN-010	RELIANCE	2 HP	705794	NSH-6	FAMO-021	I
253	Agitador tanque FATN-009	RELIANCE	2 HP	705793	NS-7	FAMO-022	I
254	Agitador tanque FATN-032 de pre-capa	RELIANCE	1/4 HP	EB56C	L56H5009M	FAMO-023	NC
255	Agitador tanque FATN-008 dilución azúcar		1/2 HP	K56C	P56G2338V- SE	FAMO-024	NC
256	Agitador marmita pequeña FATN-006 fabricación	ASEA	0,5 HP	105	M8708505	FAMO-025	NC
257	Motor del agitador del TK de preparación de jarabe FATN-062 cubata	ADAS	1 HP	251221	FRG 80	FAMO-026	I
258	Motor del agitador del TK de jarabe 1 FATN-063 cubata	ADAS	1 HP	251223		FAMO-027	NC
259	Motor del agitador del TK de jarabe 2 FATN-064 cubata	ADAS	1 HP	251222	FRG 80	FAMO-028	NC
260	Bomba traslado jarabe hacia TK'S de preparación cubata línea 5	LOWARA	1,06 kW	966	CEABC/5/A	FAMO-029	NC
261	Agitador tanque FATN-058 de preparación sala de jarabe VIP	SIEMENS	2 HP	63667	Y2-90L-4	FAMO-030	NC
262	Agitador tanque FATN-059 de preparación sala de jarabe VIP	SIEMENS	2 HP	63713	Y2-90L-4	FAMO-031	NC
263	Tanque FATN-056 marmita sala de jarabe VIP	SIEMENS	1,2 HP	41105	Y2-802-4	FAMO-032	NC
264	Agitador filtro precapa VIP	LAFERT	0,24 kW	IEC60034	ST 63A4	FAMO-033	NC
265	Bomba filtro precapa VIP	KAISER	3 kW	DNK100LA/2	2547832	FAMO-034	NC

Continuación tabla VII.

No.	UBICACIÓN	MARCA	CAPACIDAD	# SERIE	# MODELO	CÓDIGO	RUTINA
266	Bomba intercambiador de calor de 83-35 °C VIP	BALDOR	5 HP	F071020021 3	CM3613T	FAMO-035	I
267	Bomba intercambiador de calor de 35-0°C VIP	BALDOR	5 HP	F071205064 9	CM3613T	FAMO-036	I
268	Bomba filtro pulido FAFI-08 sala de jarabe VIP	U.L.	3 HP	AF607006	182TC	FAMO-037	NC

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Calderas y red de agua

No.	UBICACIÓN	MARCA	CAPACIDAD	# SERIE	# MODELO	CÓDIGO	RUTINA
269	Pozo No. 1	FRANKLIN	15 HP	M687		MAMO-001	I
270	Pozo No. 2	HITACHI	15 HP	KK	BCTI	MAMO-002	I
271	Casa de bombas	BALDOR	15 HP	37F196x48	JMM3314T	MAMO-004	C
272	Casa de bombas	WEG	20 HP	992	160M	MAMO-005	C
273	Casa de bombas	EMERSON	20 HP	62062ZJ/C3	E685A	MAMO-006	C
274	Tanque de agua suave	ASEA	7,5 HP	M89A1251	MBT213T	MAMO-007	I
275	Tanque de agua suave	CENTURY	7,5 HP	633306603	S184JM	MAMO-030	I
276	Inyección agua a MACA-001		7,5 HP		112 M	MAMO-009	I
277	Inyección agua a MACA-003	MARATHON	5 HP		70182TTDR700100	MAMO-010	I
278	Inyección agua a MACA-002	NEWMAN	3 HP		213DD1852BB	MAMO-011	I
279	Recirculación bunker MACA-001	LABORA ORIES	2 HP	S	35E362-872	MAMO-013	C
280	Alimentación bunker a TKS auxiliares	WEG	2 HP		90L281	MAMO-014	I
281	Recirculación bunker MACA-003	WEG	3 HP		711192	MAMO-015	I
282	Compresor aire primario MACA 003	BALDOR	2 HP	F789	M35585	MAMO-016	C
283	Bomba de agua suave nueva	PEDROLLO	10 HP		2CP 40/180A	MABO-017	C
284	Bomba de agua suave nueva	PEDROLLO	10 HP		2CP 40/180A	MABO-018	C
285	Bomba de agua suave nueva	PEDROLLO	10 HP		2CP 40/180A	MABO-019	C
286	Recirculación bunker MACA 002	NEWMAN	3 HP		213DD1852BB	MAMO-020	C
287	Recepción de bunker	BALDOR	10 HP		M3313T	MAMO-021	I
288	Ventilador, MACA-003	LINCOLN	7,5 HP	602938		MAMO-022	NC
289	Ventilador, MACA-002	MARATHON	2 HP		YK184TDR1BBWF2	MAMO-023	-
290	Ventilador, MACA-001	BALDOR	7,5 HP			MAMO-024	C
291	Ventilador, MACA-001	TOSHIBA	7,5 HP	205553	BY 752FLF2U3	MAMO-025	C
292	Casa bombas(4PM en adelante)	PEDROLLO	2,2 kW	54205858	MTA100M1/4	MAMO-028	C

Fuente: elaboración propia.

3.2. Codificación de los motores en el sistema SAP

El nombre de SAP, proviene de: sistemas, aplicaciones y productos en procesamiento de datos. EL nombre SAP es al mismo tiempo el nombre de una empresa y el de un sistema informático, éste comprende muchos módulos completamente integrados, que abarca prácticamente todos los aspectos de la administración empresarial. Cada módulo realiza una función diferente, pero está diseñado para trabajar con otros módulos.

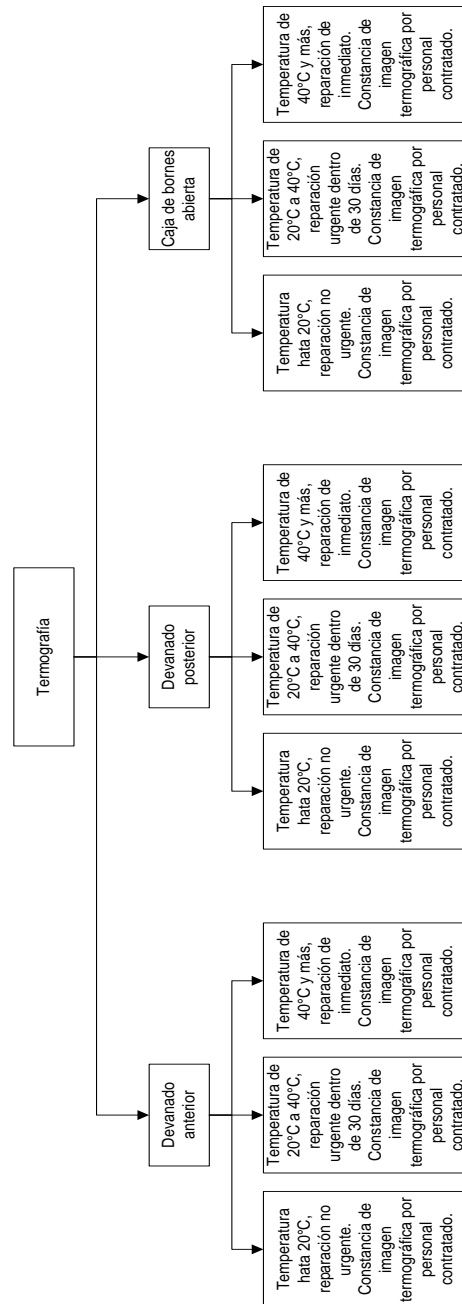
La integración total de los módulos, ofrece real compatibilidad a lo largo de las funciones de la empresa, esta es la característica más importante del sistema SAP y significa que la información se comparte entre todos los módulos que la necesiten, y que pueden tener acceso a ella. La información se comparte, tanto entre módulos, como entre todas las áreas.

- Los módulos de aplicación son los siguientes:
 - Gestión financiera (FI). libro mayor, libros auxiliares, ledgers especiales, etc.
 - Controlling (CO). gastos generales, costes de producto, cuenta de resultados, centros de beneficio, etc.
 - Tesorería (TR). control de fondos, gestión presupuestaria, etc.
 - Sistema de proyectos (PS). grafos, contabilidad de costes de proyecto, etc.

- Gestión de personal (HR). gestión de personal, cálculo de la nómina, contratación de personal, etc.
 - Mantenimiento (PM). planificación de tareas, planificación de mantenimiento, etc.
 - Gestión de calidad (QM). planificación de calidad, inspección de calidad, certificado de, aviso de calidad, etc.
 - Planificación de producto (PP). fabricación sobre pedido, fabricación en serie, etc.
 - Gestión de material (MM). gestión de stocks, compras, verificación de facturas, etc.
 - Comercial (SD). ventas, expedición, facturación, etc.
 - Workflow (WF), soluciones sectoriales (IS), con funciones que se pueden aplicar en todos los módulos.
- Organización del mantenimiento: el primer paso en el proceso de implantación de un sistema de gestión de mantenimiento, implica la recopilación y análisis de la información necesaria. El objetivo es la identificación adecuada de la instalación, se proponen las siguientes actividades:
 - Estructuración singularizada de la función de mantenimiento.

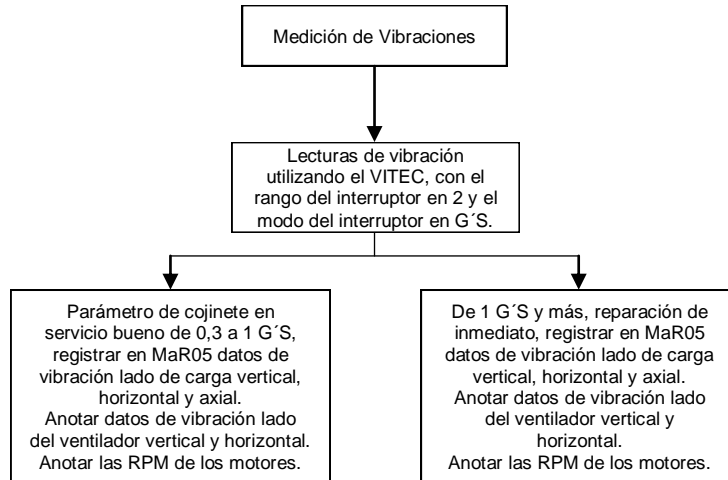
- Codificación de instalaciones y recopilación de datos reales en planta.
- Clasificación y caracterización de instalaciones desde una perspectiva racional y práctica.
- Recopilación de información documental (incluida la gestión de imágenes) tanto de las instalaciones como de los procesos de mantenimiento asociados a las mismas.
- Revisión y/o establecimiento del programa de mantenimiento planificado, mediante el análisis de requisitos técnicos de la instalación, la situación actual y el estado del arte en técnicas de mantenimiento preventivo y, sobretodo, predictivo.
- Análisis del historial de averías y detección de necesidades de información. El resultado debe ser, el establecimiento de una estructura catalogada para la caracterización de las actividades de mantenimiento que permita la utilización práctica de la información recogida durante la explotación del sistema.

Figura 3. Diagrama de operación de mantenimiento de motores, termografía



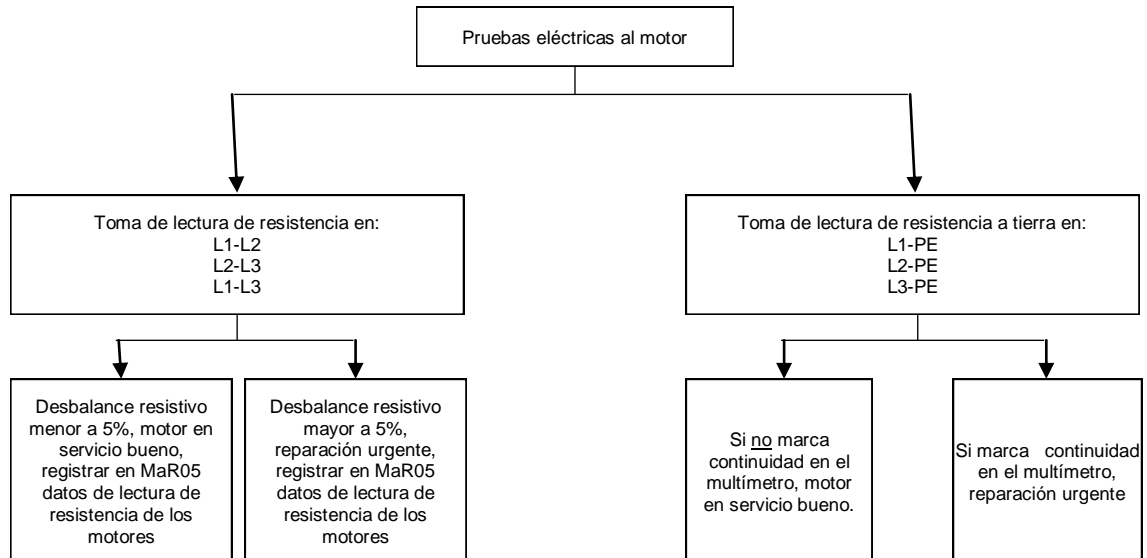
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Medición de vibraciones**



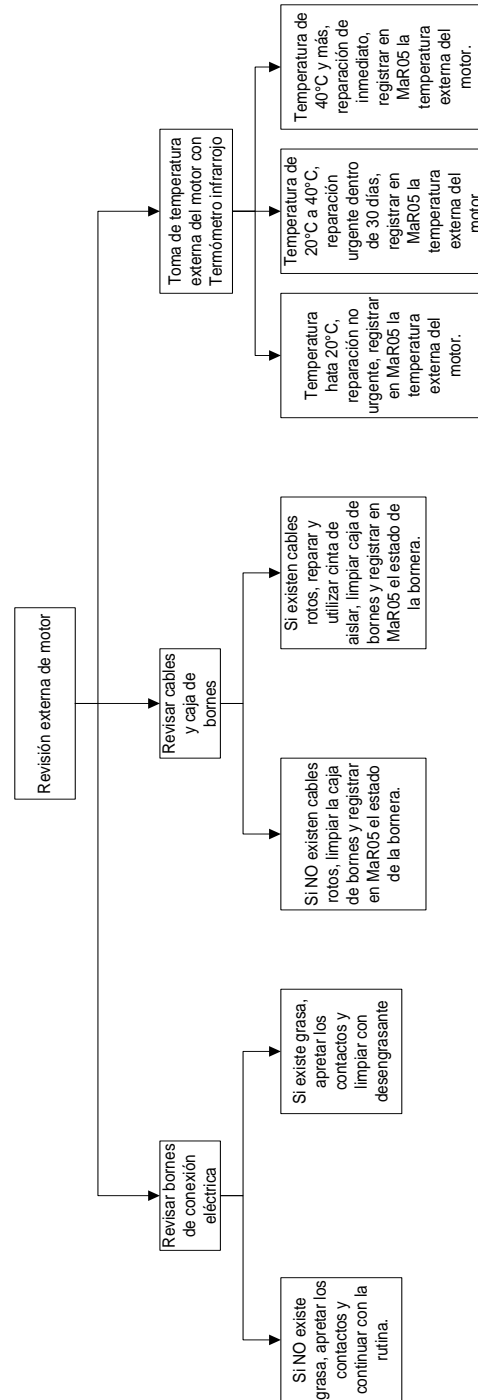
Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Pruebas eléctricas al motor**



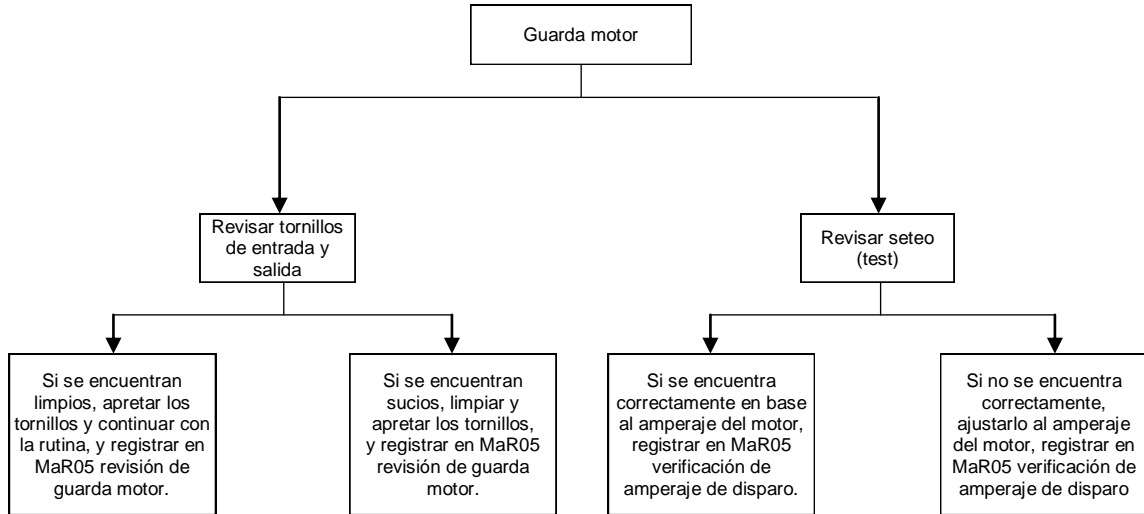
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Revisión externa de motor



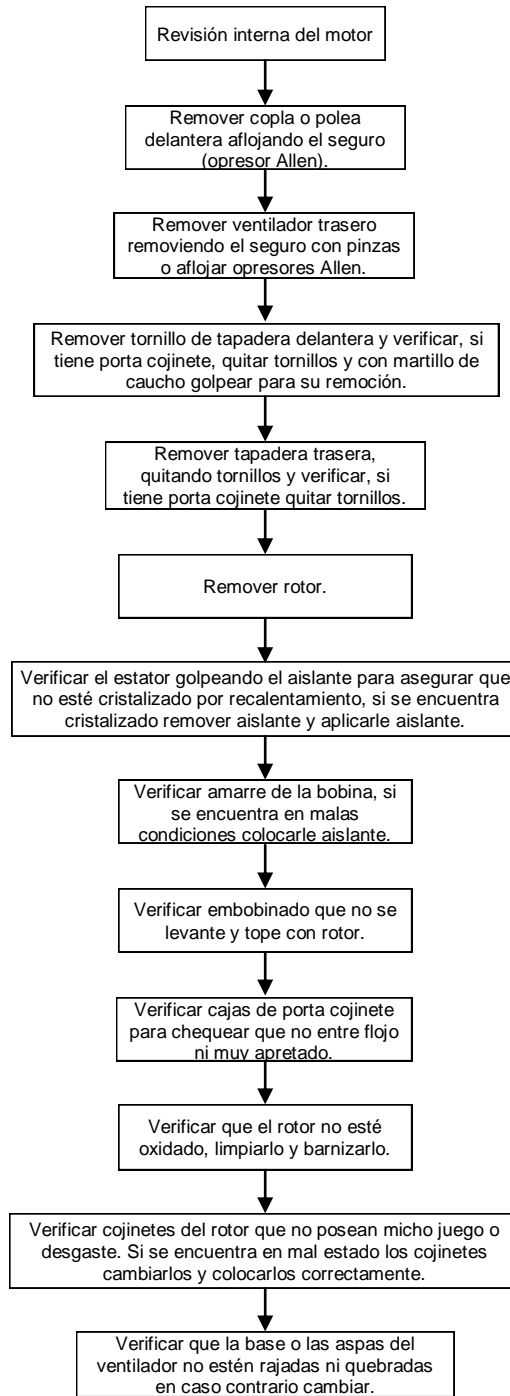
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Guarda motor**



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Revisión interna de motor**



Fuente: elaboración propia.

4. SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL

Este capítulo tiene como objetivo describir las protecciones, programas, normas y reglas para la protección del personal y del equipo que intervienen en el proceso de envasado.

4.1. Placa de datos de motores eléctricos

Cada motor debe contar con una placa de datos, fácilmente visible y firmemente sujeta al motor con remaches del mismo material que las placas. Las placas de datos, deben ser de acero inoxidable, la pintura del motor no debe cubrir las placas de datos, la información debe ser grabada en el metal de las placas, de tal manera que pueda ser leída aunque desaparezcan la coloración e impresiones de superficie.

Los siguientes datos, son los mínimos que debe llevar la placa de características de cualquier motor asíncronos trifásicos jaula de ardilla, expuestos en forma indeleble y en un lugar visible.

- Nombre o marca registrada del fabricante
- Modelo
- Número de serie
- Conexión del devanado del estator
- Diagrama de conexiones
- Máxima temperatura ambiente
- Frecuencia de rotación a carga plena en r/min o min⁻¹ (RPM)
- Potencia nominal en kW (HP)

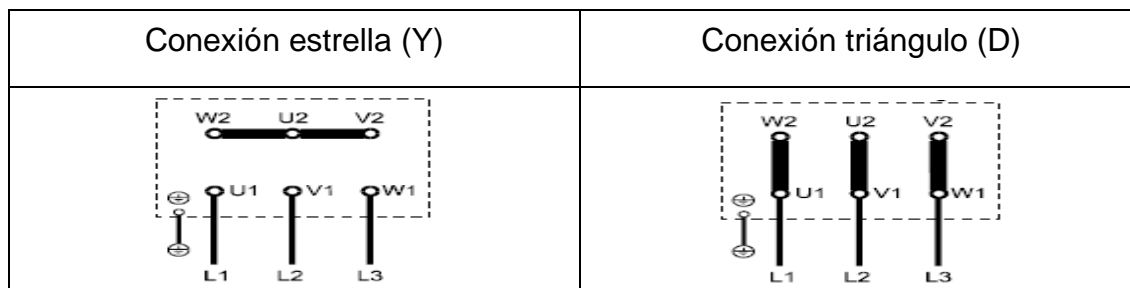
- Designación de cojinetes
- Frecuencia eléctrica en Hz
- Clase de aislamiento
- Factor de potencia
- Tensión (V)
- Corriente (A)

En los motores a prueba de explosión, se debe incluir una placa adicional, donde se indique; clase, grupo y división, para la cual fue construido avalada por UL o equivalente.

4.2. Conexiones eléctricas de los motores

- Arranque directo: en arranque directo del motor, puede usarse en dos diferentes conexiones. El voltaje y la conexión, por ejemplo 460 VY, 230 VD, el cual está estampado en la placa del motor, esto significa que el motor puede conectarse a 460 V en conexión estrella (Y) o a 230 V en conexión triángulo (D), figura 9.

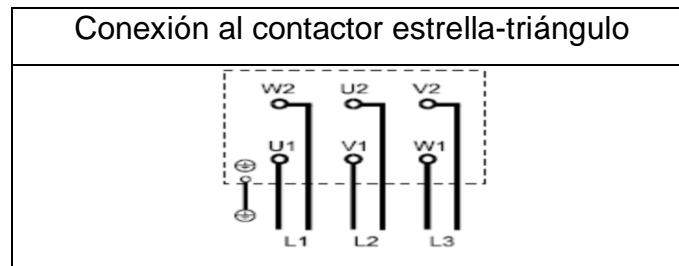
Figura 9. Conexiones eléctricas



Fuente: BRADLEY, Allen. *Motores polifásicos de inducción*. p. 2-26.

- Arranque estrella-triángulo: existen dos voltajes estándares, dependiendo de la ubicación. 220/380 V o 240/415 V, al igual que en el caso del motor 230/460 V, deben hacerse las conexiones apropiadas para obtener un rendimiento apropiado. En el arranque estrella-triángulo, el voltaje de la línea debe coincidir con el voltaje indicado en el motor para arranque en triángulo (D). Se conectarán los seis bornes como se indica en el siguiente esquema (figura 10):

Figura 10. **Arranque estrella-triángulo**



Fuente: BRADLEY, Allen. *Motores polifásicos de inducción*. p. 2-27.

- Sentido de giro: deberá observarse el sentido de giro requerido por la bomba, indicado mediante flecha marcada sobre la misma. Si el sentido de giro es incorrecto, se permutarán dos de las tres fases conectadas al motor.

4.3. Conexión a tierra de motores eléctricos

Los motores deben estar provistos de dos conectores para su conexión a tierra, uno en el interior de la caja de conexiones y otro exterior, en la base del motor. Todos los motores deben tener un conector para cable desnudo calibre 2 AWG como mínimo para puesta a tierra, con dimensión mínima del barreno de 8 mm (0,312 pulg), 18 hilos y de 13 mm (0,5 pulg) de profundidad y localizado

en el lado izquierdo de la caja de conexiones. En los motores horizontales con base, el conector debe colocarse en ésta, y en los motores sin base el conector debe colocarse en la brida o la carcasa.

4.4. Protección contra sobrecorrientes de los motores eléctricos

En el mundo actual de la fabricación, los motores proporcionan gran parte de la potencia que se usa para convertir materiales no procesados en productos acabados. De hecho, los motores eléctricos realizan más del 50% del trabajo en las plantas de fabricación moderna.

Se calcula que este porcentaje continuará aumentando en el futuro, con este gran porcentaje de capacidad de fabricación que depende de motores eléctricos, es importante asegurar que los motores y sus circuitos estén apropiadamente protegidos para proporcionar el máximo tiempo de operación y reducir los tiempos de parada al mínimo.

Los motores y circuitos, sin una protección adecuada en las plantas modernas de fabricación, pueden ocasionar pérdidas de hasta más de miles de dólares por hora en tiempos de parada, además del costo de material en proceso que puede destruirse. Debido a esto, en los últimos años los fabricantes de control han dedicado una enorme cantidad de esfuerzo y recursos en el desarrollo de dispositivos efectivos de protección contra cortocircuitos y sobrecargas.

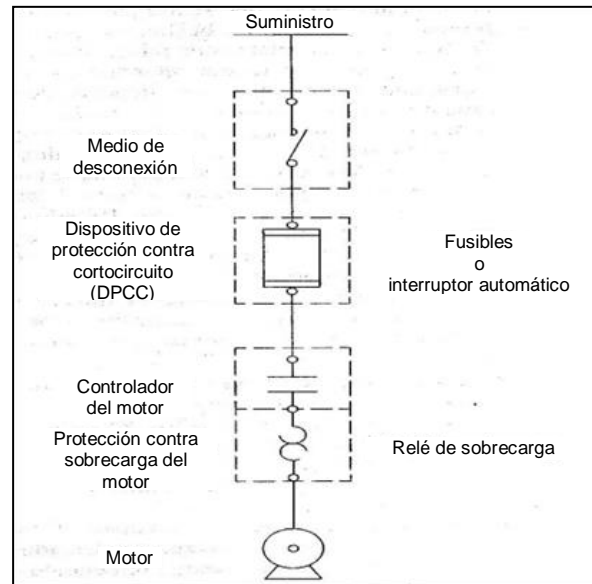
A continuación se describen muchos aspectos relacionados al entendimiento correcto de dispositivos de protección contra cortocircuitos y sobrecarga y cómo lograr una protección coordinada de los motores y sus circuitos.

4.4.1. Requisitos de código

Independientemente, de que los circuitos del motor se diseñen para uso en Norte América, Europa o cualquier otra parte del mundo, hay varios requisitos básicos que se han especificado de manera típica para un circuito de motor. En los EE.UU., se sigue el Código Eléctrico Nacional (NEC) como base para la mayoría de instalaciones eléctricas. En Canadá se sigue el Código Eléctrico Canadiense (CEC), y en Europa cada país tiene sus propios requisitos de código eléctrico que deben cumplirse. En aspectos de código nos referiremos al NEC, a menos que se indique lo contrario.

El artículo 430 del NEC, describe los requisitos para instalaciones que incluyen motores, circuitos de motor y controladores. En el artículo 430, se especifican los requisitos para cortocircuitos de circuitos derivados del motor y protección contra fallos de tierra y sobrecargas del motor. La figura 11 identifica los componentes de control y protección requeridos para un circuito derivado del motor.

Figura 11. **Artículo 430 NEC – requisitos del cortocircuito derivado del motor**



Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del circuito del motor*. p. 2.

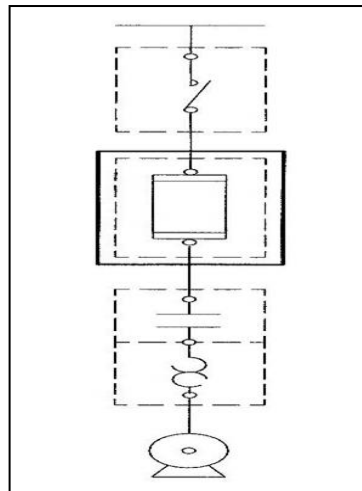
4.4.2. Dispositivos de protección contra cortocircuito

Los dispositivos de protección contra cortocircuito (DPCC), pueden clasificarse en dos grupos: fusibles e interruptores automáticos. El NEC, reconoce cuatro tipos de dispositivos de protección contra fallo y especifica sus limitaciones de tamaño con base al tipo de motor que se usa en el circuito.

- Fusible sin retardo de tiempo
- Fusible de dos elementos (retardo de tiempo)
- Interruptor automático de disparo instantáneo (magnético solamente)
- Interruptor automático de tiempo inverso (termomagnético)

Se describirán los dispositivos de protección contra cortocircuitos, interruptores automáticos, fusibles ya que cada tipo de dispositivo tiene sus propias ventajas y desventajas. Se describen ambos tipos de DPCC en la figura 12.

Figura 12. **Fusibles (dispositivo de protección contra cortocircuito (DPCC))**



Fuente: Bradley, Allen. *Protección coordinada del circuito del motor*. p. 3.

- Fusibles: son dispositivos de protección contra sobrecorriente que se colocan en un circuito eléctrico para proteger los componentes de control, el cableado, el aislamiento y el motor contra el daño causado por corrientes excesivas y su calor asociado. Se considera sobrecorriente cualquier aumento en la corriente continua por encima del nivel de corriente de operación normal.

En los circuitos del motor las sobrecorrientes se clasifican en dos categorías diferentes:

- Las sobrecargas del motor: son sobrecorrientes hasta o ligeramente superiores a la corriente de rotor bloqueado (6 - 8 veces la corriente nominal [I_n]).

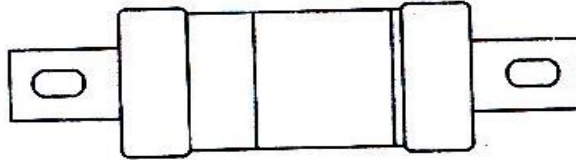
Los dispositivos de protección de relé de sobrecarga brindan protección contra este rango de sobrecorriente, los cuales se describirán posteriormente.

- Las sobrecorrientes de cortocircuito: son aquellas producidas por condiciones de fallo de tierra o cortocircuito con niveles de corriente de fallo de más de 8 veces la corriente nominal (I_n).

En las instalaciones industriales, las sobrecorrientes de cortocircuito fácilmente pueden llegar a 50 000 A, si las sobrecorrientes de cortocircuito no se interrumpe en fracciones de segundo, pueden causar daño grave a la instalación eléctrica incluyendo daño al motor, daño al controlador y a los conductores e inclusive incendios. En los circuitos del motor, los fusibles son los que proporcionan mejor protección contra el daño causado por corrientes de cortocircuito.

En todo el mundo se usan tipos diferentes de fusibles para protección contra cortocircuito en los circuitos de motores. En Norte América los fusibles usados más comúnmente son UL y CSA. En otras partes del mundo se usan más los fusibles DIN (alemanes) y BS88 (británicos). Aunque la construcción y medio de sujeción son bastante diferentes (véase figura 13), estos fusibles realizan la misma función esencial de protección contra cortocircuito.

Figura 13. **El universo de los fusibles**



Fusibles BS88

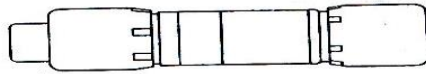
- Fusible tipo IEC: vínculo de fusible para conexión asegurada con pernos.
- Voltaje nominal: 660 VCA.
- Interrupción nominal: 80 000 A.
- Tamaños de cartucho estándar: A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3 y B4.
- Amperaje nominal típico: 2 – 400 A.
- Construcción tipo cuchilla para conexión asegurada con pernos.
- Usados comúnmente en Reino Unido, Australia, Nueva Zelanda, Asia y el Medio Oriente.



Fusibles DIN

- Fusible tipo IEC: vínculo de fusible con contactos de cuchilla.
- Voltaje nominal: 660 VCA.
- Interrupción nominal: 100 000 A.
- Tamaños de cartucho estándar: 00, 0 1 y 2.
- Amperaje nominal típico: 2 – 400 A.
- Construcción tipo cuchilla.
- Usados comúnmente en Europa, Sudamérica, Medio Oriente e India.

Continuación figura 13.



Fusibles UL/CSA

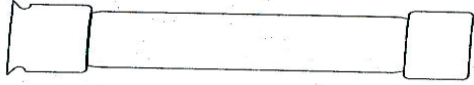

- Operación: retardo de tiempo, limitación de corriente.
- Fusible tipo UL: clase CC.
- Fusible tipo CSA: HRCI-MISC.
- Voltaje nominal: 600 VCA.
- Interrupción nominal: 200 000 A.
- Tamaños de cartucho estándar: 30 A.
- Amperaje nominal típico: 1 – 30 A.
- Construcción tipo casquillo.
- Usados comúnmente en Norte América.



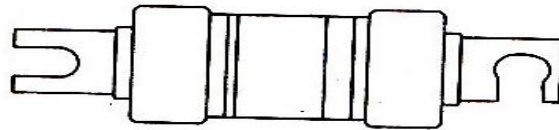
Fusibles UL/CSA (continuación)

- Operación: retardo de tiempo, limitación de corriente.
- Fusible tipo UL: clase J.
- Fusible tipo CSA: HRCI-J.
- Voltaje nominal: 600 VCA.
- Interrupción nominal: 200 000 A.
- Tamaños de cartucho estándar: 30 A, 60 A, 100 A, 200 A, 400 A y 600 A.
- Amperaje nominal típico: 1 – 600 A.
- Construcción 1 – 60 A tipo casquillo, 61 - 600 A tipo cuchilla para conexión asegurada con pernos.
- Usados comúnmente en Norte América.

Continuación figura 13.


<ul style="list-style-type: none">• Operación: dos elementos, retardo de tiempo, limitación de corriente.• Fusible tipo UL: Clase RK1, RK5.• Fusible tipo CSA: HCR-R.• Voltaje nominal: 250 y 600 VCA.• Interrupción nominal: 200 000 A.• Tamaños de cartucho estándar: 30 A, 60 A, 100 A, 200 A, 400 A y 600 A.• Amperaje nominal típico: 1/10 – 600 A.• Construcción 1 – 60 A tipo rechazo de casquillo, 61 - 600 A, tipo cuchilla para conexión de abrazadera tipo cuña.• Usados comúnmente en Norte América.

<ul style="list-style-type: none">• Operación: acción rápida, limitación de corriente.• Fusible tipo UL: clase T.• Fusible tipo CSA: HCR-T.• Voltaje nominal: 300 y 600 VCA.• Interrupción nominal: 200 000 A.• Tamaños de cartucho estándar: 30 A, 60 A, 100 A, 200 A, 400 A, 600 A, 800 A, 1 200 A.• Amperaje nominal típico: 1 – 1 200 A.• Construcción 1 – 60 A tipo casquillo, 61 – 1 200 A, tipo cuchilla para conexión asegurada con pernos.• Usados comúnmente en Norte América.

Continuación figura 13.



- Fusible tipo CSA: HRCII-C.
- Voltaje nominal: 600 VCA.
- Interrupción nominal: 200 000 A.
- Tamaños de cartucho estándar: 30 A, 60 A, 100 A, 200 A y 400.
- Amperaje nominal típico: 1 – 400 A.
- Construcción tipo cuchilla para conexión asegurada con pernos.
- Usados comúnmente en Canadá.

Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del Circuito del motor*. p. 4.

Los fusibles han sido diseñados para satisfacer requisitos específicos de rendimiento estándar, en el caso de los fusibles UL y CSA, en los estándares se especifican características tales como: capacidades nominales de corriente, capacidades nominales de voltaje, dimensiones del fusible, características de rechazo, características nominales de resistencia, límites de paso de corrientes I^2T e I_p máximas, parámetros de tiempo de disparo (retardo de tiempo) y más.

La tabla IX compara los requisitos de rendimiento de diversas clases de fusible UL y CSA. Como se puede ver, clases diferentes de fusibles con capacidades nominales de corriente similares, pueden tener resultados significativamente diferentes en los valores de paso de corriente I^2T e I_p .

Tabla IX. **Requisitos de rendimiento de fusibles**

Requisitos de rendimiento de fusibles UL según UL 198, 600 V, 100 kA ^o			
Capacidad nominal de amperaje (A)	Clase de fusible UL	Máx I ² t X 10 ³ (A ² -s)	Máx I _p X 10 ³ (A)
30	K5, RK5	50	11
	K1, RK1	10	10
	J	7,0	7,5
	T	7,0	7,5
60	K5, RK5	200	21
	K1, RK1	40	12
	J	30	10
	T	30	10
Requisitos de rendimiento de fusibles CSA según CSA C22.2 No. 106 ^o			
Capacidad nominal de amperaje (A)	Clase de fusible CSA	Máx I ² t X 10 ³ (A ² -s)	Máx I _p X 10 ³ (A)
30	HRCII-C	50	14
	HRCI-R	50	14
	HRCI-J	7	12
	HRCI-T	7	12
60	HRCII-C	200	26
	HRCI-R	200	26
	HRCI-J	30	16
	HRCI-T	30	16
^o Los fusibles han sido probados en circuitos con corrientes de fallo disponibles entre la corriente de umbral del fusible y 100 000 A simétricos RMS. Aspectos mecánicos del fusible.			

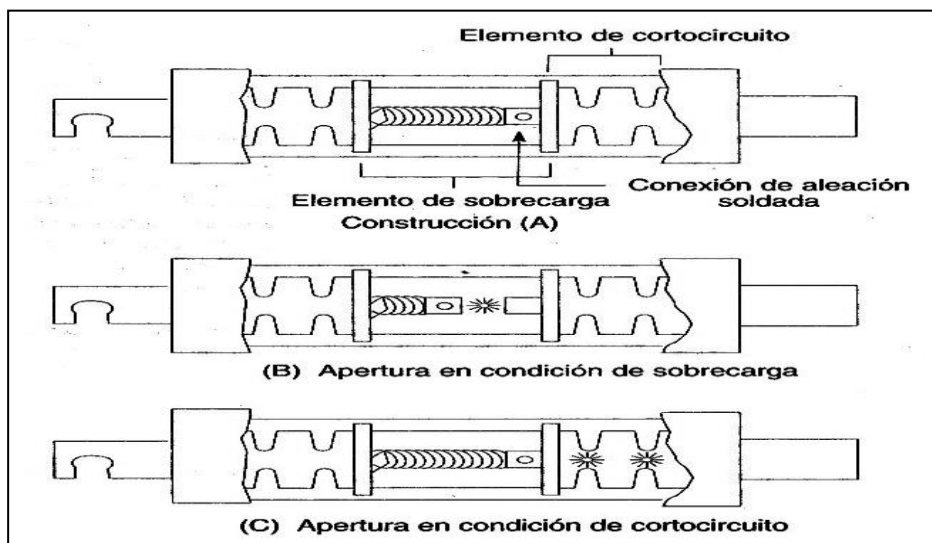
Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del Circuito del motor*. p. 6.

La figura 14 ilustra la operación típica de un fusible de retardo de tiempo de dos elementos, como su nombre lo indica, significa que el fusible incorpora dos elementos separados sensores de corriente, colocados en una configuración en serie (A). Ver figura 14.

El elemento de sobrecarga se abre cuando existen condiciones continuas de sobrecorriente (B).

Durante una condición de cortocircuito instantáneo, el elemento de cortocircuito se abre en múltiples ubicaciones (C) interrumpiendo el cortocircuito y limitando la corriente de paso I^2T e I_p dentro de los límites especificados por los requisitos estándares del fusible.

Figura 14. **Fusible de retardo de tiempo de dos elementos**



Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del circuito del motor*. p. 7.

Algunas ventajas claves de usar fusibles de protección contra cortocircuito incluyen:

- Bajo costo inicial
- Limitación de corriente
- Capacidades nominales altas de interrupción
- Nuevos fusibles de dimensiones más pequeñas (Clase J y CC)
- Operación confiable

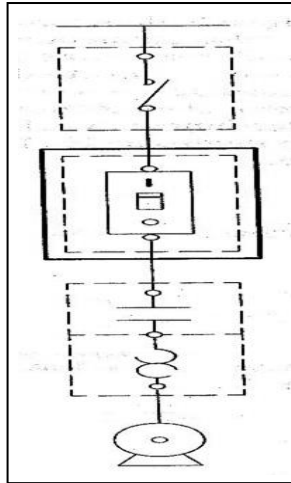
4.4.3. Interruptores automáticos

Un método cada vez más popular de proporcionar protección contra cortocircuito en circuitos de motor, es el uso de interruptores automáticos. Éstos son muy populares, debido al hecho de que después de una condición de falla, los interruptores automáticos pueden ser restablecidos fácilmente una vez que se han realizado los procedimientos de localización, corrección de fallas y mantenimiento.

La capacidad de restablecer un interruptor automático después de una condición de falla, permite al proceso de fabricación, empezar a operar con un tiempo de parada mínimo.

Existen tipos diferentes de interruptores automáticos en el mercado. Al describir el universo de los interruptores automáticos, se tomará únicamente dos grupos de productos. El primero: interruptores automáticos de caja moldeada UL/NEMA, los cuales son muy populares en Norte América; y los interruptores automáticos IEC (protectores de circuito del motor), los cuales se usan frecuentemente como dispositivos de protección contra cortocircuito fuera de Norte América, ver figura 15.

Figura 15. **Interruptores automáticos**



Fuente: Bradley, Allen. *Protección coordinada del circuito del motor*. p. 8.

- Interruptores automáticos usados en Norte América: los más comúnmente usados en Norte América, se denominan interruptores automáticos de caja moldeada (MCCB). Éstos cumplen con los requisitos de los estándares UL 489, CSA C22.2 No.5 y NEMA AB-1. Estándares que definen las características del interruptor automático, tales como: capacidades nominales, rendimiento, protección contra corrosión, espacios eléctricos, requisitos de prueba, criterios de aprobación/rechazo, materiales de aislamiento, partes portadoras de corriente, capacidades de cableado de terminal, entre otros.

Hay diferentes clases de interruptores automáticos de caja moldeada: incluyendo termomagnéticos, magnéticos solamente, limitación de corriente, interruptores automáticos con fusibles y muchos más. Esta descripción se concentrará en los dispositivos termomagnéticos y magnéticos solamente, ya que son los tipos de mayor uso actualmente en la industria.

- Interruptores automáticos termomagnéticos: o de tiempo inverso, éstos proporcionan protección térmica (sobrecorriente) y magnética (cortocircuito) en un solo dispositivo.

Para la protección de sobrecorriente térmica se usan elementos térmicos (bimetálicos o electrónicos), para proteger los componentes del circuito contra el daño causado por niveles continuos de alta sobrecorriente.

A medida que la corriente pasa a través de los elementos térmicos, éstos se desvían hasta llegar a un punto de disparo, en el cual el interruptor automático se dispara, abriendo el circuito del motor. La acción térmica también está asociada con las características de tiempo inverso, ya que las sobrecorrientes bajas requieren tiempos de disparo más largos y las sobrecorrientes altas resultan en tiempos de disparo más cortos.

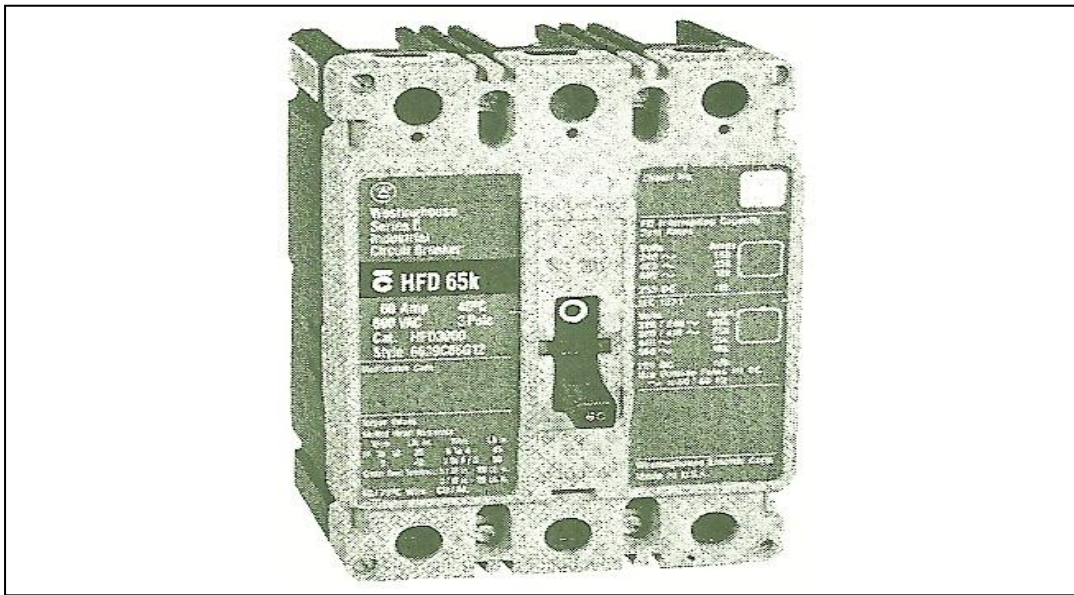
Para protección contra cortocircuito, los interruptores automáticos termomagnéticos incorporan un elemento de disparo magnético. Durante una condición de cortocircuito, la corriente alta de falla causa que el elemento de disparo magnético desenganche un mecanismo de enclavamiento, disparando el interruptor automático y abriendo el circuito del motor.

- Interruptores automáticos magnéticos solamente: llamados también interruptores automáticos de disparo instantáneo, difieren de los dispositivos termomagnéticos en que sólo incorporan elementos de disparo magnético y no elementos térmicos.

En los circuitos de motor, el dispositivo magnético solamente se llama protector de circuito de motor MCP. Este dispositivo puede usarse en combinación con un relé de sobrecarga separado, el cual proporcionará

protección contra sobrecorriente hasta la corriente de rotor bloqueado del motor, ver figura 16.

Figura 16. Interruptores automáticos usados en Norte América



Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del circuito del motor*. p. 9.

Entre las diversas ventajas claves de usar interruptores automáticos tipo caja moldeada, se incluyen:

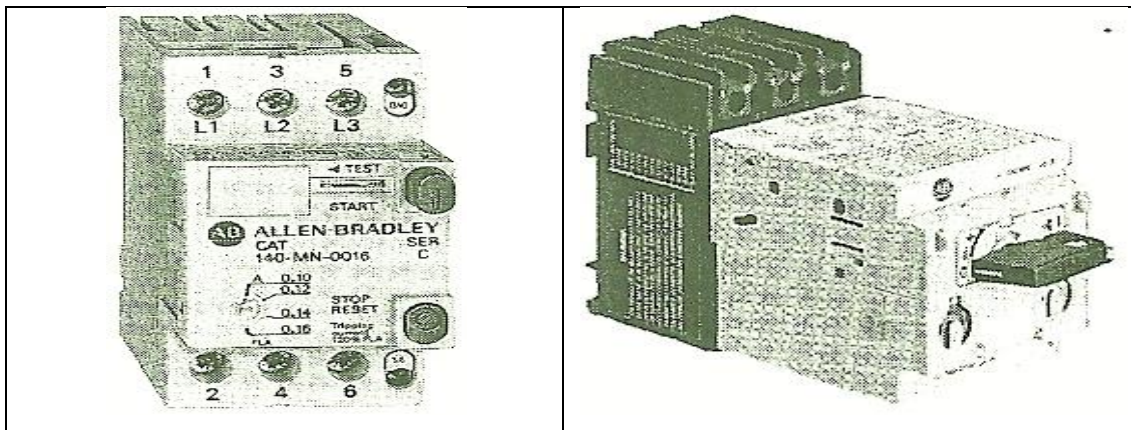
- Pueden restablecerse después que se produce una falla.
- Indicación visible de disparo.
- Mecanismos externos de desconexión disponibles.
- Algunos permiten disparo en derivación y opciones de contactos auxiliares.

- Interruptores automáticos internacionales: aunque los interruptores automáticos que se utilizan en Norte América se usan también en todo el mundo, los protectores de circuitos de motor que cumplen con los requisitos IEC 947 son más comunes fuera de Norte América.

El protector de circuito tipo IEC incorpora varias funciones en un solo dispositivo, incluyendo botones pulsadores de encendido-apagado (*On-Off*) para control local y aislamiento del circuito del motor, elementos bimetálicos ajustables para protección contra sobrecarga, y elementos de disparo magnético para protección contra cortocircuito.

Puesto que los protectores de circuito tipo IEC no cumplen con los requisitos de interruptor automáticos de caja moldeada UL 489, no pueden usarse como dispositivos autónomos de protección contra cortocircuito como los interruptores automáticos de caja moldeada UL o fusibles en los EE.UU., ni Canadá, ver figura 17.

Figura 17. Interruptores automáticos tipo IEC

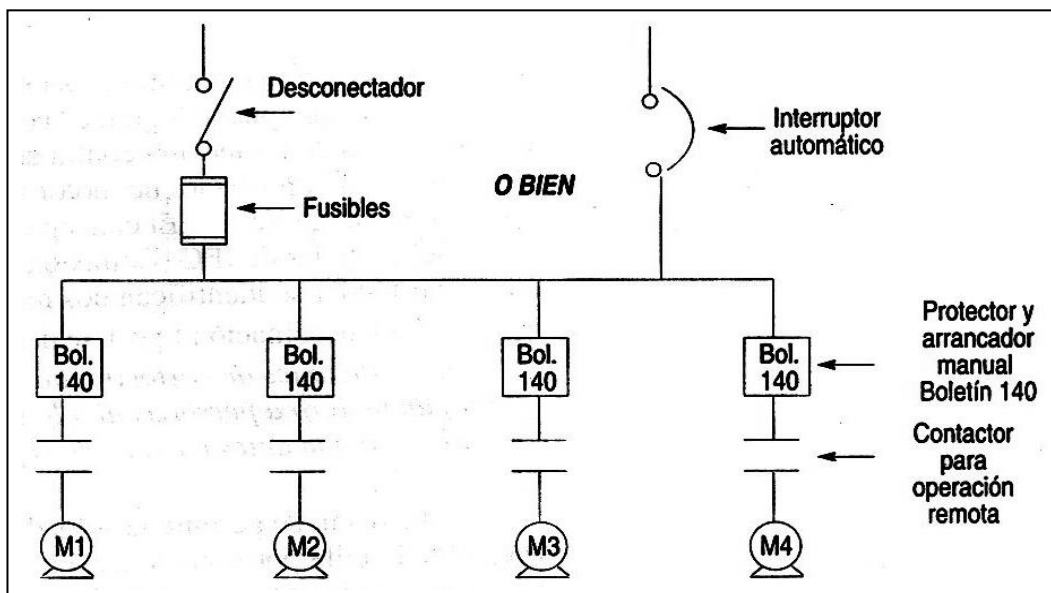


Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del circuito del motor*. p. 10.

En los mercados de Norte América, los protectores de circuitos de motor IEC, han logrado lo que se llama categoría de motor en grupo. Esta clasificación UL/CSA permite varios circuitos de motor, cada uno usando un protector de circuito de motor IEC para ser protegido con un solo dispositivo de protección contra cortocircuito UL/CSA, ver figura 18.

La eliminación de fusibles individuales de circuito del motor o interruptores automáticos, significa una considerable reducción del tamaño del panel. El artículo NEC 430-53, describe los requisitos de dichas instalaciones.

Figura 18. **Instalación de motores en grupo en Norte América**

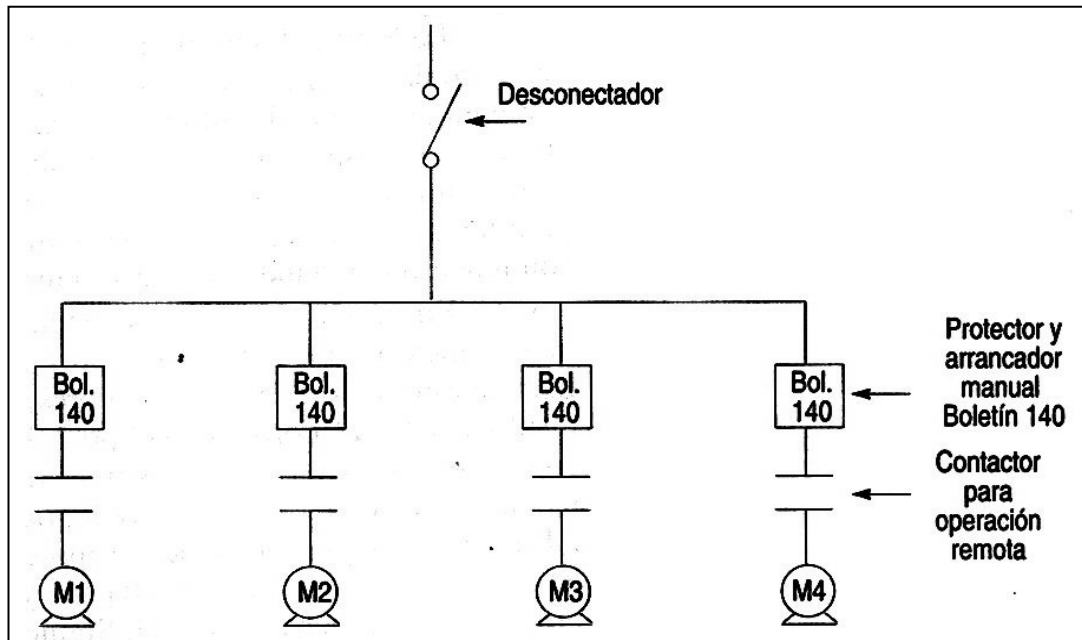


Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del circuito del motor*. p. 11.

En los mercados internacionales, los protectores de circuitos del motor IEC están reconocidos y se utilizan como dispositivos autónomos de protección contra cortocircuito. Los dispositivos de protección contra cortocircuito de respaldo (*back-up*), no necesitan usarse a menos que la corriente de falla

disponible exceda la capacidad de interrupción del protector de circuito de motor, ver figura 19.

Figura 19. **Instalaciones de motores fuera de Norte América**



Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del circuito del motor*. p. 11.

Algunas ventajas claves de usar interruptores automáticos IEC son:

- Proporcionan categoría de motores en grupo, útiles para Norte América.
- Se puede restablecer después de la falla.
- Indicación visible de disparo.
- Protección contra sobrecarga.
- Proporcionan aislamiento y encendido-apagado (*On-Off*) local.

4.4.4. Coordinación tipo 2

Es un término usado para describir un nivel de protección, que puede lograrse coordinando correctamente la selección de dispositivo de protección contra cortocircuito, con la capacidad de resistencia del controlador de motor y el dispositivo de protección contra sobrecarga en el circuito. El concepto de coordinación tipo 2 se origina a partir del estándar de IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), 947-4-1. En este estándar se identifican dos niveles de coordinación de cortocircuito:

La coordinación tipo 1 se define como sigue:

“En condiciones de cortocircuito, el contactor o arrancador no causa ningún peligro a personas ni a la instalación y quizás no puedan volverse a usar sin que antes hayan sido reparados o se hayan reemplazado sus partes”.¹

Es decir, se permite la soldadura de contactos en el contactor y es aceptable la falla por sobrecarga. En cualquiera caso, se requiere el reemplazo de los componentes de control.

Por otro lado, la coordinación tipo 2, limita los efectos de un cortocircuito en los componentes de control. La coordinación tipo 2, se define como sigue:

“En condiciones de cortocircuito, el contactor o arrancador no causarán ningún peligro a personas ni a la instalación y pueden volverse a usar. Se reconoce el riesgo de soldadura de contactos, en cuyo caso el fabricante indicará las medidas a tomarse en relación al mantenimiento del equipo”.²

¹ BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del circuito del motor*. p. 12.

² *Ibíd.*

La figura 20 muestra los resultados de un cortocircuito si un circuito derivado de motor estaba protegido por un dispositivo limitador de corriente comparado con un circuito sin un dispositivo limitador de corriente. En los circuitos que usan el dispositivo limitador de corriente, la energía de paso queda limitada a menos de $\frac{1}{2}$ ciclo. Este nivel limitado de energía de paso permite que los componentes de control sobrevivan un cortocircuito y continúen funcionando con poco o ningún mantenimiento necesario.

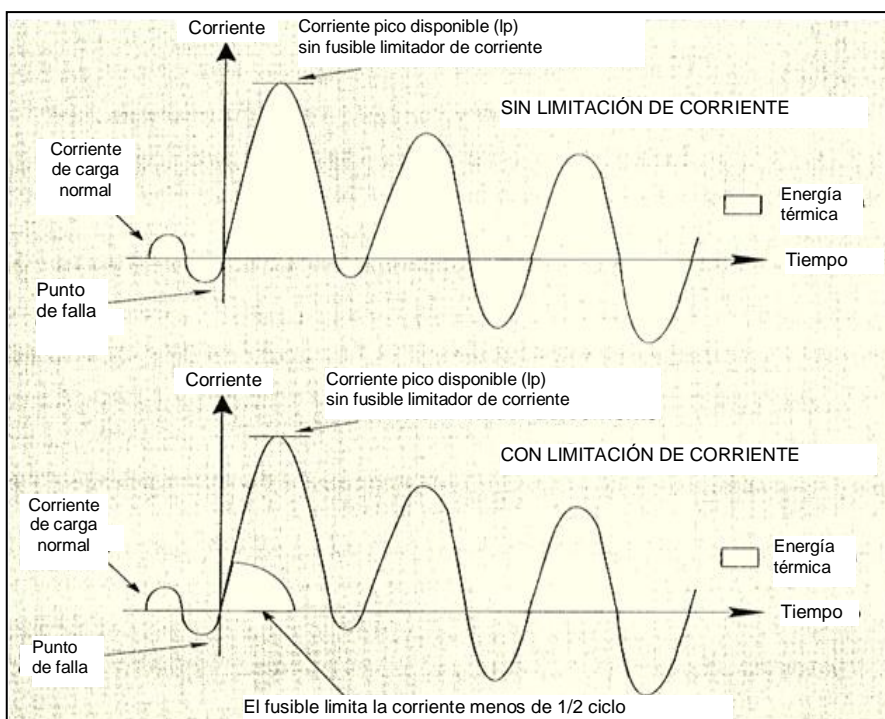
En general, los fusibles tienen capacidades de limitación de corriente mucho mejores que los interruptores automáticos, aunque algunos interruptores automáticos limitadores de corriente pueden proporcionar los resultados de la coordinación tipo 2. Es mejor consultar con el fabricante del control para obtener los dispositivos de protección contra cortocircuito recomendados y requeridos para lograr la coordinación tipo 2.

Los fabricantes del control pueden proporcionar información sobre la selección de componentes (ver tabla X), que ya han sido probados durante programas de prueba del tipo 2. Siguiendo las pautas de los fabricantes, se puede lograr la coordinación tipo 2 en la instalación de circuito derivado de motor.

Las ventajas de la coordinación tipo 2 incluyen:

- Mayor productividad y menos tiempo de parada.
- Menor costo de reemplazo de componentes.
- Selección simple de DPCC y componentes del circuito del motor con datos suministrados por el fabricante.

Figura 20. **Corriente y calor de paso**



Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del circuito del motor*. p. 13.

Al inicio de una falla, un circuito derivado puede alcanzar la corriente pico disponible (I_p) sin un protector limitador de corriente. El calor producido llega a temperaturas que funden los conductores y el aislamiento, y las fuerzas magnéticas doblan los conductores y soportes. Sin embargo, cuando está protegido con un fusible limitador de corriente, la corriente de paso es sólo una fracción de I_p , generalmente abriéndole fusible en menos de medio ciclo. La coordinación tipo 2, asegura que las personas y el equipo no sufran daño debido a corrientes de cortocircuito.

Tabla X. **Recomendaciones de los fabricantes de fusibles para coordinación tipo 2**

Potencia del motor						Contactor	Relé de sobrecarga	Fusible de retardo de tiempo en lista UL Clase J (CSA HRCI-J)			
Monofásico		Trifásico				No. De cat. Básico	Cat. No.	Amp. Nom. Máx. de fusible	Cat. No.		
115 V	230 V	200 V	230 V	460V	575V				Bussman	Gould-Shawmut	Little-fuse
---	---	---	---	1/2	3/4	100-A09	193-BSB16	2	LPJ-2	AJT2	JDT2
---	---	---	---	3/4	1	100-A09	193-BSB16	2	LPJ-2	AJT2	JDT2
---	1/10	---	1/2	1	---	100-A09	193-BSB22	3	LPJ-3	AJT3	JDT3
---	1/8	---	---	---	---	100-A09	193-BSB22	3	LPJ-3	AJT3	JDT3
---	1/6	1/2	---	1-1/2	1-1/2	100-A09	193-BSB30	6	LPJ-6	AJT6	JDT6
---	---	---	---	---	2	100-A09	193-BSB30	6	LPJ-6	AJT6	JDT6
1/10	1/4	3/4	3/4	2	---	100-A09	193-BSB42	6	LPJ-6	AJT6	JDT6
---	1/3	---	1	---	---	100-A09	193-BSB42	6	LPJ-6	AJT6	JDT6
1/8	---	---	---	---	3	100-A09	193-BSB50	6	LPJ-6	AJT6	JDT6
1/6	1/2	1	1-1/2	3	---	100-A09	193-BSB60	10	LPJ-10	AJT10	JDT10
1/4	3/4	1-1/2	2	5	5	100-A09	193-BSB80	10	LPJ-10	AJT10	JDT10
1/3	---	---	---	---	---	100-A09	193-BSB80	10	LPJ-10	AJT10	JDT10
---	1	2	---	---	7-1/2	100-A09	193-BSC10	15	LPJ-15	AJT15	JDT15
---	---	---	3	---	---	100-A12	193-BSC10	15	LPJ-15	AJT15	JDT15
1/2	1-1/2	3	---	7-1/2	10	100-A12	193-BSC15	20	LPJ-20	AJT20	JDT20
---	2	---	---	---	---	100-A12	193-BSC15	20	LPJ-20	AJT20	JDT20
3/4	---	---	5	10	---	100-A18	193-BSC15	20	LPJ-20	AJT20	JDT20
1	3	5	---	---	15	100-A18	193-BSC24	30	LPJ-30	AJT30	JDT30
1-1/2	---	---	7-1/2	15	20	100-A24	193-BSC24	30	LPJ-30	AJT30	JDT30
2	---	---	---	---	---	100-A24	193-BSC24	30	LPJ-30	AJT30	JDT30

Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del circuito del motor*. p. 14.

La coordinación tipo 2 automática puede lograrse siguiendo las recomendaciones del fabricante sobre dispositivos de protección máxima contra cortocircuito.

4.4.5. Protección contra sobrecarga de motor

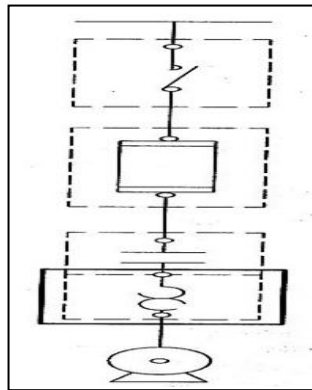
Los relés de sobrecarga se usan en un circuito de motor para proteger al motor y los conductores del circuito contra el daño causado por períodos prolongados de condiciones de sobrecorriente. Si los motores se exponen a niveles crecientes de corriente continua y a períodos prolongados de condición de rotor bloqueado, se pueden dañar el motor y los conductores del circuito.

Los motores pueden ser dañados o destruidos bajo cualquiera de las siguientes condiciones:

- Suministro de bajo o alto voltaje.
- Desbalance de fase.
- Carga excesiva continua.
- Una sola fase.
- Condiciones de bloqueo o motor trabado.
- Fallas a tierra.
- Fallas mecánicas, tales como: bloqueo de cojinetes del motor o bloqueo de uniones mecánicas.

Seleccionando el tipo correcto de relé de sobrecarga con las funciones apropiadas, el motor puede quedar protegido contra el daño causado por estas condiciones, (figura 21).

Figura 21. **Protección contra sobrecarga del motor**



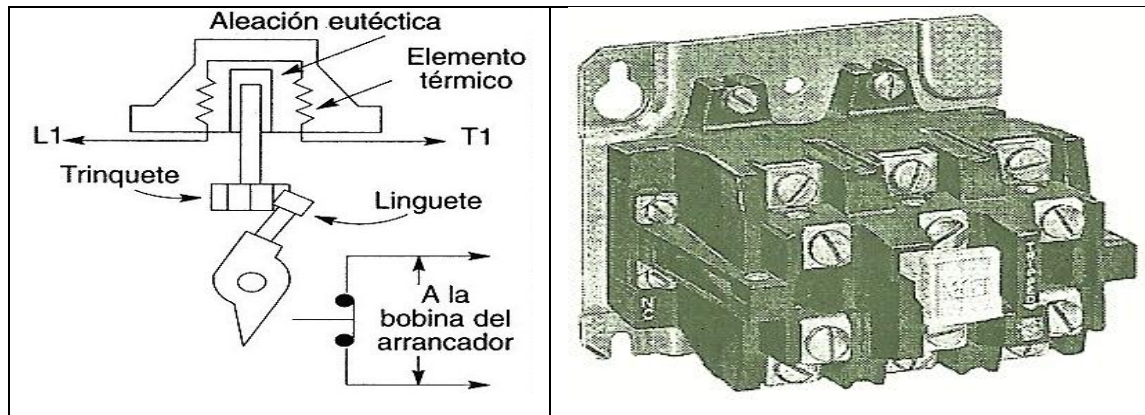
Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del circuito del motor*. p. 15.

4.4.6. Tipos de relés de sobrecarga

Actualmente hay tres tipos básicos disponibles: de aleación eutéctica, bimetalicos y de estado sólido. A continuación se proporciona una descripción detallada de cada tipo de relé de sobrecarga y de sus características básicas.

- Relés de sobrecarga de aleación eutéctica: los relés de sobrecarga de aleación eutéctica, generalmente se usan con arrancadores de motor NEMA. Estos relés de sobrecarga, utilizan una aleación tipo soldadura dentro de los elementos térmicos. A medida que la corriente se mueve a través del elemento térmico, la soldadura se calienta hasta que llega a un punto de fusión (punto de disparo) predeterminado. En el punto de disparo, la soldadura cambia instantáneamente de sólida a líquida, permitiendo que el mecanismo de trinquete abra un contacto normalmente cerrado, desactivando el circuito de bobinas del arrancador, ver figura 22.

Figura 22. Relé de sobrecarga de aleación eutéctica NEMA

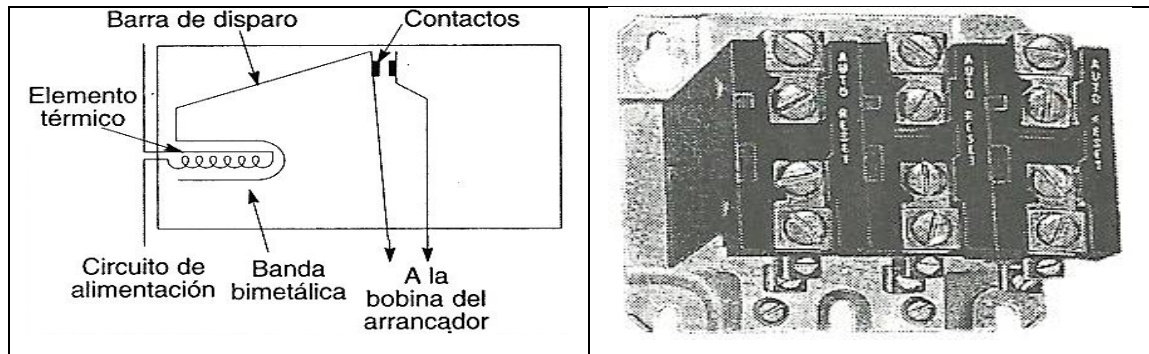


Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del circuito del motor*. p. 16.

Las características principales de un relé de sobrecarga de aleación eutéctica son:

- A prueba de intrusiones.
 - No es afectado por los disparos inconvenientes causados por la vibración.
 - Restablecimiento manual solamente.
 - Sensibilidad monofásica.
 - Clases de disparo seleccionables 10, 20, 30.
- Relés de sobrecarga bimetálicos: hay dos tipos de relés de sobrecarga bimetálicos disponibles: NEMA e IEC. Los relés de sobrecarga bimetálicos NEMA utilizan elementos térmicos reemplazables que calientan indirectamente las bandas bimetálicas. A medida que se calientan las bandas bimetálicas, éstas se doblan hacia un punto de disparo, en dicho momento se abre un contacto normalmente cerrado, desactivando la bobina del arrancador, (figura 23).

Figura 23. **Relé de sobrecarga bimetálico NEMA**

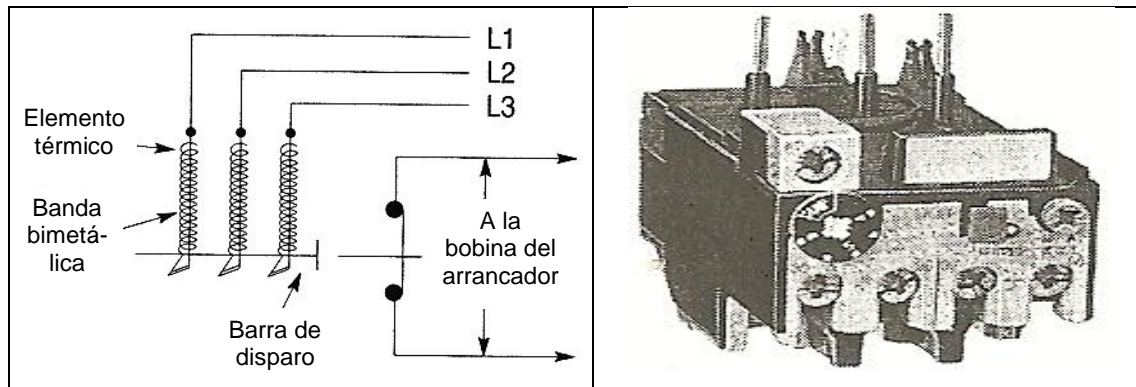


Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del circuito del motor*. p. 17.

Las principales características de relé de sobrecarga bimetálico NEMA son:

- Flexibilidad de elementos térmicos cambiables
 - Restablecimiento automático
 - Clases de disparo seleccionables 10, 20 o 30
 - Compensación de temperatura ambiente
 - Sensibilidad monofásica
-
- Relés de sobrecarga bimetálica, continuación IEC: son similares a los dispositivos NEMA, excepto que los componentes térmico/bimetálico son integrales al relé de sobrecarga (figura 24). Para permitir mayor flexibilidad, la selección de disparo de sobrecarga es ajustable en un rango de selecciones de corriente a plena carga del motor, el rango de selección de amperaje a plena carga (I_n), será de 1.0:1.5 (mín. a máx.). Los relés de sobrecarga bimetálicos IEC han sido diseñados para características de disparo clase 10, esto significa que el relé de sobrecarga en menos de 10 segundos a corriente del motor bloqueado.

Figura 24. Relé de sobrecarga bimetálico tipo IEC



Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del circuito del motor*. p. 18.

Las principales características del relé de sobrecarga bimetálico IEC son:

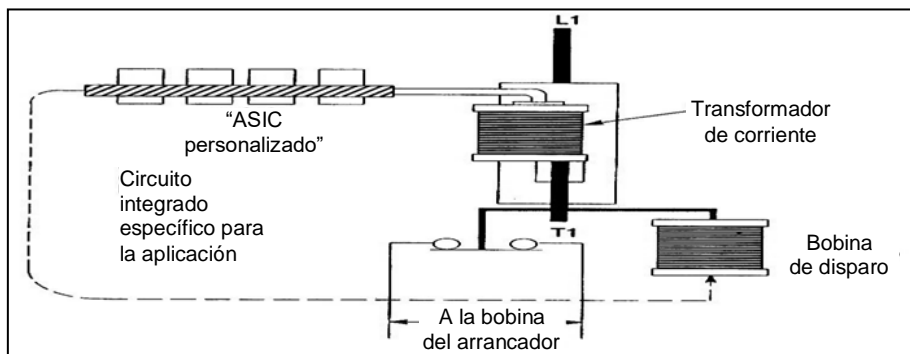
- Restablecimiento manual o automático
 - Temperatura ambiente compensada
 - Sensibilidad monofásica
 - Amplio rango de ajuste de corriente (1:1.5)
- Relés de sobrecarga de estado sólido (electrónicos): son el tipo de dispositivo de protección de sobrecarga más nuevo y de más creciente uso. Los relés de sobrecarga de estado sólido eran grandes, costosos e imprácticos para la mayoría de motores compactos, usados actualmente en la industria.

Con el reciente desarrollo de la tecnología de sobrecarga de estado sólido, el costo y tamaño de los dispositivos de estado sólido se han reducido significativamente, mientras que la funcionalidad ha aumentado en gran medida.

La tecnología más moderna de relé de sobrecarga de estado sólidos, utiliza transformadores de corriente integrales, circuitos integrados específicos para la aplicación (ASIC) y/o microprocesadores, junto con principios de diseño electromecánico para producir una solución de protección de sobrecarga compacta y de alta funcionalidad, disponibles en versiones NEMA o IEC, el principio de operación es el mismo.

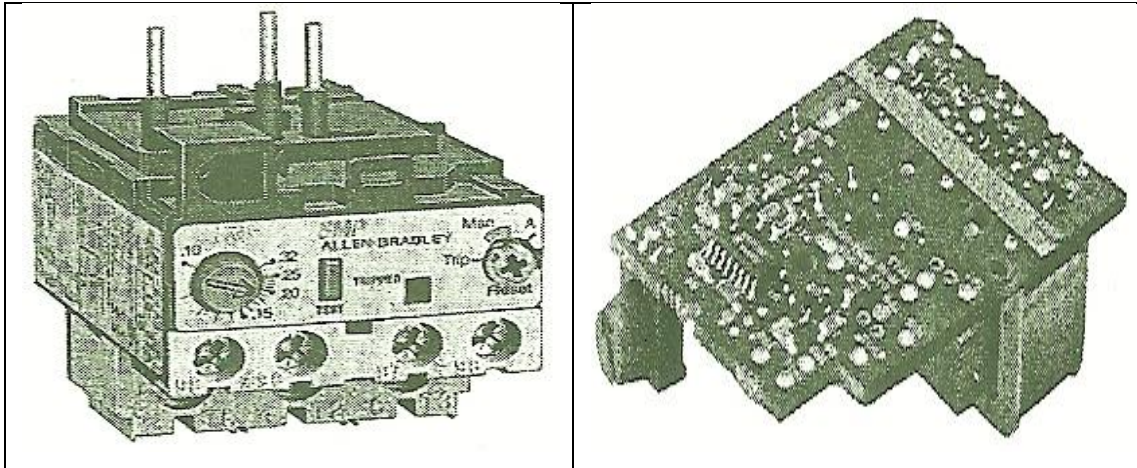
A medida que la corriente del motor pasa a través de los transformadores de corriente integrales, hay alimentación eléctrica disponible para suministrar al circuito integrado. Monitorizando la alimentación trifásica, los circuitos ASIC, pueden procesar datos de corriente y desactivar un mecanismo de disparo en condiciones de sobrecarga, abriendo un contacto normalmente cerrado y desactivando el circuito de bobinas del arrancador, (figuras 25 y 26).

Figura 25. **Relé de sobrecarga de estado sólido**



Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del circuito del motor*. p. 19.

Figura 26. **Relé de sobrecarga de estado sólido y circuito integrado específico para aplicación (ASIC)**



Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del circuito del motor*. p. 19.

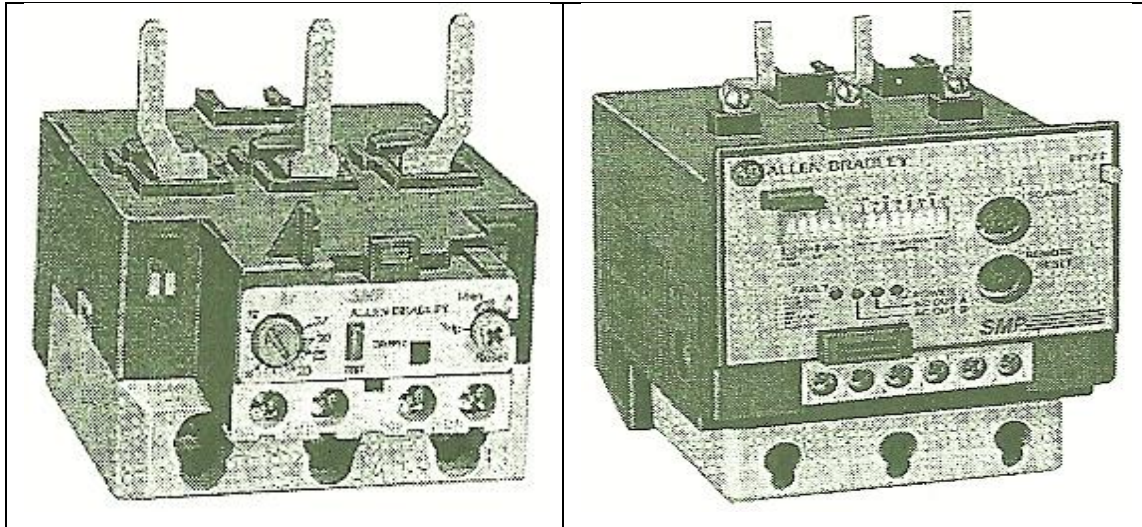
Las principales características del relé de sobrecarga de estado sólido son:

- Clases de disparo 10, 15, 20, 30.
- Compensación de temperatura ambiente.
- Protección monofásica.
- Restablecimiento manual o automático.
- Bajo consumo de potencia (genera menos calor y requiere paneles más pequeños).

4.4.7. Protección avanzada de motor

Como resultado de integrar un microprocesador o un circuito integrado específico para la aplicación (ASIC), como el cerebro de un relé de sobrecarga de estado sólido, la oportunidad de añadir funcionalidad protectora avanzada al relé de sobrecarga es muy práctica, (figura 27).

Figura 27. **Dispositivos avanzados de protección de sobrecarga**



Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del Circuito del motor*. p. 20.

Además de la protección de sobrecarga básica, los relés avanzados de sobrecarga de estado sólido pueden ofrecer funcionalidad adicional que previamente hubiera requerido el uso de varios dispositivos de protección adicionales en el circuito del motor. Al consolidar muchas características protectoras en un sólo dispositivo, se pueden reducir significativamente los costos de instalación, los costos de los componentes, el tamaño del panel y el tiempo de mantenimiento y a la vez aumentar el rendimiento y la eficiencia del sistema.

Una ventaja adicional de los dispositivos de estado sólido, es su capacidad de funcionar a través de comunicaciones de red. A través de una red de comunicación se puede recolectar, procesar y ver en pantalla información vital del motor, con el fin de efectuar la acción correctiva antes de que se produzcan condiciones de falla. Ver tabla XI.

Tabla XI. **Relés avanzados de estado sólido vrs. relés de sobrecarga tradicionales**

Característica avanzada de protección	Relés de sobrecarga de estado Sólido	Relés de sobrecarga Tradicionales
<ul style="list-style-type: none"> • Protección contra bloqueo seleccionable <ul style="list-style-type: none"> - E/S seleccionable • Protección contra falla a tierra seleccionable <ul style="list-style-type: none"> - E/S seleccionable • "Protección" monofásica • Precisión de ajuste de disparo • Precisión repetitiva de ajuste de disparo • Indicadores LED de disparo • Amplio rango de ajuste de corriente • Requisitos de baja potencia y baja disipación térmica • Clases de disparo 10, 15, 20, 30 • Comunicaciones de red 	<ul style="list-style-type: none"> • Disparo antes de 0,5 seg. a 400% de selección de amperaje a plena carga (In) • Monitoriza ángulos de vector de fase Dispara a bajo nivel antes del nivel de falla • Dispara antes de dos segundos en motor a plena carga • Mayor precisión de ajuste con microinterruptores, $\pm 2,5\%$ • Mayor precisión, $\pm 1\%$ • Indicación de la causa de la falla <ul style="list-style-type: none"> - Bloqueo/atascamiento - Falla a tierra - Selección de comunicación - Prueba - Pérdida de fase - Sobrecarga • 3.2:1 y 5:1 • 150 mW por dispositivo • Seleccionable mediante microinterruptor (DIP) • Control, adquisición de datos e indicación de causa de la falla • Control <ul style="list-style-type: none"> - Arranque/paro - Restablecimiento - Límite de arranques • Adquisición de datos <ul style="list-style-type: none"> - % de capacidad térmica usada (advertencia de disparo) - Frecuencia de disparo - Desbalance de fase - Ajuste de In de disparo - Corriente promedio • Indicación de causa de falla (Vea inf. anterior) 	<ul style="list-style-type: none"> • Depende de repuesta a curva de disparo de sobrecarga • Ninguno – depende de DPCC • "Sensible" a condiciones monofásicas. Dispara en 40 segundos o más • Potenciómetro o elementos térmicos: <ul style="list-style-type: none"> $\pm 10\%$ $\pm 5 - 10\%$ • Ninguna • 1.6:1 y 1.1:1 • 6 W o más por dispositivo • Componentes dedicados según clase de disparo • Ninguna

Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del Circuito del motor*. p. 21.

4.4.8. Protección coordinada del circuito del motor

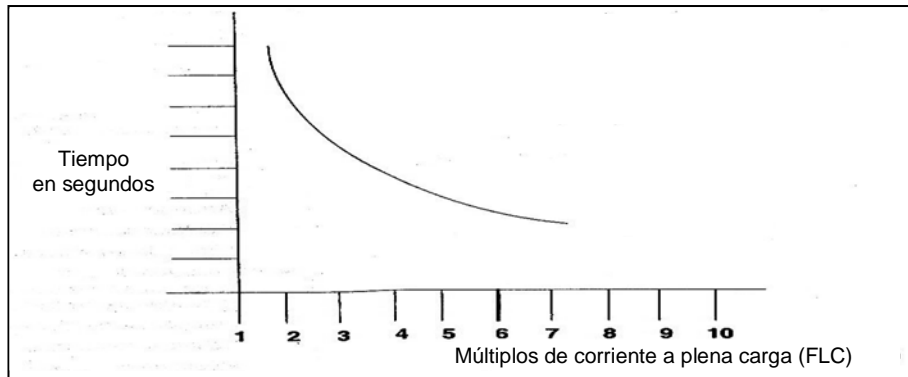
Para un circuito derivado, consiste en proporcionar un nivel continuo de protección contra daño, debido a sobrecarga menores hasta corrientes de cortocircuito mayores. Dicha protección proporciona las ventajas de menos tiempo de parada y menores costos, así como mayor seguridad.

El propósito de la protección contra sobrecarga en cualquier circuito derivado es proporcionar protección del arranque y marcha contra las sobrecorrientes causadas por problemas, tales como: bloqueo de cojinetes o partes atascadas en la máquina. Estas sobrecorrientes fluctúan hasta la corriente del rotor bloqueado, generalmente, aproximadamente seis veces la corriente a plena carga del motor.

Como la corriente de rotor bloqueado, también es la corriente de arranque inicial, los dispositivos de protección contra sobrecarga requieren retardo de tiempo incorporado, para evitar los disparos indeseados durante el arranque.

La curva de tiempo/corriente de un dispositivo de protección, contra sobrecarga, muestra que el tiempo de disparo es inversamente proporcional a la magnitud de la corriente de sobrecarga, (figura 28).

Figura 28. **Curva de respuesta a sobrecarga**



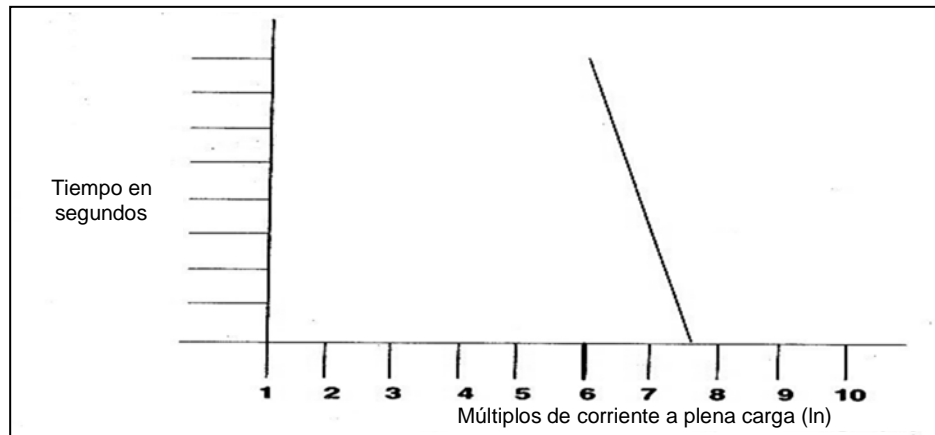
Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del Circuito del motor*. p. 22.

El propósito del dispositivo de protección contra cortocircuito es evitar que niveles altos de sobrecorriente dañen los componentes del circuito derivado del motor. Se considera que las corrientes de cortocircuito fluctúan en un rango que va desde la corriente del rotor bloqueado del motor, hasta la máxima corriente disponible en el circuito del motor.

Las corrientes de cortocircuito son resultado de problemas tales como: errores de cableado, desgaste del aislamiento y contacto accidental de herramientas u otros objetos metálicos con el circuito. Los dispositivos de protección contra cortocircuito deben reaccionar rápidamente para minimizar el daño.

La curva de tiempo/corriente de un dispositivo de protección contra cortocircuito, muestra que su tiempo de disparo, también es inversamente proporcional a la corriente. Sin embargo, puede verse que la pendiente de la curva es bastante empinada. (Figura 29).

Figura 29. **Curva de respuesta de dispositivo de protección contra cortocircuito**



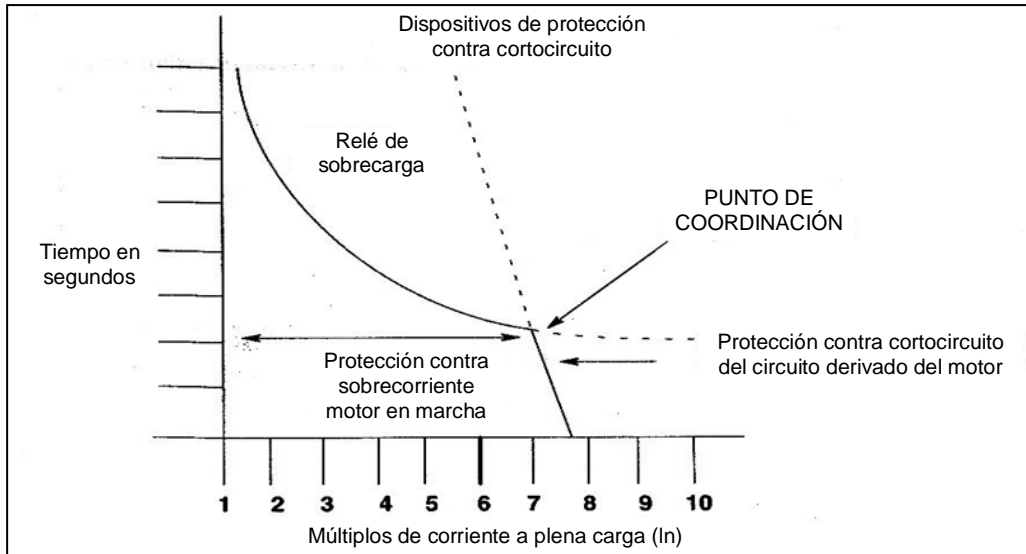
Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del Circuito del motor*. p. 23.

El Código Eléctrico Nacional requiere protección contra cortocircuitos y sobrecargas para los circuitos derivados, si estas curvas se superponen, entonces se tiene una curva de tiempo y corriente que ilustra el comportamiento de los dispositivos protectores para todos los niveles de corriente.

Si las curvas se intersectan, el punto de intersección se llama punto de coordinación, este punto debe estar justo encima de la corriente de motor bloqueado (6 – 8 X corriente a plena carga [In]), para una correcta coordinación.

Si las curvas se coordinan correctamente, el dispositivo de protección contra cortocircuito reaccionará a las corrientes por encima del rango de sobrecarga, pero no disparará si la sobrecorriente está en rango de sobrecarga, (figura 30).

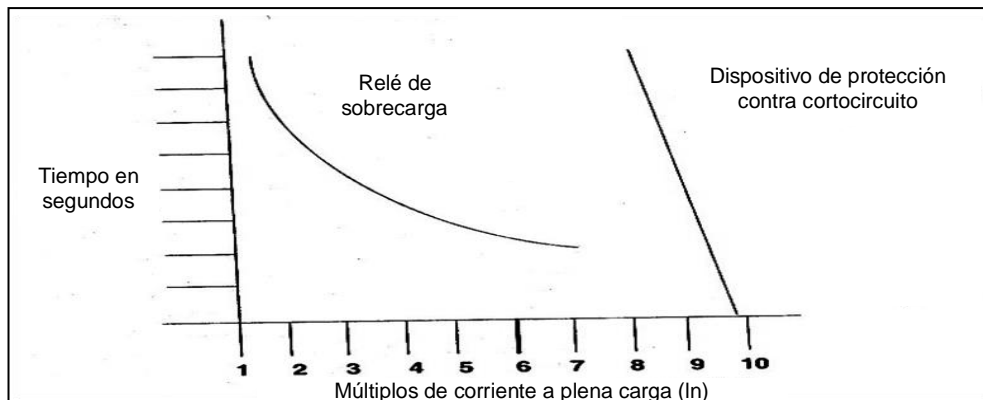
Figura 30. **Protección coordinada del circuito del motor**



Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del Circuito del motor*. p. 24.

Sin embargo, si estas curvas no se intersectan, o se intersectan muy por encima de la corriente de rotor bloqueado del motor, el dispositivo de protección contra sobrecarga reaccionará a las corrientes de cortocircuito en el espacio entre el rango de sobrecarga y la protección contra cortocircuito y probablemente sufrirá daño. (Figura 31).

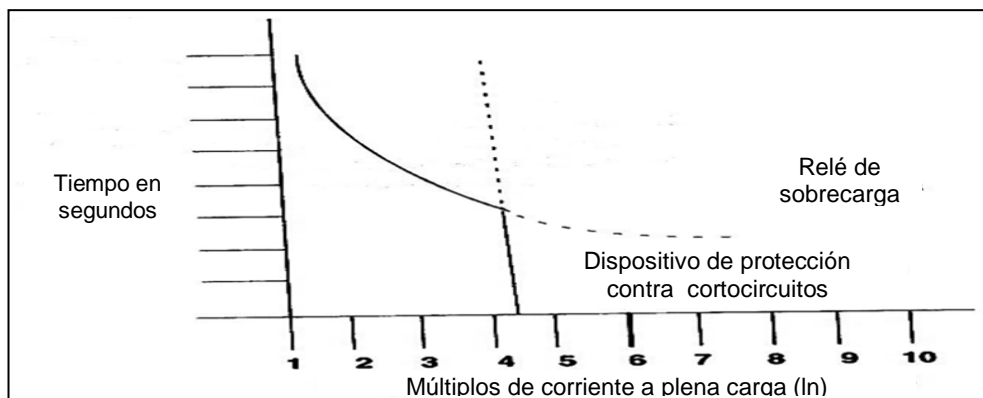
Figura 31. **Protección no coordinada (las curvas no se intersectan)**



Fuente: BRADLEY Allen. *Protección coordinada del Circuito del motor*. p. 25.

Si las curvas se intersectan en el rango de sobrecarga, por debajo de la corriente de rotor bloqueado, el dispositivo de protección contra cortocircuito efectuará un disparo inconveniente con el arranque del motor. (Figura 32).

Figura 32. **Protección no coordinada (las curvas se intersectan por debajo de la corriente de rotor bloqueado)**



Fuente: BRADLEY, Allen. *Protección coordinada del Circuito del motor*. p. 25.

4.4.9. Vida útil de una instalación típica de motor

Durante la vida de una instalación típica de motor, pueden ocurrir diversas condiciones de falla, desde fallas de alto nivel, tales como; fallas de cortocircuito o tierra hasta fallas de bajo nivel, tales como; condiciones de sobrecarga y bloqueos. Para aplicaciones críticas, donde el proceso de fabricación depende de un flujo continuo de materiales y el tiempo de parada puede ser muy costoso, la mejor solución de protección puede requerir lo siguiente:

- Seleccionar un dispositivo de protección contra cortocircuito que proporcione coordinación tipo 2.
- Seleccionar un dispositivo de sobrecarga de estado sólido que proporcione:
 - Protección contra falla a tierra.
 - Protección contra bloqueo.
 - Comunicaciones en red para monitorear rigurosamente los datos del motor y la aplicación.

Resumiendo correctamente los requisitos de la aplicación y seleccionando los componentes de protección adecuados, se puede desarrollar un buen esquema de costos de implementación y protección del circuito del motor, para maximizar la vida útil y optimizar el rendimiento del motor y de la aplicación.

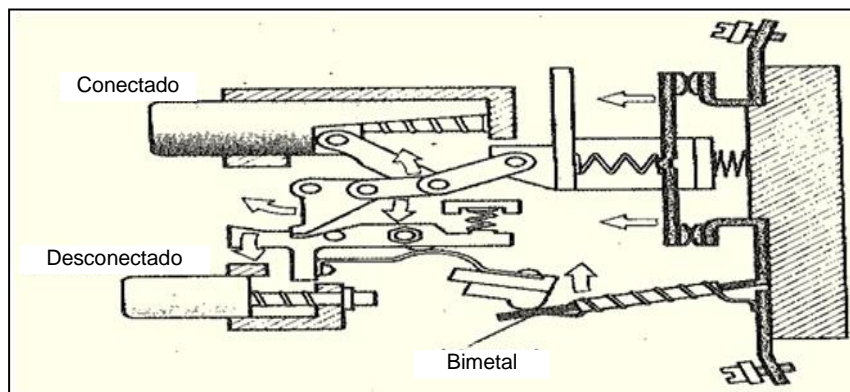
4.4.10. Interruptor de protección con disparo térmico

Los circuitos de disparo térmicos disponen generalmente de pares termoeléctricos y raras veces llevan fusibles. En el elemento bimetálico la corriente del consumidor circula a través de una resistencia y calienta la banda

bimetálica. Normalmente la resistencia está aislada eléctricamente del bimetálico con asbesto. Si la banda bimetálica está convenientemente dimensionada, ella misma puede servir como resistencia.

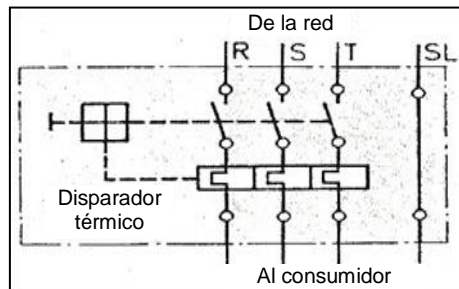
Cuanto mayor es la corriente de servicio, tanto mayor es el calentamiento del bimetálico y tanto más rápidamente se curva. Si la curvatura es mayor que la permitida para el disparador, se abre y desbloquea el enclavamiento (figura 33), de este modo la fuerza del resorte separa las piezas de contacto. El interruptor de protección con excitador térmico desconecta al consumidor en caso de sobrecorriente; ésta tiene lugar, sobre todo, en motores sobrecargados, por ello en algunos casos los interruptores de protección con disparo térmico se designan también como guardamotores (figuras 34 y 35).

Figura 33. **Elemento excitador de un interruptor de protección de motor con disparador bimetálico**



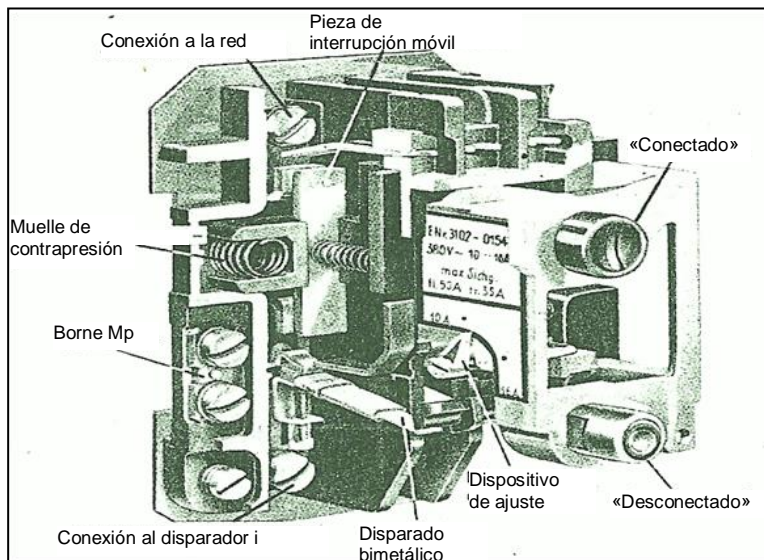
Fuente: SCHIEF, Alfred. *Principios de electrotecnia*. p. 110.

Figura 34. **Esquema de un interruptor de protección de motor con disparador térmico**



Fuente: SCHIEF, Alfred. *Principios de electrotecnia*. p. 111.

Figura 35. **Interruptor de protección de motor**



Fuente: SCHIEF, Alfred. *Principios de electrotecnia*. p. 110.

En los interruptores de protección de motores puede graduarse la curvatura permitida de la banda bimetalica, y con ello la corriente de disparo (figura 35). En los motores se regula el interruptor de protección, de acuerdo con la intensidad nominal del motor (placa de características), los disparos

térmicos sean contruidos de modo que el calor calienta al bimetálico, que se curva transcurrido algún tiempo.

- Los disparos térmicos actúan con retardo: deben actuar en 2 horas en el estado térmico de servicio, con una corriente 1,2 veces mayor que la corriente nominal. En estado frío pueden resistir una corriente 6 veces mayor que la nominal por lo menos durante 2 segundos.

Algunas veces es conveniente que el disparo térmico se realice con retardo: en la conexión y en las sobrecargas de corta duración de los motores circula una corriente muy intensa que el interruptor no debe cortar. Sin embargo, el interruptor se estropearía en caso de cortocircuito, por ello con los guardamotors deben ser colocados otros órganos adicionales de protección contra sobrecorriente, por ejemplo fusibles, cuya corriente nominal corresponde a la del interruptor de protección. Los disparadores térmicos solo protegen contra sobrecargas y no contra cortocircuitos.

4.4.11. Variadores de velocidad

El operar un motor de jaula de ardilla, desde un variador de frecuencia ajustable (variador de CA), tiene muchas ventajas sobre el arranque en línea. Considere la secuencia de arranque; un motor con arranque en línea usa 6 a 10 veces su corriente nominal, se calienta excesivamente, acelera a un régimen incontrolable y causa perturbaciones de voltaje en las líneas de suministro que lo alimentan.

El arranque en línea, también puede causar una fatiga indebida en la máquina conectada. La máquina controlada debe estar diseñada para manejar el choque del arranque en línea, el cual generalmente aplica 180% de par a la

máquina muy rápidamente. Para reducir el choque puede instalarse un arrancador a voltaje reducido o arrancador suave de estado sólido.

La aceleración de la máquina puede ser controlada con ajustes en el variador. Las cargas de alta inercia pueden ser aceleradas lentamente usando un motor más pequeño de lo que sería necesario con un arranque en línea. La fatiga mecánica en la máquina controlada puede minimizarse, permitiendo intervalos más largos entre reconstrucciones de la máquina. Los variadores de CA, también pueden activar múltiples motores, acelerándolos al mismo régimen para arrancar una máquina grande de motores múltiples, por ejemplo, una máquina de papel o sistema transportador.

En cargas de baja inercia es posible acelerar un motor más rápido que cuando se arranca con arranque en línea. El variador de CA aumenta la aceleración y disminuye el tiempo de desaceleración, para aumentar la producción. Puesto que la corriente de arranque se reduce de 600% a 150% el calentamiento del motor se minimiza y pueden realizarse más ciclos de arranque/paro por hora.

Cuando se reemplaza el arrancador en línea con un variador de CA, puede usarse el mismo motor, cableado y conductos. El variador puede montarse a una distancia de hasta 1 600 m (una milla) del motor para su conveniencia o seguridad, algunas veces se puede retener el arrancador en línea como sistema de seguridad (*backup*).

En caso de un mal funcionamiento del sistema, el arrancador en línea puede desviarse del variador para operar el motor temporalmente. La posibilidad de implementar un circuito de *bypass* es un requisito en algunas

operaciones, tales como: bombas de tratamiento de agua y bombas de calderas.

Otros métodos de variador (por ejemplo variadores CC, embragues de corriente parásita y variadores hidráulicos), son más costosos de usar como *bypass*. (Verificar siempre las especificaciones NEMA y los códigos locales para asegurar prácticas seguras de cableado).

4.5. Caja de conexiones eléctricas de los motores

La caja de conexiones es un elemento que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica del mismo, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos. Las cajas de conexiones deben ser de fundición de hierro gris, aluminio o de acero al carbón con un espesor mínimo de 3,2 mm (1/8 pulg), para las cajas de conexiones de cable a cable deben tener las dimensiones y volumen mínimos indicados en las tablas XIV y XV. Para conectar terminales rígidas deben de proporcionar el espaciado entre terminales y volumen mínimo indicados en la tabla XIV.

La caja para las conexiones de fuerza debe de estar al lado derecho del motor, visto desde el lado opuesto al acoplamiento y debe estar provista con entradas roscadas para tubería *conduit*. Las cajas de conexiones deben poder girarse en pasos de 90 °, para poder recibir la tubería *conduit* de la acometida en una de las cuatro direcciones posibles. Las cajas de conexiones de motores mayores, que no puedan girarse, deben tener preparación para recibir el tubo *conduit* de la acometida por la cara inferior o por la cara opuesta al acoplamiento.

Para potencias de 0,746 1,119 1,492 y 2,238 kW (1 1,5 2 y 3 cp) con la caja de conexiones total o parcialmente integrada a la carcasa del motor, el volumen de dicha caja no debe ser menor de 22,94 cm³ por cada conexión de cable.

Las entradas para tuberías *conduit* en cajas de conexiones de motores no fabricados con armazones de Norma NEMA o equivalente, deben cumplir con lo indicado en la tabla XII y para motores fabricados bajo Norma NEMA o equivalente ver tabla XIII (se excluyen motores a prueba de explosión clase 1, división 1).

Tabla XII. **Motores no fabricados con armazones de norma NEMA**

kW	Cp	Diámetro de entrada para tubería conduit en caja de conexiones.
Hasta 18,65	Hasta 25	25 mm
22,38 a 37,30	30-50	38 mm
44,76 a 55,95	60-75	51 mm
74,60 a 93,25	100-125	76 mm
111,9 y mayores	150 y mayores	como se requiera

Fuente: PEMEX. *Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios.*

p. 46.

Tabla XIII. Diámetro de entrada para tubería conduit en caja de conexiones

Diámetro de tubería mm	Diámetro de entrada para tubería conduit en caja de conexiones mm		
	Nominal	Mínima	Máxima
12,70	22,2	21,80	23,01
19,05	28,2	27,78	28,98
25,40	34,9	34,51	35,71
31,75	44,0	43,66	44,85
38,10	50,3	50,01	51,20
50,80	62,7	62,30	63,50
63,50	75,4	75,00	76,20
76,20	91,2	90,88	92,07
88,90	104,7	103,98	105,56
101,60	117,8	117,06	118,66
127,00	145,2	144,47	146,05
152,40	173,0	172,23	173,84

Fuente: PEMEX. *Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios.*
p. 46.

Tabla XIV. Dimensiones de las cajas de conexiones para motores eléctricos

Corriente eléctrica a carga plena para motores trifásicos con un máximo de 12 terminales	Cajas de terminales dimensiones mínimas	Volumen mínimo utilizable	Potencia típica máxima en servicio trifásico			
			220 V y 480 V			
A	cm	Cm ³	kW	cp	kW	Cp
45	6,35	597	11,19	(15)	22,38	30
70	8,38	1262	18,65	(25)	37,30	50
110	10,16	2295	20,84	(40)	55,95	75
160	12,70	4130	44,76	(60)	93,25	125
250	15,24	7374	74,60	(100)	149,20	200
400	17,78	13765	119,00	(150)	223,80	300
600	20,32	25236	186,50	(250)	373,00	500

Fuente: PEMEX. *Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios.*
p. 46.

Tabla XV. **Dimensiones de las cajas de conexiones para motores eléctricos**

Potencia en cp		Dimensiones de la tapa en centímetros.	Volumen mínimo disponible en centímetros cúbicos.
kW	Cp		
0,746 y menores	Hasta 1	4,11	172,074
1,119-1,492, 2,238	1, 5, 2 y 3	4,44	275,31
3,73 y 5,595	5 y 7 ½	5,08	367,09
7,46 y 1,19	10 y 15	6,35	596,52

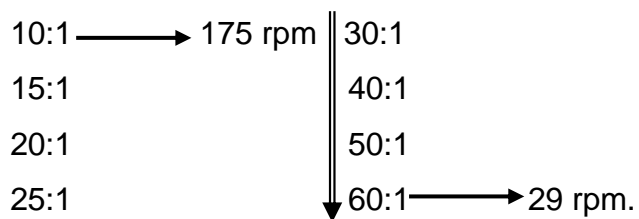
Fuente: PEMEX. *Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios.*

p. 46.

4.6. Anclaje de los motores eléctricos

El anclaje de los motores con la caja reductora es de acople directo, es decir, por medio de motor cara C y de acople indirecto, por medio de poleas y fajas.

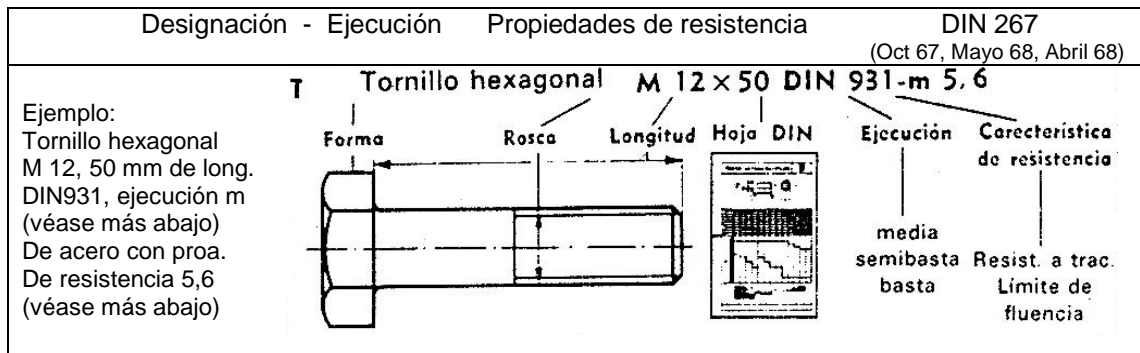
La caja que más se utiliza es la de tornillo sin fin. La velocidad normal es de 1 750 rpm de entrada. La velocidad de salida depende del radio de giro de la caja, las relaciones son las siguientes:



Los multiplicadores se utilizan para rebajar aún más la velocidad de salida de la caja reductora. Estos multiplicadores vienen de 2:1 hasta 5:1.

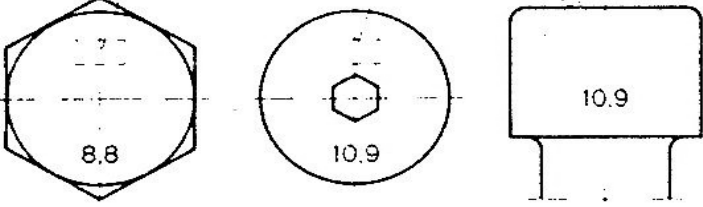
Los tornillos para el acople de motores deben cumplir con los siguientes requisitos: tornillo hexagonal M12, 50 mm de longitud DIN 931, ejecución m (ver tabla XVI) de acero, con propiedades de resistencia 5,6 (ver figura 36).

Figura 36. **Designación de tornillos**



Fuente: HUFNAGEL, W. *Manual del aluminio*. p. 669.

Tabla XVI. Designación de tornillos

Tipos de resistencia p. tornillos					Designación de los tipos de resistencia					
Símbolo de los tipos de resist.	Resist. a la trac.		Fluencia	Alargam.	Tornillo hexagonal y con hexagonal Interior desde 5 mm Ø con tipos de resistencia desde 6,6 Prisioneros desde 5 mm Ø con resistencia desde el tipo 8,8 tienen que designarse con el símbolo del tipo de resistencia y con el del fabricante Marca del fabric. Marca del fabric. Marca del fabric. 					
	antes	ahora								
4A	3,6	290	195	25	En vez del símbolo característico pueden emplearse los siguientes signos en caso de falta de sitio					
4D	4,6	390	235	25						
4S	4,8	390	315	14						
5D	5,6	490	295	20						
5S	5,8	490	390	10						
6D	6,6	590	355	16						
6S	6,8	590	470	8	Tipo de resistencia	5,6	8,8	10,9	12,9	14,9
6G	6,9	590	530	12	Signo					
8G	8,8	780	630	12	Color de la etiqueta en los paquetes de tornillos	hasta 5,6 se recomienda verde	rojo	azul	pardo	Amarillo
10K	10,9	980	885	9						
12K	12,9	1 180	1 060	8						
--	14,9	1 370	1 235	7						
1) La primera cifra da el 1/100 de la resistencia mínima a tracción en N/mm La segunda cifra da el décuplo de la relación entre fluencia mínima y resistencia mínima a la tracción (relación de límites de elasticidad) Ambas cifras multiplicadas entre sí dan 1/10 del límite de fluencia mínima en N/mm										
Ejecuciones m. mg. G.										
Superficie	m (media)		Mg (semibasta)		g (basta)					
	Profundidad de rugosidad R. en µm (máx.)									
Flancos rosca en tornillos y tuercas	25		25		40					
Núcleo de rosca en tornillos	25		25		40					
Superficie apoyo. Vástagos	25		25		40					
Bombeos y superficies de llaves	100		arbitraria		Arbitraria					
Núcleo de rosca en tuercas	arbitraria		arbitraria							
Diámetro exterior de rosca en tornillos	arbitraria		arbitraria							
Otras superficies	25		arbitraria							
Los tornillos con rosca a la izquierda desde M 5 tienen que señalarse con L					Para roscas talladas superiores a M 5: 40 µm					

Fuente: HUFNAGEL, W. *Manual del aluminio*. p. 677.

4.7. Cubierta del ventilador de los motores eléctricos

La cubierta del ventilador debe ser de fundición de hierro gris o de acero al carbón, con un espesor mínimo de 3,2 mm (1/8 pulg). Las aberturas para el paso del aire no deben permitir el paso de una barra de 19,1 mm (3/4 pulg) de diámetro.

4.8. Desensamblaje de motores eléctricos

Todos los motores eléctricos deben suministrarse con las preparaciones con cáncamo o anclas de izaje, de acuerdo al peso de cada motor. Con un polipasto, dependiendo el peso del motor debe desmontarse, utilizando para ello cadenas o manilas de diámetro de 1 pulg o 5/8 de pulg, transportándolos por medio de *trucks* para no dañar algún componente del motor.

4.9. Equipo contra incendios de motores eléctricos

La clasificación del incendio según Norma UNE 23010, de acuerdo a la categoría de su naturaleza para poder combatirlo y extinguirlo eficientemente es:

- Incendio Clase E: son incendios que involucran equipo eléctrico como origen del incendio o que mantengan presencia de electricidad. En algunos manuales se puede encontrar esta clasificación de fuego como clase C, pero no es válida pues siempre se trata de un incendio de clase A, B, C o D, pero con presencia de electricidad.

Métodos de extinción del incendio:

- Sofocación o eliminación del oxígeno: el proceso normal de la combustión, requiere una fuente de oxígeno para poder sostenerse. El proceso de sofocar o cubrir, extinguirá los incendios al separar el oxígeno de los otros elementos, la sofocación, generalmente es un método sencillo de extinción, para lo cual se utiliza un agente extinguidor de bióxido de carbono CO₂.
- Inhibición o interrupción de la reacción química en cadena: ciertas sustancias químicas, tienen la habilidad de interrumpir las reacciones necesarias para una combustión, cuando se considera este método de extinción, es importante recordar que únicamente la flama, es interrumpida. Si existe suficiente temperatura para continuar la producción de vapores del combustible, hay una posibilidad de que vuelva a arder después de que los agentes extintores se hayan ido o disipado. Estos agentes tienen poco efecto de sofocación y no afecta los residuos incandescentes. Los extintores más apropiados son polvos químicos secos ABC o BC.

5. MEDIO AMBIENTE

En este apartado se describirán las medidas de mitigación concerniente a las problemáticas de los motores eléctricos en las líneas de producción.

5.1. Problemática

A continuación se exponen los problemas que se manifiestan en los motores eléctricos.

5.1.1. Vibraciones de los motores eléctricos

Entre los principales problemas que se presentan en máquinas rotatorias, se tiene a las vibraciones. Por muchos años y en todo el mundo se han llevado a cabo estudios sobre cuáles son las causas que originan estas vibraciones y cuyos resultados se presentan de manera estadística para su aplicación en la industria, más específicamente, en los planes de mantenimiento.

Desde el punto de vista de la confiabilidad y disponibilidad de la maquinaria, así como de las funciones que debe cumplir y las condiciones medio ambientales, la vibración que puede llegar a generar en muchos casos, se considera peligrosa tanto para ella misma como para el entorno.

Mediante el empleo de instrumentos apropiados, el nivel de peligrosidad puede ser cuantificado, de acuerdo a los niveles (amplitud) de vibración que la máquina genere y calificado de acuerdo a la amplitud y tiempo (patrón). Estos

instrumentos permiten determinar y separar los diferentes tipos de problemas que se pueden identificar en la maquinaria de acuerdo a los componentes (amplitud-tiempo) que tenga.

Entre los diferentes tipos de problemas se pueden mencionar: desalineamiento, desbalance de masa, soldaduras mecánicas, insuficiente rigidez, desgaste en rodamientos, problemas de origen electromecánico en motores eléctricos, desgaste/soldadura en bandas de transmisión, resonancia, desgaste en engranajes, problemas de montaje, excentricidad de rotores, turbulencia en flujo, flexión en ejes, entre otros.

Especial atención merece el problema de rigidez, porque puede ser eliminado por el personal de planta. Por otro lado, en cada planta se deben analizar las causas de fallas de las máquinas en el pasado y estar seguro de estar preparado para poder manejar esas situaciones en el futuro.

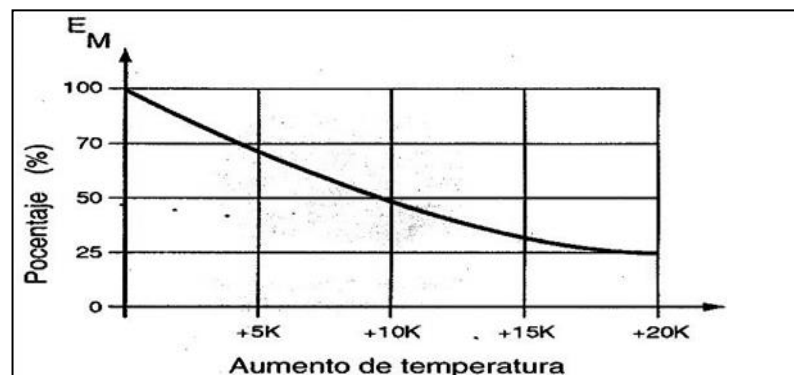
El personal de planta debe conocer esta información (los resultados estadísticos) y además contar entre las máquinas a cargo, algunas de las mencionadas como objeto de estudio. Los problemas de vibración deben ser determinados, ya sea subjetivamente o mediante el empleo de un medidor de vibraciones; pensar también, en cómo incrementar la rigidez de las bases y/o fundamentos, cuáles son las fuentes que pueden estar desbalanceando los rotores y principalmente si los acoples y bandas no están cumpliendo con su tiempo de vida o, finalmente si su consumo de energía eléctrica es demasiado alta.

5.1.2. Temperatura de los motores eléctricos

La principal causa de falla de un motor es calor excesivo, el cual es causado por: corriente excesiva (corriente superior a la corriente a plena carga normal del motor), alta temperatura ambiente y ventilación deficiente del motor. En general, un dispositivo protector de motor por sí solo no puede proteger el motor contra el calor excesivo generado por estas tres causas.

Las corrientes superiores a la corriente a plena carga normal del motor pueden ser causadas por cargas de alta inercia, tales como: transportadores cargados, condiciones de rotor bloqueado, bajo voltaje, falla de fase y desbalance de fase. La figura 37 muestra la vida reducida de un motor a diversos niveles de sobret temperatura. Si un motor se sobrecalienta continuamente a un nivel de sólo diez (10) grados, su vida útil puede reducirse en hasta 50%.

Figura 37. Reducción de la vida media de un motor, E_M , cuando el bobinado se sobrecalienta continuamente



Fuente: BRADLEY, Allen. *Dispositivos de estado sólido para protección de motores A-B*. p. 4.

5.1.3. Sobrecorrientes de motores eléctricos

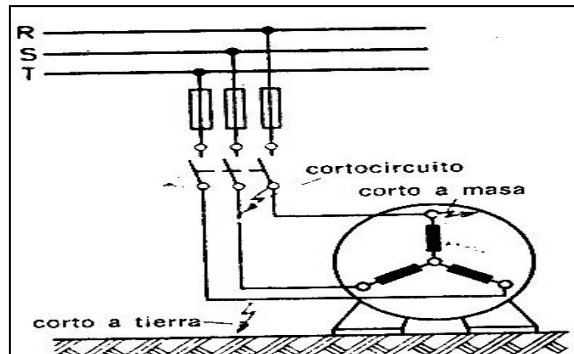
Generalmente, las partes de elementos o aparatos eléctricos que están sometidas a tensión, están totalmente aisladas o cubiertas por el aislamiento correspondiente; por tanto, no es posible un contacto accidental de personas con partes bajo tensión. Sin embargo, en caso de defectos en dicho aislamiento, la envolvente metálica del elemento puede quedar sometida a una cierta tensión respecto a tierra.

La tensión que se puede originar entre la envolvente del elemento o aparato de servicio y el suelo, supuesto conductor, se llama tensión de contacto. Para las personas una tensión de contacto superior a 65 V, resulta peligrosa. La posible presencia de tensiones de contacto peligrosas, se limita por medio de una cuidadosa fabricación de los elementos de servicio y, especialmente empleando materiales aislantes adecuados y de una correcta realización de la instalaciones eléctricas.

Clase de defectos: en una instalación eléctrica se pueden producir, debido a defectos de aislamiento: cortos a masa, cortocircuitos o cortos a tierra.

- El cortocircuito a masa: es una unión conductora, debida a un defecto de aislamiento, entre la masa o cuerpo y las partes activas de un aparato eléctrico (figura 38). es un defecto de aislamiento entre conductores que, en servicio, están sometidos entre sí.
- El cortocircuito a tierra: es una unión conductora, debida a un defecto de aislamiento entre un conductor de línea o un neutro, normalmente aislado y tierra o partes puestas a tierra. El cortocircuito a tierra puede presentarse también en forma de arco eléctrico.

Figura 38. **Clases de defectos**



Fuente: SCHIEF, Alfred. *Principios de electrotecnia*. p. 363.

En un cortocircuito a masa, cortocircuito o cortocircuito a tierra pleno, la resistencia de la unión conductora en el lugar del defecto, es prácticamente nula. En tal caso, se dice que el corto es franco. Si el corto es franco, circula una corriente muy elevada, que inmediatamente provoca el disparo de los órganos de protección contra sobrecorrientes situados antes de dicho defecto. En cambio, si el corto no es pleno pueden circular en determinadas condiciones, corrientes incapaces de provocar la actuación de tales órganos de protección contra sobrecorrientes; tales cortos son casi siempre peligrosos, al no ser detectados y pueden dar lugar a incendios.

5.1.4. **Ruido de motores eléctricos**

Los altos niveles de ruido en las fábricas embotelladoras, debido a; motores, bombas, cadenas transportadoras, golpes de envases, ventiladores, etc., pueden llegar arriba de los 100 dB y ser la causa de esfuerzo y fatiga, haciendo la comunicación verbal bastante difícil y a veces imposible, los operadores son a menudo incapaces de dar instrucciones simples a sus

trabajadores en ambientes muy ruidosos, o lo que es peor, incapaces de oír advertencias de seguridad de sus colaboradores.

Toda máquina giratoria, como: ejes de turbinas, bombas, bandas, motores, compresores, presentan riesgo de seguridad cuando existen ruidos excesivos, deben protegerse los oídos, ya que el ruido es un irritante y oscila entre 90 y 140 dB. Es en estas áreas donde se requiere protección para los oídos, dependiendo del lugar y de su intensidad, para utilizar o escoger la protección necesaria dentro de una gran gama de artículos existentes entre los que se tienen: tapones, tapaoídos, entre otros. Los rodamientos, también actúan como una fuente de ruido y vibración, debido tanto a la variación de compliancia como a la presencia de defectos en ellos, aun cuando éstos sean geoméricamente perfectos.

Cómo puede afectar el ruido:

- Mucha exposición a ruidos altos puede resultar en las personas estrés, por la constante presión de escuchar y ser escuchado.
- Que se pierdan importantes instrucciones de seguridad.
- La exposición prolongada a ruidos altos puede provocar pérdida permanente de la audición.
- Aun con exposiciones a ruidos altos por corto tiempo se puede tener una posible pérdida temporal de la audición.
- Perjudica la productividad al disminuir la eficiencia en las labores.

5.2. Medidas de mitigación

A continuación se presentan las medidas para reducir o eliminar riesgos a largo plazo para la vida humana y los bienes materiales.

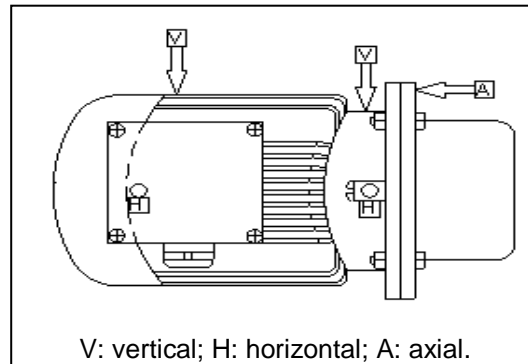
5.2.1. Análisis de vibraciones de motores eléctricos

Esta técnica del mantenimiento predictivo se basa en la detección de fallos en equipos rotativos principalmente, a través del estudio de los niveles de vibración. El objetivo final es obtener la representación del espectro de las vibraciones de un equipo para su posterior análisis.

Para aplicarla de forma efectiva y obtener conclusiones representativas y válidas, es necesario conocer determinados datos de la máquina como: el tipo de cojinetes, de correas, número de alabes o de palas, etc., y elegir los puntos adecuados de medida. También es necesario seleccionar el analizador más adecuado a los equipos existentes en la planta.

- Técnica para medición de vibraciones:
 - Medición de la amplitud de la vibración: da un valor global del desplazamiento, velocidad o aceleración de la vibración. Cuando la vibración sobrepasa el valor preestablecido, el equipo debe ser revisado. Únicamente informa de que hay un problema en el equipo, sin poderse determinar por esta técnica dónde está el problema.
 - Puntos de medición: en los descansos, es decir, en aquellos puntos en los que la máquina se apoya. En el caso de motores eléctricos es importante medir en los rodamientos o cojinetes, ver figura 39.

Figura 39. **Puntos de medición de vibraciones**



Fuente: elaboración propia.

Es importante realizar la medida en los tres ejes del espacio: en las direcciones radiales (horizontal y vertical) y en la dirección axial.

- Normas de severidad

Una guía de referencia, para distinguir entre lo que puede entenderse como un funcionamiento normal o admisible de la máquina y un nivel de alerta, lo constituyen los valores tomados del manual VITEC, en el modo de prueba de cojinetes, para cojinetes en servicio bueno de 0,5 a 1,0 G's, los valores absolutos de un determinado tamaño y tipo de rodamiento en una máquina específica, se puede determinar con un registro histórico preciso de los valores de prueba de cojinete de las vibraciones, hasta que se realiza una inspección.

Las principales causas de vibración en una máquina eléctrica son:

- La respuesta del núcleo del estator a la fuerza atractiva desarrollada entre el rotor y estator.

- La reacción de los devanados terminales del estator a las fuerzas electromagnéticas sobre los conductores.
- El comportamiento dinámico del rotor.
- La respuesta de los rodamientos del eje a la vibración transmitida desde el rotor.

5.2.2. Termografía de motores eléctricos

La termografía infrarroja es la técnica de producir una imagen visible a partir de radiación infrarroja invisible (para el ojo humano), emitida por objetos de acuerdo a su temperatura superficial. La cámara termográfica es la herramienta que realiza esta transformación.

Estas cámaras miden la temperatura de cualquier objeto o superficie, y producen una imagen con colores que refleja la distribución de temperaturas. La imagen producida por una cámara infrarroja es llamada termografía o termograma.

Esta técnica, de haber sido asociada a costosas aplicaciones militares y científicas, se ha convertido en una técnica común y con una gran cantidad de aplicaciones industriales. A través de imágenes térmicas es posible observar el escape de energía de una tubería o edificio, detectar e impedir el fallo de un circuito eléctrico o de un rodamiento.

El monitoreo térmico se lleva a cabo con la finalidad de obtener un mapa de temperaturas del motor, detectar los puntos máximos de temperatura y determinar las posibles causas.

En general, un fallo electromecánico antes de producirse, se manifiesta generando e intercambiando calor, este calor se traduce habitualmente en una elevación de temperatura que puede ser súbita, pero, por lo general y dependiendo del objeto, la temperatura comienza a manifestar pequeñas variaciones.

Si es posible detectar, comparar y determinar dicha variación, entonces se pueden detectar fallos que comienzan a gestarse y que pueden producir en el futuro cercano o a mediano plazo una parada de planta y/o un siniestro, afectando personas e instalaciones. Esto permite la reducción de los tiempos de parada al minimizar la probabilidad de paradas imprevistas, no programadas, gracias a su aporte en cuanto a la planificación de las reparaciones y del mantenimiento.

La inspección termográfica en sistemas eléctricos tiene como objetivo detectar componentes defectuosos, basándose en la elevación de la temperatura como consecuencia de un aumento anormal de su resistencia óhmica. Entre las causas que originan estos defectos, entre otras, pueden mencionarse:

- Posicionamiento de componentes y fallos en circuitos eléctricos
- Conexiones afectadas por corrosión
- Suciedad en conexiones y/o en contactos
- Degradación de los materiales aislantes

Todo equipo y/o elemento emite energía desde su superficie. Ésta se da en forma de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz a través del aire o por cualquier otro medio de conducción.

La cantidad de energía está en relación directa con su temperatura. Cuanto más caliente está el objeto, mayor cantidad de energía emite, y menor longitud de onda tiene esa energía. En general, esa emisión se hace en longitudes de onda mayor que la correspondiente al color rojo, es la mayor que es capaz de captar el ojo humano. El espectro de emisión, es pues, infrarrojo y por tanto invisible. La cámara termográfica permite ver esa energía, transformándola en imágenes visibles.

Guía de actuación: como primera aproximación, pueden tomarse como referencia las siguientes variaciones sobre la temperatura habitual, a fin de determinar un programa de reparación:

- Hasta 20 °C: indica problemas, pero la reparación no es urgente. Se puede efectuar en paradas programadas.
- 20 °C a 40 °C: indica que la reparación requerida es urgente dentro de los 30 días.
- 40 °C y más: indica una condición de emergencia. La reparación se debe realizar de inmediato.

Es importante indicar que en la termografía, como en casi todas las técnicas predictivas, tan importante como el valor puntual, es la evolución del valor. Una única medición no tiene por qué ser indicativa de que exista un problema, y en cambio, el aumento de temperatura sobre lo que se midió en otras ocasiones, en las mismas condiciones es lo que indica que se está gestando un problema que requerirá de solución. Por tanto, para poder determinar por termografía la existencia de un problema en la mayor parte de las ocasiones tiene que haber constancia de una evolución negativa de una temperatura medida anteriormente en condiciones similares.

5.2.3. Sistema de puesta a tierra de motores eléctricos

Uno de los aspectos principales para la protección contra sobretensiones en las plantas, es el de disponer de una red de tierra adecuada, a la cual se conectan los neutros de los motores, los cables de guarda, las estructura metálicas, los tanques y todas aquellas partes metálicas que deben estar a potencial de tierra.

La necesidad de contar con una red de tierra en las plantas, es la de cumplir con las siguientes funciones:

- Limitar las sobretensiones por descargas atmosféricas, corrientes parásitas o tensión por inducción en el caso de motores eléctricos.
- Proporcionar un circuito de muy baja impedancia para la circulación de las corrientes de tierra, sin exceder los límites de operación de los equipos.
- Evitar que durante la circulación de estas corrientes de tierra en condiciones de cortocircuito puedan producirse diferencias de potencial entre distintos puntos de la planta, lo que significa un peligro para el personal.
- Dar mayor confiabilidad y continuidad al servicio de los motores.

Sistema de triángulo equilátero con varilla y cable: consta de tres pozos cuadrados de 1 m³ con una mezcla de carbón y bentonita, en el cual se entierran varillas aceradas revestidas de cobre de 5/8 de pulg por 8 pies de longitud en posición vertical, las cuales se deben de colocar a 3 m de distancia entre cada una formando un triángulo equilátero.

Los elementos de red de tierra: conductores, conectores, conectores atornillados y conectores soldados:

- Conductores: los que se utilizan en la red de tierra, son de cable de cobre de calibre de 2/0 a 1/0 AWG, dependiendo del sistema que se utilice. Se escogen estos calibres en cobre por razones mecánicas, ya que eléctricamente pueden usarse cables de cobre del número 2 AWG.
- Conectores: son elementos que sirven para unir a la red de tierra los electrodos profundos, las estructuras, los neutros de los motores, etc.
- Conectores atornillados: se fabrican con bronces de alto contenido de cobre, formando dos piezas que se unen por medio de tornillos, cuyo material está formado por bronce al silicio que proporciona alta resistencia mecánica y a la corrosión.

El uso de bronce, que es un material no magnético, proporciona una conducción segura para las descargas atmosféricas que son de alta frecuencia.

- Conectores soldados (*cadweld*): requieren moldes de grafito de diferentes calibres, en donde por medio de la combustión de cargas especiales, que producen temperaturas muy altas se funden las puntas terminales que se van a soldar, provocando una unión que soporta la temperatura de fusión del conductor. Estos conectores son económicos y seguros, por lo que se usan con mucha frecuencia.

5.2.4. Protecciones audibles del personal operario y de mantenimiento

La razón más común por la cual los empleados no usan protección en los oídos, es porque ellos piensan que no la necesitan. Esto es una verdad

peligrosa debido a que la pérdida de la audición es gradual y, cuando se dan cuenta, la habilidad de oír no es tan buena como antes. Esto puede ser muy tarde. Otra razón que dan las personas para no usar protección en los oídos, es que dicha protección es incómoda.

Los dispositivos protectores de los oídos (*HPD*, por sus siglas en inglés), tales como: orejeras o tapones, pueden resultar efectivos en entornos laborales ruidosos. Sin embargo, los dispositivos protectores de los oídos solamente son eficaces si su tamaño y forma se adaptan bien a los oídos del usuario. Las dos categorías comunes de *HPD* son los tapones y las orejeras.

Los siguientes son varios tipos de tapones para los oídos que dan buena protección, son cómodos y fáciles de usar:

- Tapones moldeados: son tapones hechos de material flexible y suave que se ajustan al oído, tienen que tener el tamaño correcto para cada uno. Éstos están diseñados para usarse varias veces y deben lavarse después de cada postura o uso. Son ideales para cuando la protección en los oídos se requiere regularmente.

Los tapones preformados vienen a menudo con un pequeño manguito de plástico en el extremo exterior. Este tipo de tapón permite la inserción y extracción del tapón sin tocar la parte que penetra en el oído.

- Protectores auriculares: son de banda ajustable a la cabeza, con dos copas de almohadillas que sellan alrededor del oído. Los tapones se pueden usar debajo de las almohadillas para mayor protección. Las almohadillas en forma de copa, son más cómodas de usar en períodos largos que los tapones, pero no deben usarse con lentes o cualquier otra

obstrucción que reduzca su efectividad. Si hace calor y hay humedad los trabajadores suelen preferir los tapones de oídos (que son menos eficaces), porque las orejeras hacen sudar y estar incómodo.

Para que las orejeras se ajusten bien:

- Ajustar la banda de la cabeza de modo que se acomode bien y que las almohadillas ejerzan presión uniforme alrededor de los oídos.
- No permitir que las almohadillas atrapen el cabello o, de lo contrario, no se producirá un ajuste hermético.
- Las orejeras deben cubrir los oídos completamente.

La posibilidad de infección a causa de las orejeras de oídos es inferior a la de los tapones; sin embargo, las almohadillas de las orejeras deben limpiarse o lavarse con regularidad.

- Tapones cilíndricos: los tapones son esponjosos, suavemente ajustables o moldeables antes de introducirlos; expandibles para dar mejor ajuste. Estos tapones son desechables y no se pueden usar nuevamente.

Para que el tapón de espuma adopte la forma óptima:

- Con las manos limpias, presionar y comprimir el tapón hasta convertirlo en un cilindro muy fino.
- Con una mano, jalar ligeramente la parte superior del oído hacia arriba y hacia afuera, mientras que, con la otra mano, se introduce un tapón en el canal auditivo.
- Una vez colocados, sujetar los tapones con la yema de un dedo durante unos momentos para asegurarse de que el tapón se

expanda en el canal auditivo sin que se salga del oído. En un entorno ruidoso, deberá notarse la reducción del nivel de sonido percibido a medida que se expande el tapón.

- Hacer que un compañero revise visualmente el tapón.


Si la mitad o una parte mayor del tapón sobresale del canal auditivo, no se ha producido una buena adaptación y este no proporcionará la protección adecuada.

Es preciso que las manos estén limpias antes de comprimir los tapones de espuma, de ser factible, se deberán tirar a la basura los tapones desechables después de un sólo uso. Si se vuelven a usar, los tapones deberán lavarse en agua caliente y jabón y dejar que se sequen completamente antes de volverse a usar.

6. IMPLEMENTACIÓN DEL MEJORAMIENTO DEL MANUAL DE MANTENIMIENTO

La etapa de implementación del plan es descrita en este capítulo. Esta fase es de suma importancia, por lo que, se tratará la forma y periodicidad de la obtención de los datos.

Tabla XVII. Ficha de toma de vibraciones de motores trifásicos



**INDUSTRIAS
LICORERAS
DE GUATEMALA**

ÁREA DE MANUFACTURA: Centro de Producción
Proceso: Mantenimiento

Mar05-Versión 01

MANTENIMIENTO DE MOTORES ELÉCTRICOS

Categoría:
(crítico, no críticos, importantes)

INSTRUCCIONES:

1. Marcar con una X o con los datos, las actividades realizadas o con un guión las actividades que no se realizaron
2. Después de realizar las rutinas de inspección, éstas deben ser chequeadas por el supervisor de mantenimiento o el jefe de Mantenimiento
3. Cada vez que se realice dichas inspecciones, deben de archivarse en el file respectivo para cada unidad
4. Cada vez que se realice una rutina de mantenimiento utilizar la hoja de rutinas de mantenimiento, como guía de las actividades a realizar

No.	UBICACIÓN	CÓDIGO	Capacidad	VELOCIDAD DE OPERACIÓN (RPM)	FECHA:			VIBRACIÓN			RECOMENDACIONES						
					ESTADO			VENTILADOR				CARGA					
					REVISIÓN BORNERA	TEMPERATURA		V	H	A		V	H	A			
1																	
2																	
N																	

OBSERVACIONES

V* = vertical, H* = horizontal, A* = axial

Nombre y Firma
Persona que Ejecutó la Rutina

Nombre y Firma
Supervisado

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. Ficha de toma de lectura de desbalance resistivo

MaR05-Versión 01

ÁREA DE MANUFACTURA: Centro de Producción
Proceso: Mantenimiento



Centro Productivo: Nahuatate

MANTENIMIENTO DE MOTORES ELÉCTRICOS

INSTRUCCIONES:

1. Marcar con una X o con los datos, las actividades realizadas o con un guión las actividades que no se realizaron
2. Después de realizar las rutinas de inspección, éstas deben ser chequeadas por el Supervisor de mantenimiento o el Jefe de Mantenimiento
3. Cada vez que se realice dichas inspecciones, deben de archivar en el file respectivo para cada unidad
4. Cada vez que se realice una rutina de mantenimiento utilizar la hoja de rutinas de mantenimiento, como guía de las actividades a realizar

Categoría:

(crítico, no críticos, importantes)

No.	UBICACIÓN	CÓDIGO	Capacidad	LECTURA DE RESISTENCIAS			GUARDA MOTOR		RECOMENDACIONES
				A	B	C	Verificación de amperaje de disparo	Revisión de guarda motor	
				(L1 - L2)	(L2 - L3)	(L1 - L3)			
1									
2									
N									

OBSERVACIONES

*El cálculo del desbalance resistivo debe ser menor a un 5%

Nombre y Firma
Persona que Ejecutó la Rutina

Nombre y Firma
Supervisado

Fuente: elaboración propia.

7. SEGUIMIENTO DEL MEJORAMIENTO DEL MANUAL DE MANTENIMIENTO

El seguimiento del plan propuesto es una etapa de gran importancia, debido a la retroalimentación del análisis de fallas en lo que respecta a los objetivos planteados.

7.1. Orden general en la toma de medidas de vibración

La información incluida en el inciso 7.1 y subincisos, se extrajo del manual del Dispositivo Analizador de Vibraciones Modelo 653A VITEC, el cual está diseñado para cumplir con todas las funciones de lectura de vibraciones.

Es comúnmente aceptado que los rodamientos defectuosos (incluyen sólo rodamientos tipo antifricción de bolas, rodillos, rodillos cónicos, etc.) y engranajes, generan una señal alta de frecuencia de vibración. El modo de prueba de cojinetes del modelos 636A, permite medir estos componentes de alta frecuencia de vibración.

7.1.1. Importancia

El medidor de vibraciones VITEC modelo 652A es un instrumento portátil pensado para el propósito general de mediciones de vibración. La unidad está idealmente preparada para funcionar, comprobando productos en-planta, arranque de maquinaria y caja, y en los programas de mantenimiento preventivo.

Los valores tomados en el modo de prueba de cojinetes, pueden ser utilizados como una estimación aproximada de la condición que lleven. Los cuales se presentan en términos de la magnitud de vibración y su cambio a través del tiempo, estando relacionados con el monitoreo de operación rutinaria y utilizado como un indicador para evaluar la condición del rodamiento para futuras lecturas.

7.1.2. Toma de lecturas de vibración

El modelo 652A responde a unidades de vibración de desplazamiento (mils), velocidad (pulg/segundo), y aceleración (G's). El medidor usado con su asociado acelerómetro de alto rendimiento es capaz de tomar las medidas de vibración exactas arriba de un rango de frecuencia de 300 CPM a 60 000 CPM (ciclos por minuto).

El modo de desplazamiento de medición, es enteramente inefectivo en la detección de problemas de rodamientos. El modo de velocidad indica una diferencia relativa entre un rodamiento bueno y malo, pero no una diferencia significativa. El modo de prueba de cojinete; sin embargo, presenta lecturas de rodamientos defectuosos de hasta 40 veces más grande que lecturas tomadas en rodamientos buenos.

Las medidas de vibración deben ser tomadas cuando la máquina haya alcanzado y mantenido su temperatura normal de operación y esté operando bajo condiciones específicas, como la velocidad, carga, voltaje, etc.

Si las vibraciones superan los límites admisibles, la máquina debe ser, definitivamente, inspeccionada por la causa del problema.

El mejor punto para muchas máquinas para medir las vibraciones, es en la carcasa del cojinete, o en un apoyo o estructura asociado cercano (ver figura 39). Esto constituye la existencia de una dirección vertical, horizontal y axial.

La instrumentación deberá operar satisfactoriamente en las condiciones del ambiente en el cuál será usado, temperatura, humedad, etc. La medición de vibración en el modo de aceleración en la cresta, resulta en detección del índice de cambio de velocidad, o cuán rápido una superficie está acelerando con respecto a una referencia fija. La aceleración es medida en términos de pico de aceleración o G's. un $G = 386 \text{ pulg/s}^2$.

El modo de aceleración de mediciones, es especialmente efectivo en detecciones de pequeños desplazamientos, vibraciones de alta frecuencia como se produciría por los cojinetes antifricción, engranajes, etc. Por ejemplo, un desplazamiento muy pequeño de 0,01 mils (0,00001") ocurriendo a 60 000 CPM, produce una señal de aceleración de 0,51 G's. Obviamente una señal de 0,00001" es difícil de medir, pero una señal de 0,51 G sería muy fácil medir.

El conector debe sostenerse perpendicular al eje giratorio de la máquina para obtener los datos, aplicando bastante presión a la sonda de lápiz o conector para mantener el contacto sólido con la máquina y prevenir a dicha sonda de golpeteos.

Para estimar la severidad de la vibración, se considera los cambios en la magnitud con respecto a una tendencia o historial, independientemente si estos valores indican incremento o decremento de la vibración.

La vibración máxima en el rodamiento o soporte de la estructura de la máquina, se define como la severidad de vibración (capítulo 2, inciso 2.5). Estos

rangos de evaluación son utilizados para permitir una evaluación cualitativa de la vibración obtenida de una máquina y provee lineamientos para las posibles acciones a seguir.

Un cambio en la magnitud de la vibración con respecto a una referencia preestablecida, debe ser tomado como un indicativo de que se necesita realizar una acción, como si se tratara de un valor situado arriba de 1,0 G's o apenas aceptable, aunque este valor de la vibración no haya alcanzado este nivel.

Tener cuidado en la toma de las lecturas sucesivas o futuras, para tendencias o comparaciones de la misma posición exacta en la máquina. Lecturas tomadas de diferentes puntos en la máquina medida no pueden usarse para los cambios de medición en los niveles de vibración.

7.2. Procedimiento empleado

En esta sección, se da información de las etapas que se desarrollaron para obtener el banco de datos de las medidas de vibración. Estableciendo un orden de las actividades para realizar las tomas de medidas de vibración, con el objetivo de seguir un mismo proceso de análisis.

7.2.1. Establecimiento de la ficha para el registro de medidas

El primer paso consistió en determinar qué información se necesita coleccionar, y a partir de esto, establecer el formato en el cual se pueda anotar los datos que se fueron obteniendo durante la fase de toma de medidas de vibración.

La información que se necesita conocer para realizar el análisis de cada una de las máquinas es: la ubicación de la máquina, código, capacidad en HP, velocidad de operación, fecha de la toma de medidas, revisión bornera, temperatura, diagrama de la máquina para señalar los puntos de medida, cuadro con 5 columnas para anotar la orientación, magnitud de la vibración y lado del motor donde es tomada la medida.

Como resultado, se estableció una ficha para anotar la toma de medidas en el sitio de operación de la máquina (capítulo 6, inciso 6.1).

7.2.2. Toma de medidas de vibración

Establecida la ficha de toma de medidas, se llevo a cabo la recolección de los datos de vibración en los motores eléctricos.

La frecuencia de tomas de vibraciones para los motores catalogados como críticos, se estableció un período de 4 meses entre toma y toma, para los motores catalogados como importantes cada 6 meses y para los motores no críticos cada 2 años.

Para la toma de medidas de vibraciones, se empleo el equipo portátil marca VITEC, modelo 653A, con sensor de aceleración de alta sensibilidad proporcionando mediciones muy exactas arriba de un rango amplio de mediciones de frecuencia, (300 a 60 000 CPM).

En primer lugar, se colocó el sensor de vibración en cada uno de los puntos establecidos, desplegando los valores en la pantalla LCD (pantalla de cristal líquido) de dicho equipo, anotando estos valores en la ficha.

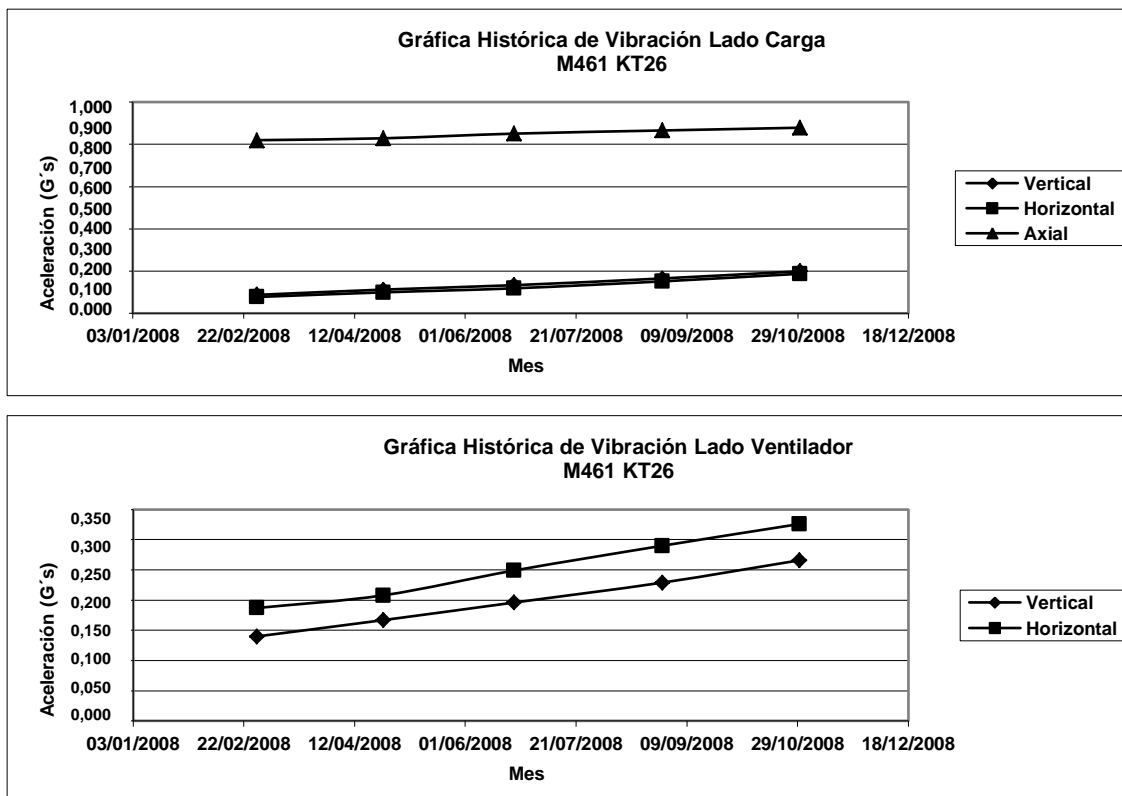
7.3. Medidas de vibración obtenidas

Siguiendo con el orden de trabajo, se obtuvo los datos de vibración de las máquinas seleccionadas. Los cuales fueron representados en gráficas para su mejor visualización.

7.3.1. Datos obtenidos de la rutina en los motores

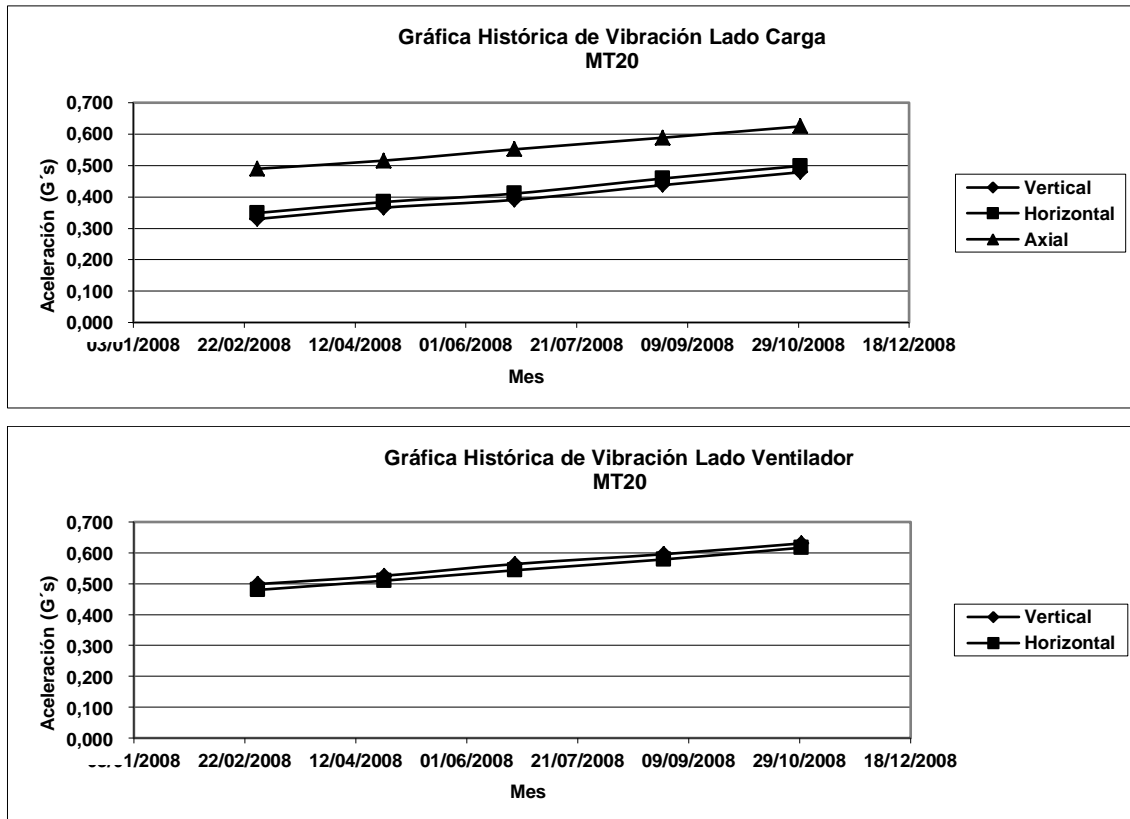
A continuación se presentan las gráficas tiempo versus aceleración:

Figura 40. **Transportador de cajas de empacadora a paletizadora L1 Krones**



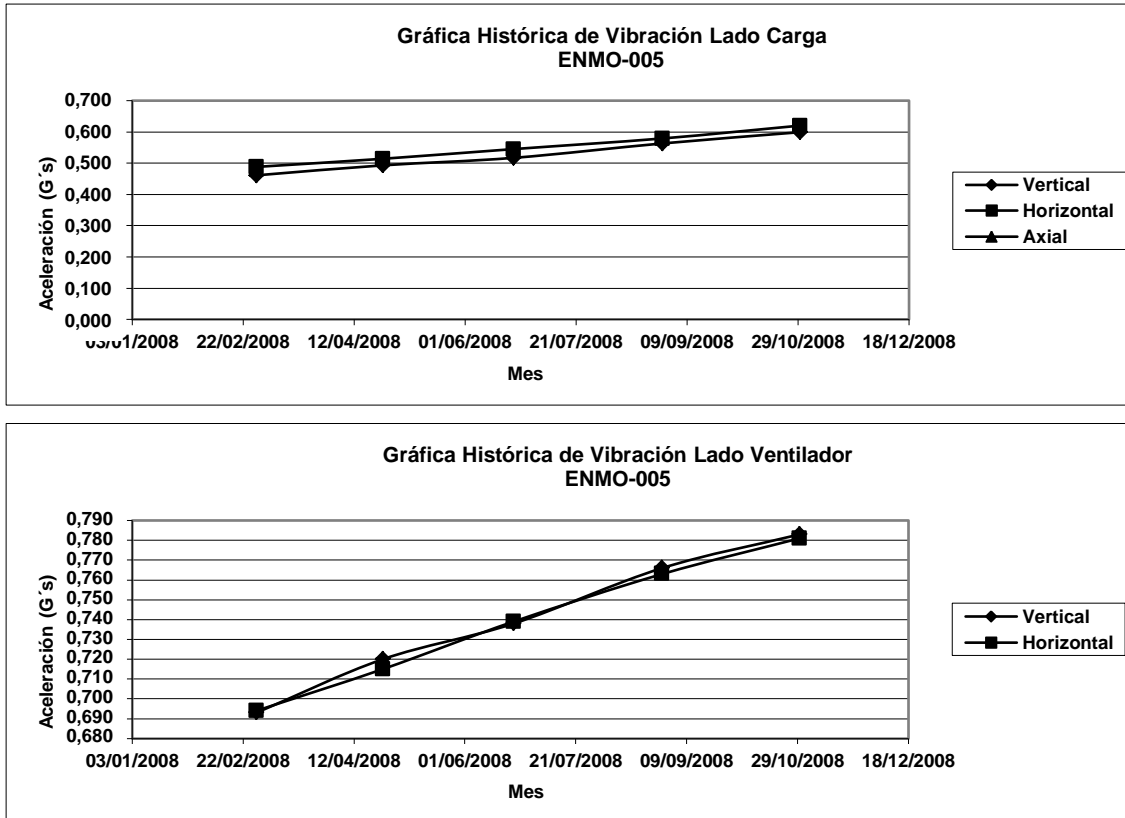
Fuente: elaboración propia.

Figura 41. Transportador de envase lavadora San Martín línea 1 Krones



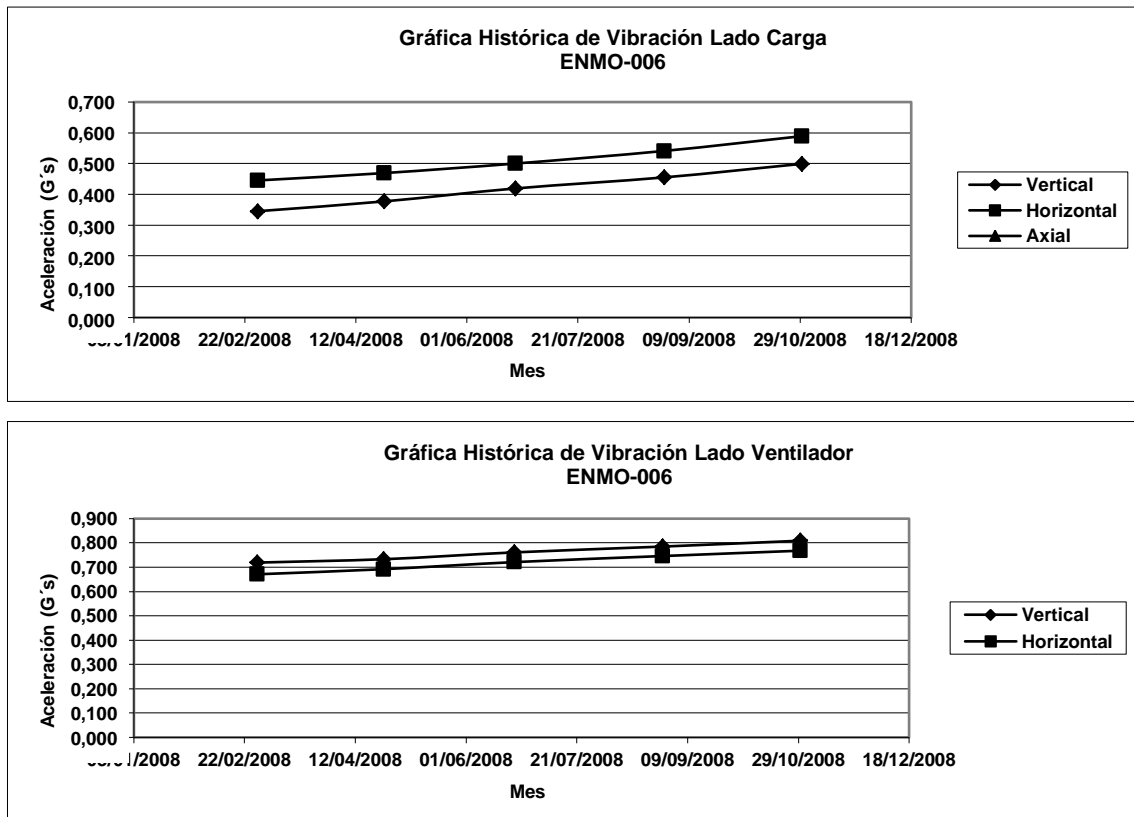
Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Bomba agua tanque 3 lavadora de envase San Martín línea 1
Krones**



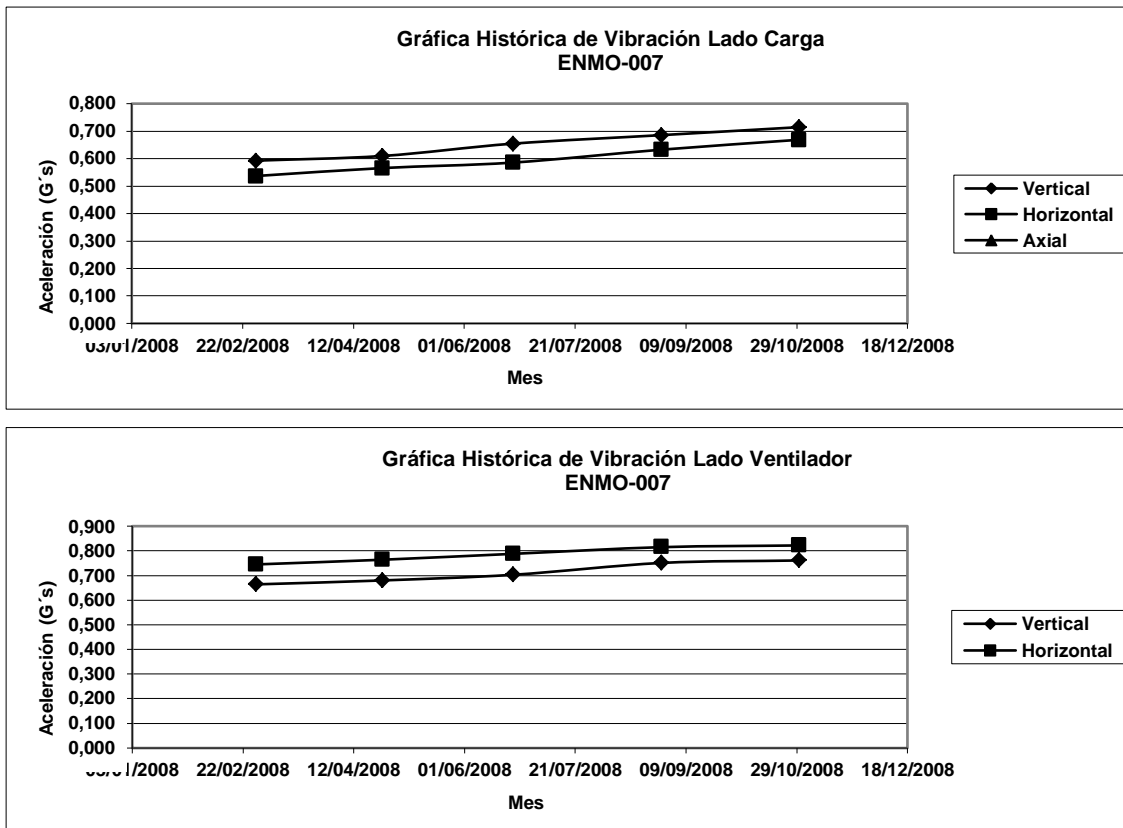
Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **Bomba bandeja 1 lavadora de envase San Martín línea 1
Krones**



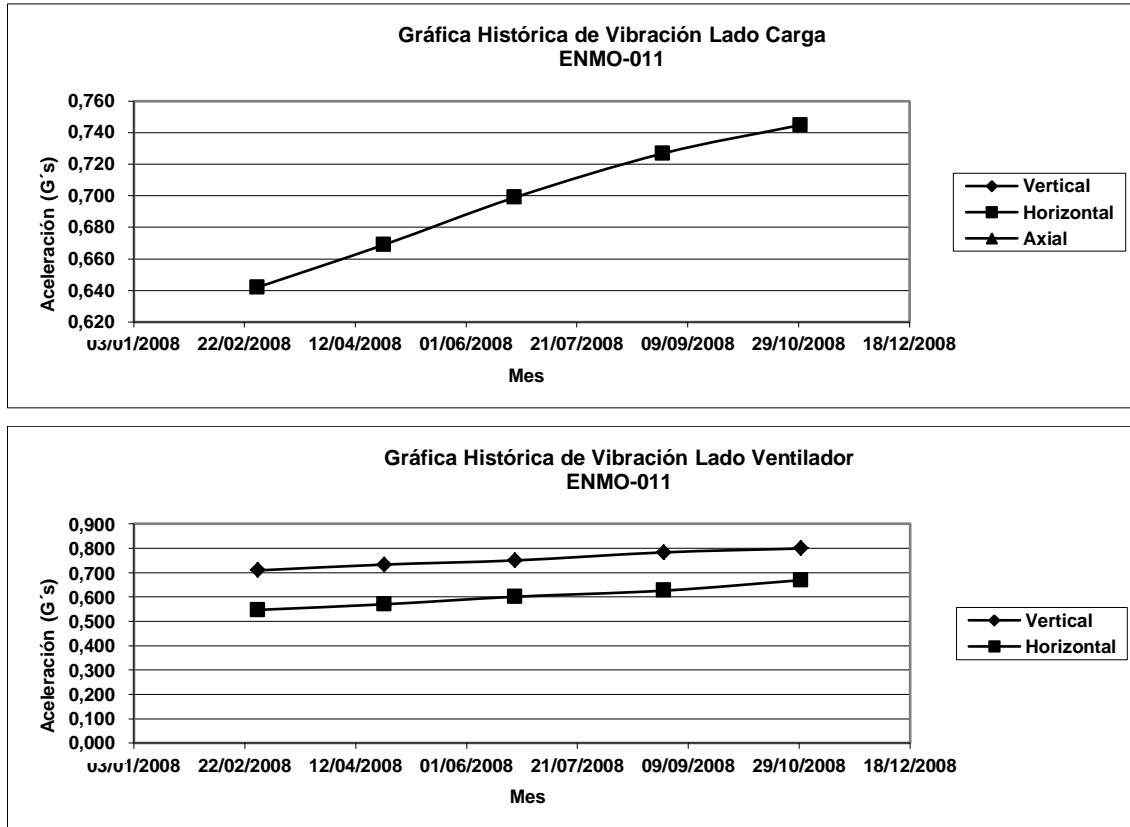
Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Bomba bandeja 2 lavadora de envase San Martín línea 1
Krones**



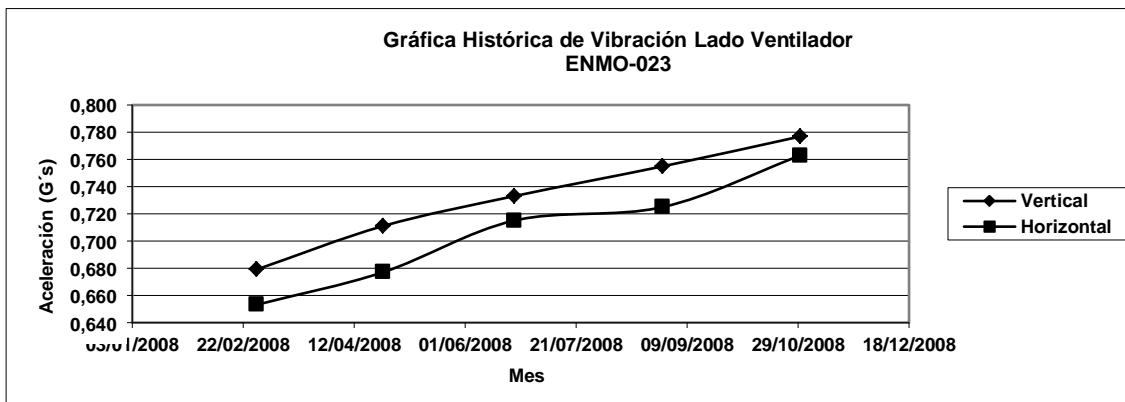
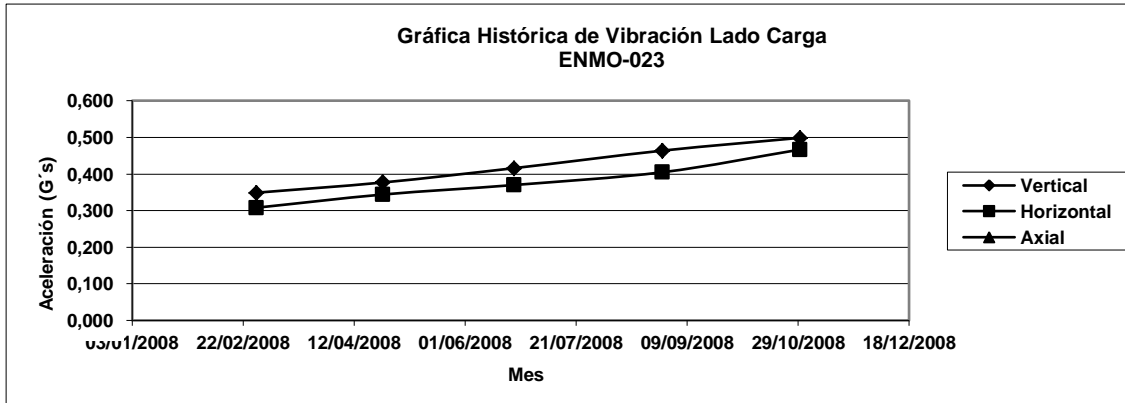
Fuente: elaboración propia.

Figura 45. Vibrador de casquete bloc línea 1 Krones



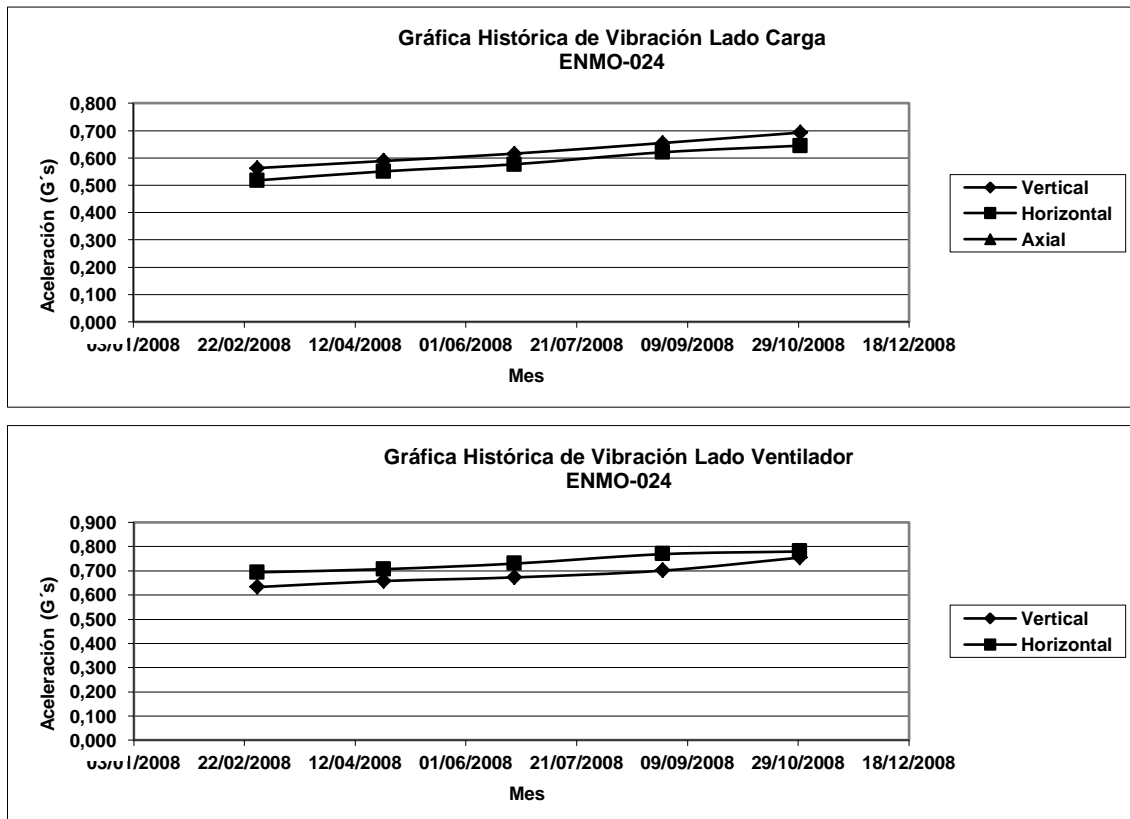
Fuente: elaboración propia.

Figura 46. Turbina tanque 1 lavadora de envase San Martín línea 1
Krones



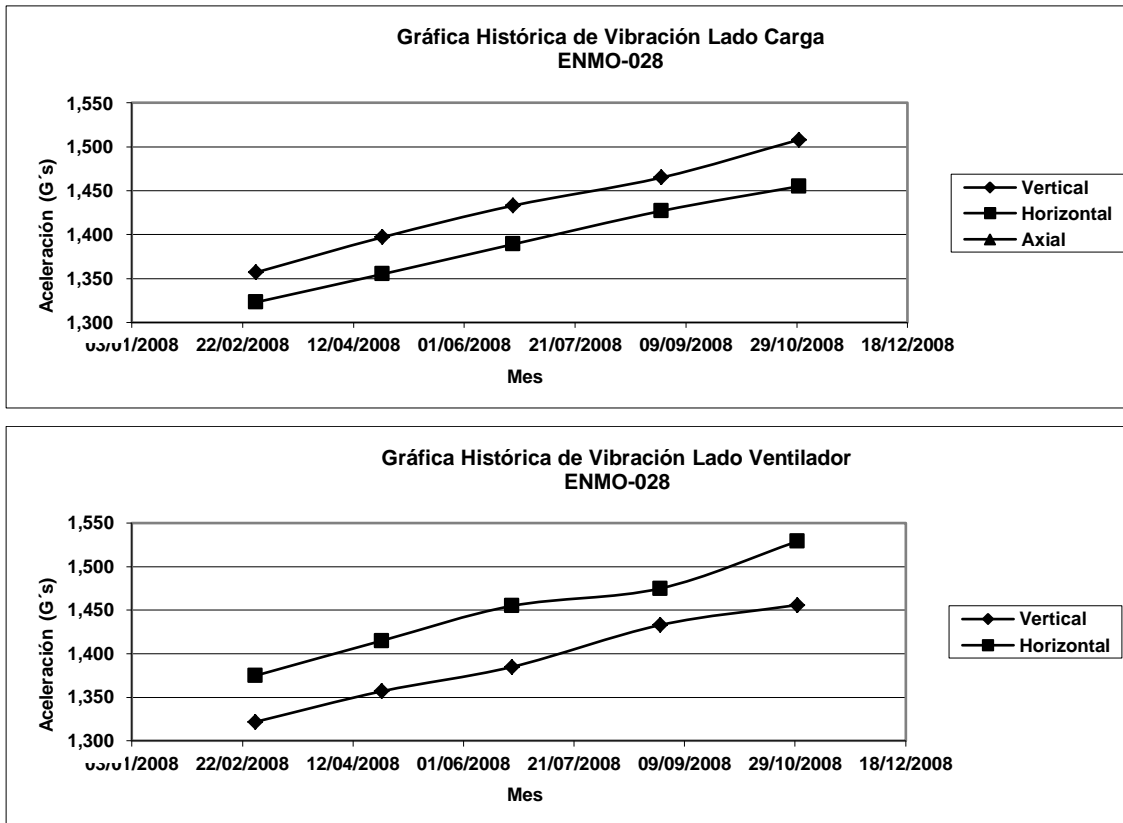
Fuente: elaboración propia.

Figura 47. Turbina tanque 2 lavadora de envase San Martín línea 1
Krones



Fuente: elaboración propia.

Figura 48. Cepillo tanque 2 lavadora de envase San Martín línea 1 Krones



Fuente: elaboración propia.

7.3.2. Selección de la condición de operación

Con la información de las gráficas (figura 40 a la 48), se realizó la evaluación de las condiciones de operación, empleando el criterio de evaluación, cojinete en servicio bueno (capítulo 2, inciso 2.5). A continuación se muestran los resultados:

Tabla XX. **Condiciones de operación de los motores**

Motor	Vibración máxima (G´s)	Condición de Operación
M461 KT26	0,879	Cojinete en servicio bueno
MT20	0,625	Cojinete en servicio bueno
ENMO-005	0,783	Cojinete en servicio bueno
ENMO-006	0,809	Cojinete en servicio bueno
ENMO-007	0,822	Cojinete en servicio bueno
ENMO-011	0,799	Cojinete en servicio bueno
ENMO-023	0,777	Cojinete en servicio bueno
ENMO-024	0,780	Cojinete en servicio bueno
ENMO-028	1,529	Cojinete con defectos

Fuente: elaboración propia.

La tabla XX muestra que un motor se encuentra dentro del rango de cojinete con defectos y la mayoría dentro del rango de cojinete en servicio bueno.

7.4. Análisis y diagnóstico

En la figura 40, lado de carga del motor M461 KT26, muestra una vibración axial excesiva con respecto a las otras direcciones (capítulo 2, inciso 2.4), en la figura 48, se muestra una vibración arriba de 1 G´s lo cual indica que el cojinete se encuentra en un estado con defectos, y las demás figuras muestran que la mayoría se encuentran casi al límite de lo permitido para un servicio bueno.

7.5. Correcciones

Con base en el análisis y diagnóstico, se corrigieron los problemas encontrados para reducir o eliminar una parada inesperada en la planta.

7.5.1. Desalineación axial

La desalineación axial, como se indicó en el capítulo 2, inciso 2.4 se debe a que los rodamientos han sido instalados incorrectamente.

Debido a que la desalineación axial se detectó mediante las rutinas de monitoreo y de análisis, este pasa a ser parte del mantenimiento predictivo (capítulo 2 subinciso 2.1.2). Con base a esto se planeó la mejor manera de intervenir en la reparación del cojinete.

Para la reparación de este motor se siguió los pasos según la figura 8, desmontando y montando nuevamente el cojinete en el lado de carga del motor, también se aprovechó para realizar la revisión externa de motor y guarda motor según las figuras 6 y 7, respectivamente.

7.5.2. Rodamientos defectuosos

En el motor ENMO-028 se encontraron defectuosos los cojinetes tanto del lado de carga, como el lado del ventilador, los cuales fueron removidos y colocaron los nuevos, siguiendo para esto los pasos de la figura 8.

7.6. Chequeo de vibraciones posterior a la corrección

Los motores eléctricos se montaron después de haber realizado las correcciones indicadas mediante el diagnóstico, se chequearon que los niveles de vibración, estuvieran dentro del rango de cojinete en servicio bueno, estos datos se registraron para continuar con el historial de fallas del mantenimiento predictivo.

La reducción de los niveles de vibración fue posible por razón de las correcciones planeadas y realizadas, las cuales fueron el resultado del correcto monitoreo y análisis de vibraciones en los motores.

7.7. Programa de monitoreo continuo de los niveles de vibración

A continuación se detallan los pasos para la realización del programa de monitoreo.

7.7.1. Eficiencia en el monitoreo

El mejorar el desempeño de las máquinas, disminuye el tiempo perdido por fallas mecánicas, por tal razón el porcentaje de eficiencia aumentará reduciendo al mismo tiempo los costos de producción.

7.7.2. Conocimiento de las máquinas

Las placas de identificación o de datos de los motores, suministran una gran cantidad de información útil sobre diseño y mantenimiento. Esta información es particularmente valiosa para el personal electrotécnico de la planta, encargado del mantenimiento y para el reemplazo de los motores

existentes, durante la instalación, mantenimiento o reemplazo, la información sobre la placa es de máxima importancia para la ejecución rápida y correcta del trabajo.

Casi todos los datos de placa se relacionan con las características eléctricas del motor. A continuación se describe la información grabada normalmente en una placa de motor.

- Número de serie [*SERIAL No. / I.D.*]: es el número exclusivo de cada motor o diseño para su identificación, en caso de que sea necesario ponerse en comunicación con el fabricante.
- Tipo [*TYPE*]: combinación de letras, números o ambos, seleccionados por el fabricante para identificar el tipo de carcasa y de cualquier modificación importante en ella. Es necesario tener el sistema de claves del fabricante para entender este dato.
- Número de modelo [*MODEL/ STYLE*]: datos adicionales de identificación del fabricante.
- Potencia [*HP*]: la potencia nominal (*HP*), es la que desarrolla el motor en su eje cuando se aplican el voltaje y frecuencia nominales en las terminales del motor, con un factor de servicio de 1,0.
- Armazón o carcasa [*FRAME*]: la designación del tamaño de la armazón, es para identificar las dimensiones del motor. Si se trata de una armazón normalizada por la NEMA o IEC incluye las dimensiones para montaje (que indica la MG1), con lo cual no se requieren los dibujos de fábrica.

- Factor de servicio [*SERVICEFACTOR* o *SF*]: los factores de servicio más comunes son de 1,0 a 1,15. Un factor de 1,0 significa que no debe demandarse que el motor entregue más potencia que la nominal, si se quiere evitar daño al aislamiento. Con uno de 1,15 (o cualquiera mayor de 1,0), el motor puede hacerse trabajar hasta una potencia igual a la nominal multiplicada por el factor de servicio sin que ocurran daños al sistema de aislamiento. Sin embargo, debe tenerse presente que el funcionamiento continuo dentro del intervalo del factor de servicio hará que se reduzca la duración esperada del sistema de aislamiento.
- Corriente [*AMPS*]: indica la intensidad de la corriente que toma el motor al voltaje y frecuencia nominales, cuando funciona a plena carga (corriente nominal).
- Voltaje [*VOLTS*]: valor de la tensión de diseño del motor, que debe ser medida en las terminales del motor, y no la de la línea.
- Clase de aislamiento [*INSULATION CLASS*]: se indica la clase de materiales de aislamiento utilizados en el devanado del estator. Son sustancias aislantes sometidas a pruebas, para determinar su duración al exponerlas a temperaturas predeterminadas. La temperatura máxima de trabajo del aislamiento clase B es de 130 °C; la de clase F es de 155 °C, y la de clase H, de 180 °C.
- Velocidad [*RPM*]: es la velocidad de rotación (rpm) del eje del motor cuando se entrega la potencia nominal a la máquina impulsada, con el voltaje y la frecuencia nominales aplicados a las terminales del motor (velocidad nominal).

- Frecuencia [*HERTZ* o *Hz*]: es la frecuencia eléctrica (*Hz*) del sistema de suministro para la cual está diseñado el motor. Posiblemente este también funcione con otras frecuencias, pero se alteraría su funcionamiento y podría sufrir daños.
- Servicio o Uso [*DUTY*]: en este espacio se graba la indicación «intermitente» o «continuo». Esta última, significa que el motor puede funcionar las 24 horas los 365 días del año, durante muchos años. Si es «intermitente» se indica el período de trabajo, lo cual significa que el motor puede operar a plena carga durante ese tiempo. Una vez transcurrido éste, hay que parar el motor y esperar a que se enfríe antes de que arranque de nuevo.
- Temperatura ambiente [*AMBIENT*]: es la temperatura ambiente máxima ($^{\circ}\text{C}$), a la cual el motor puede desarrollar su potencia nominal sin peligro. Si la temperatura ambiente es mayor que la señalada, hay que reducir la potencia de salida del motor para evitar daños al sistema de aislamiento.
- Número de fases [*PHASE*]: número de fases para el cual está diseñado el motor, que debe concordar con el del sistema de suministro de energía eléctrica.
- Letra de código [*kVA*]: en este espacio se inscribe el valor de kVA que sirve para evaluar la corriente máxima en el arranque. Se especifica con una letra clave correspondiente a un intervalo de valores de *kVA/HP*, y el intervalo que abarca cada letra aparece en la NEMAMG1-10.36. Un valor común es la clave G, que abarca desde 5,6 hasta menos de 6,3*kVA/HP*. Es necesario comprobar que el equipo de arranque sea de diseño

compatible, y consultar si la empresa eléctrica local permite esta carga en el sistema.

- Diseño [*DESIGN*]: en su caso, se graba en este espacio la letra de diseño NEMA, que especifica los valores mínimos de par de rotación a rotor bloqueado, durante la aceleración ya la velocidad correspondiente al par máximo, así como la corriente irruptiva máxima de arranque y el valor máximo de deslizamiento con carga. Estos valores se especifican en la NEMA MG1, secciones 1.16 y 1.17.
- Cojinetes o roles [*D.E. BEARING*] [*OPP.D.E. BEARING*]: en los motores que tienen cojinetes antifricción, éstos se identifican con sus números y letras correspondientes conforme a las normas de la *Anti-Friction Bearing Manufacturers Association (AFBMA)*. Por tanto, los cojinetes pueden sustituirse por otros del mismo diseño, pues el número *AFBMA* incluye holgura o juego del ajuste del cojinete, tipo de retención, grado de protección (blindado, sellado, abierto, etc.) y dimensiones.
- Secuencia de fases [*PHASE SEQUENCE*]: el que se incluya la secuencia de fases en la placa de identificación permite al instalador conectar, a la primera vez, el motor para el sentido de rotación especificado, suponiendo que se conoce la secuencia en la línea de suministro. Si la secuencia en la línea es A-B-C, los conductores terminales se conectan como se indica en la placa. Si la secuencia es A-C-B, se conectan en sentido inverso al ahí señalado.
- Eficiencia [*EFF*]: en este espacio figura la eficiencia nominal NEMA del motor.

7.7.3. Cuántas máquinas medir

No existe un número ideal de máquinas a medir, lo mejor es comenzar con grupos manejables de máquinas, para distribuir la carga de la tarea del análisis de medidas en el programa de mantenimiento y poder asegurar el éxito con cada grupo.

7.7.4. Determinando niveles de alarma

El principio básico es empezar con alarmas básicas, usando la información disponible (recomendaciones del fabricante del equipo de medición de vibraciones). Las medidas de vibración global son útiles para determinar condiciones de operación de las máquinas y la severidad de ésta, mediante comparación con tablas de valores límites. En primera instancia, esto proporcionará un indicio básico de alarma, de tal forma que los valores límite de la norma o de las recomendaciones del fabricante que se están adoptando como referencia, serán los niveles de alarma básica.

Luego, con ayuda de la estadística para incorporar nuevos niveles de alarma, cuando se tienen cinco o más grupos de datos. Se puede aprender incluso de otras máquinas idénticas.

Esta forma de definición asegura que la alarma está basada en todo aquello que es normal para la máquina, su tamaño, localización, función, producción, etc. Cuando ocurra algo anormal, el informe indicará la existencia de un problema (como cambio en la tendencia, aunque el nivel de vibración no sobrepase los límites de vibración del fabricante).

7.7.5. Determinando las rutinas

El plan de monitoreo debe ser flexible, ya que si ciertas máquinas tienen problemas, debería considerarse medirlas con mayor frecuencia, y posiblemente, si algunas máquinas prueban ser muy fiables en operación, podrá considerarse medirlas con menor frecuencia.

Es importante que la máquina funcione a la misma velocidad y a la misma carga, porque al comparar las medidas de vibración, el único cambio que se quiere encontrar, es el debido al estado de la máquina.

Este plan debe contemplar un sistema de identificación de cada máquina (con un código para cada máquina de la planta), y las localizaciones de los puntos a medir. Esta nomenclatura debe ser fácilmente reconocible y comprensible.

Una vez finalizada la tarea de toma de medidas de vibración planificadas en la rutina, prosigue la etapa en la que toda la información obtenida será procesada para detectar, analizar, corregir y verificar. Justamente, estas cuatro fases se deben realizar cada vez que se tomen datos de vibración de acuerdo con la rutina planificada.

7.7.5.1. La fase de detección

Esta es la primera de las fases. Se inicia realizando el conteo de los datos de los niveles de vibración e identificar las máquinas cuyos niveles han sobrepasado los niveles de alarma establecidos en el programa de monitoreo.

Realizar posteriormente un repaso del informe, desechando falsas alarmas, de tal manera que al finalizar el repaso el resultado sea una lista de máquinas que requerirá un análisis más profundo.

7.7.5.2. La fase de análisis

En esta fase se debe repasar los datos e identificar la naturaleza y severidad de los problemas en la máquina.

Algunas veces, se encontrará que no ha habido cambios significativos respecto a la última medición, determinando que la máquina no requerirá intervención alguna.

Cuando sea confuso realizar el análisis, se debe apoyar en lo posible en otro método de diagnóstico, por ejemplo, termografía, análisis de aceites, etc.

Además, cuando sea posible, comparar la información de la máquina que crea confusión con máquinas que se consideran en buen estado y condiciones de operación aceptables.

Esta fase de análisis permitirá tener la capacidad para elaborar informes acerca del estado de la máquina y dar las recomendaciones necesarias para mejorar su operación y reducir el nivel de vibración. La acción dependerá de la naturaleza y severidad del problema, pero también de la demanda del equipo, la disponibilidad de repuestos, etc.

Idealmente se debería dar suficientes avisos acerca de un problema, para que la reparación se efectúe durante el próximo período, planificado de parada

de la máquina o planificarlo durante un período de producción cero. Ese será básicamente el objetivo.

7.7.5.3. Correcciones

Las correcciones no deben tratarse únicamente como las que se efectúan en la máquina para mejorar sus condiciones de operación, sino en tratar de determinar la raíz que propiciara el fallo.

Si se logra determinar por qué razón ocurrió el problema, y se trabaja para lograr un correcto funcionamiento de la máquina, ciertamente será más fiable en el futuro.

7.7.5.4. La fase de verificación

Cuando se realiza una reparación en la máquina como resultado de las recomendaciones elaboradas, se tiene que efectuar pruebas adicionales para asegurar de que el problema ha sido resuelto, y que la máquina ahora trabaja correctamente. Cuando esto se lleva a cabo, es porque ya se está en la cuarta fase, la verificación.

Es más que seguro, que se tendrá la oportunidad de ahorrarle dinero a la empresa. Por ello hay que tratar de informar siempre a la gerencia acerca de los costos en mantenimiento que se está evitando, pero no se limita a documentar la descripción del problema encontrado y la corrección que se realizó para evitar una falla en la máquina. Cuando sea posible, se debe tener en el informe términos económicos.

CONCLUSIONES

1. La actualización y mejoramiento de rutinas del Manual de mantenimiento y el análisis de fallas mediante gráficos de control de motores eléctricos, permite obtener un buen funcionamiento y detección de fallas antes de que éstas se presenten, evitando con ello paros imprevistos.
2. La ficha de toma de vibraciones, divide en tres categorías a los motores eléctricos en: crítico, no crítico e importante; muestra las instrucciones, tipo de formato, e indica las casillas que deben llenarse con las mediciones en la ubicación y orientación de dicho ensayo, así como otras condiciones del estado de los motores.
3. La actualización del inventario de motores eléctricos, muestra la localización, las especificaciones, la rutina de mantenimiento, la bomba centrífuga, el código y los repuestos que utiliza.
4. El plano ubicación de motores eléctricos en formato digital, facilita la visualización de la ubicación, código, y línea de producción de los motores eléctricos y ofrece la ventaja de realizar los cambios que se dieran en planta.

5. El historial de fallas del mantenimiento predictivo correlaciona diferentes tipos de datos, para obtener una imagen completa del equipo a analizar, determina el comienzo de los cambios y establece la causa de los problemas. El análisis de tendencias es crucial; es casi imposible determinar la condición de algún motor a partir de un solo conjunto de datos.
6. El diagrama de operación del mantenimiento de motores eléctricos muestra el método que se utiliza en el Centro de Producción Nahualate, para el personal actual y futuro, dado que los técnicos conocen otras formas de darle mantenimiento a las máquinas.
7. La codificación de las unidades físicas, facilita el hallazgo de los motores dado que los diagramas eléctricos son diseñados con base a códigos, colores y simbología europea o americana.

RECOMENDACIONES

1. Con base en la tendencia, tomar la decisión de aumentar la mano de obra en la actividad del seguimiento.
2. Continuar la gráfica de tendencias, mostrando los cambios e incrementos de los niveles de vibración en el tiempo para determinar el momento de posible rotura, tomando como referencia el valor máximo permisible del nivel vibración.
3. Las dos maneras de dañar un acelerómetro, son la exposición a un calor excesivo y la caída en una superficie dura. Se debe volver a calibrar el acelerómetro si obtuvo una caída a más de un par de pies, para asegurarse que el cristal no se cuarteó, porque causará una reducción en la sensibilidad y también afectará de manera importante a la resonancia y a la respuesta de frecuencia. Es una buena idea calibrar los acelerómetros una vez al año, estando en servicio con colectores de datos portátiles.
4. El análisis de tendencia exige que las mediciones se efectúen sobre los mismos puntos de medición, para ello deben pintarse los puntos seleccionados de acuerdo a la estrategia establecida para el estudio de la máquina, manteniéndose siempre, las mismas condiciones del muestreo.

5. Aplicar bastante presión al conector para mantener el contacto sólido con la máquina y prevenir a la sonda de golpeteos. El conector debe sostenerse perpendicular al eje giratorio de la máquina según sea el plano.

BIBLIOGRAFÍA

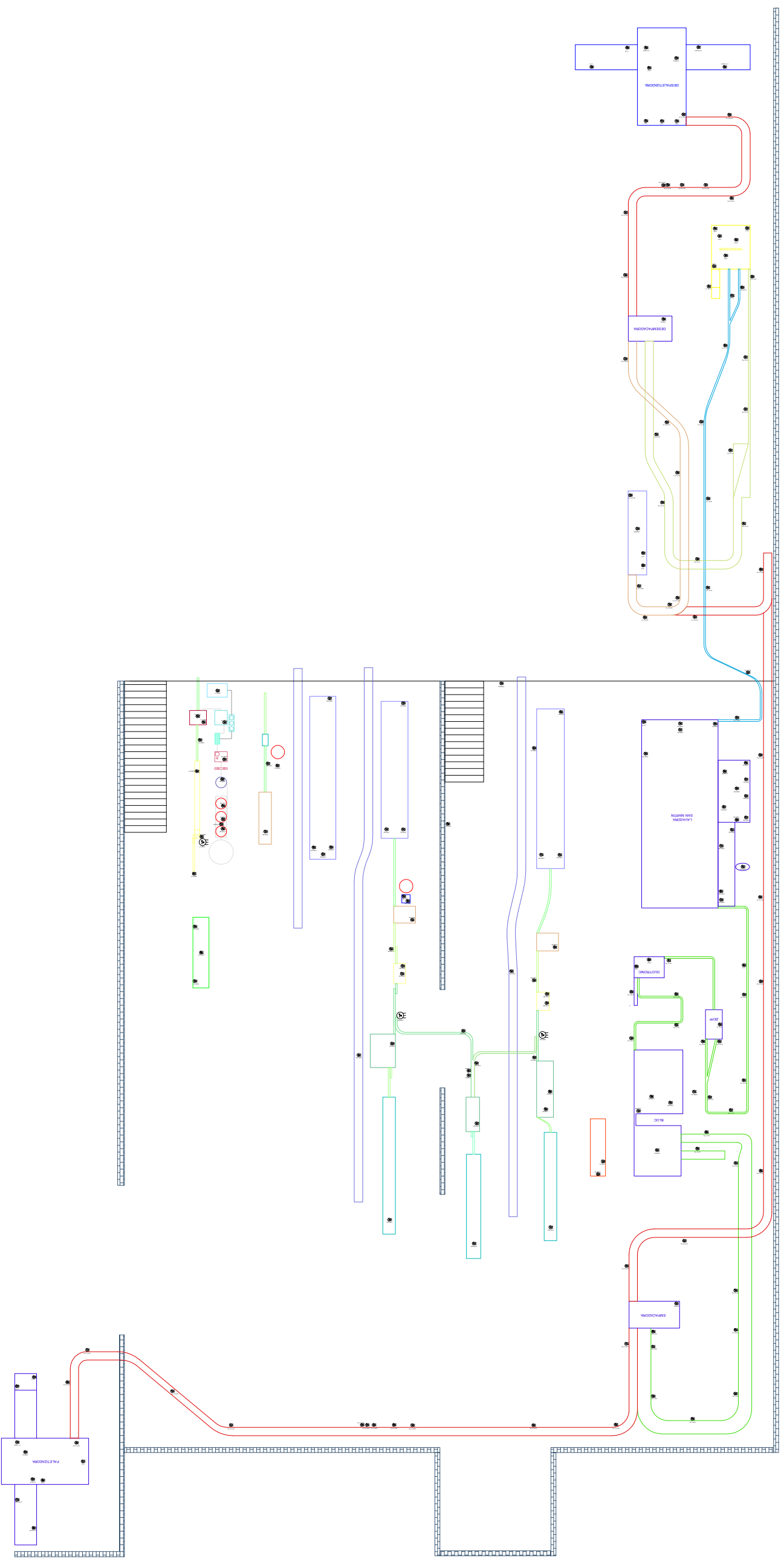
1. BOUCLY, Françis. *Gestión del mantenimiento*. España: AENOR, 1998. 310 p.
2. BRADLEY, Allen. *Dispositivos de estado sólido para protección de motores A-B*. España: RockWell Automation, 1996. 19 p.
3. _____. *Motores polifásicos de inducción*. España: RockWell Automation, 1996. 27 p.
4. _____. *Protección coordinada del circuito del motor*. España: RockWell Automation, 1996. 30 p.
5. Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios. *Motores eléctricos* [en línea]. <<http://www.pemex.com/files/content/NRF-095-PEMEX-2005-06-firmado.pdf>>. NRF-095-PEMEX-2004. [Consulta: 16 de agosto de 2012]
6. DE LA VEGA, Miguel. *Problemas de ingeniería de puesta a tierra*. 3a ed. México: Limusa, 2006. 524 p.
7. HARPER, Gilberto. *El ABC de las instalaciones eléctricas industriales*. México: Limusa, 1989. 577 p.

8. HUFNAGEL, W. *Manual del aluminio*. 2a ed. vol. 2. España: Reverté, 1992. 1133 p.
9. *Manual de la calidad de Industrias Licoreras de Guatemala*. Guatemala: Centro de Producción Nahualate, 2007. 75 p.
10. MOTT, Robert. *Diseño de elementos de máquinas*. 4a ed. México: Prentice-Hall, 2006. 872 p.
11. SENNER, Adolf. *Principios de electrotecnia*. España: Reverté, 1978. 448 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Plano de ubicación de motores eléctricos**

Fuente: elaboración propia.



INDUSTRIAS LICORERAS DE GUATEMALA



DISEÑADO POR PABLO F. PACACH FLORES	VERIFICADO POR ING. JAVIER DAROON	APROBADO POR ING. JAVIER DAROON	NAHUALATE CHICAGO	SUCHITPEQUEZ GUATEMALA	ESCALA 1 : 125
--	--------------------------------------	------------------------------------	----------------------	---------------------------	-------------------

PLANO UBICACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS

KM. 136.5 CARRETERA AL PACIFICO	EDICIÓN 2009	HOLA 1/1
---------------------------------	-----------------	-------------