

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**



**ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN**

**INCREMENTO DE DISPONIBILIDAD EN EQUIPOS  
CRÍTICOS DE REFRIGERACIÓN DE EMPACADORA  
TOLEDO, S.A. PLANTA AMATITLÁN.**

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL  
JORGE LUIS PUERTAS JEREZ**

**Guatemala, mayo de 2007**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

**ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN**

**INCREMENTO DE DISPONIBILIDAD EN EQUIPOS  
CRÍTICOS DE REFRIGERACIÓN DE EMPACADORA  
TOLEDO, S.A. PLANTA AMATITLÁN.**

**POR**

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL  
JORGE LUIS PUERTAS JEREZ**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**Guatemala, mayo de 2007**

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## FACULTAD DE INGENIERÍA

### NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. José Arturo Estrada Martínez
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Otto Fernando Andrino González
<b>SECRETARIA</b>	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **INCREMENTO DE DISPONIBILIDAD EN EQUIPOS CRÍTICOS DE REFRIGERACIÓN DE EMPACADORA TOLEDO, S.A. PLANTA AMATITLÁN.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, el 17 de febrero de 2007.

Ing. Jorge Luis Puertas Jerez

## RESUMEN

La disponibilidad de los equipos de refrigeración en Empacadora Toledo, S.A., planta Amatlán era del 75% promedio hacia finales del año 2004. En febrero 2005 se dieron los primeros pasos en el desarrollo e implementación de un Sistema de Mantenimiento Preventivo, orientado a mejorar este importante indicador. El equipo de Conservación Industrial estableció prioridades de acción y utilizó diversas herramientas de Administración de Mantenimiento de clase Mundial. Hacia finales del 2005 la disponibilidad había subido a un 85%, encontrándose actualmente por encima del 90%. Este trabajo de investigación expone el desarrollo de esta enriquecedora experiencia para que se pueda tomar como referencia en futuras implementaciones de sistemas de Mantenimiento Preventivo, principalmente porque las teorías de Clase Mundial son universales y aplican perfectamente a cualquier tipo de empresa.

El desarrollo del Sistema de Mantenimiento Preventivo presentado en este trabajo de investigación se dividió en dos partes: la primera describe la teoría del monitoreo de condición, criticidad de equipos, indicadores claves de desempeño (entre los que se encuentra la Disponibilidad) y el análisis de causa-raíz de problemas; todos estos conceptos son importantes para priorizar las actividades involucradas en la implementación del Sistema. La segunda parte, describe las actividades específicas necesarias para llevar a buen término este proyecto. Esta parte se dividió a su vez en dos más: las actividades relacionadas con la gestión de los equipos y las actividades relacionadas con la gestión del mantenimiento. La diferencia entre ambas radica en que las primeras se orientan a los equipos como activos necesarios de mantener, mientras que las segundas se orientan a las herramientas necesarias para administrar adecuadamente el mantenimiento de estos equipos. Entre las actividades orientadas a la gestión de equipos cabe mencionar el desarrollo del listado completo de equipos críticos de refrigeración de la planta, la definición de la criticidad de los equipos enlistados, el desarrollo de los listados de repuestos críticos de los equipos críticos y el seguimiento a las Solicitudes de Mantenimiento/Reporte de Fallas y Ordenes de Trabajo. Por otra parte, entre las actividades orientadas a la gestión del mantenimiento se encuentran el desarrollo del formato de cálculo de disponibilidades de equipos críticos, el desarrollo e implementación del control de tiempos de operación/parada de equipos, el análisis de Pareto mensual por área, la aplicación de estudios FMEA para familias de equipos críticos y la creación de los Planes Preventivos de Mantenimiento en base a las inspecciones VOSO, monitoreos de condición, cartas de lubricación y otros, contenidos en las PMR's (Rutinas de Mantenimiento Preventivo) de los equipos críticos.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Aspectos generales	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Objetivos del estudio	3
1.4 Justificación del estudio	4
1.5 Alcance del estudio	7
2. Revisión Bibliográfica	9
3. Marco teórico	10
3.1 Monitoreo de Condición	10
3.2 Evaluación de equipos	21
3.3 Indicadores de efectividad	21
3.4 Análisis Causa-Raíz	23
4. Investigación propuesta	27
4.1 Disponibilidad equipos críticos Refrig. Emp. Toledo	27
4.2 Pasos necesarios para incrementar la disponibilidad de los equipos críticos Refrig. Emp. Toledo	29
4.3 Actividades de gestión de equipos	30
4.4 Actividades de gestión de mantenimiento	38
Conclusiones	48
Recomendaciones	49
Bibliografía	50
Anexos	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1	Resumen de costos y ahorros asociados a la mejora de la disponibilidad de los equipos críticos de refrigeración de Emp. Toledo, S.A.	6
Fig. 1.2	Sistema Tunel Frigoscandia	7
Fig. 1.3	Sistema Tunel Koppens	8
Fig. 1.4	Sistema cámaras de congelado y proceso	8
Fig. 3.1	Ciclo de ejecución del Monitoreo de Condición	11
Fig. 3.2	Puntos de toma de vibraciones (ejemplo)	14
Fig. 3.3	Tipos de desalineamiento/alineamiento	15
Fig. 3.4	Matriz de categorización de las fallas	25
Fig. 3.5	Matriz de perfil de riesgo	26
Fig. 4.1	Formato cálculo disponibilidad de equipos	28
Fig. 4.2	Listado de equipos y subequipos refrigeración Emp. Toledo, S.A.	31
Fig. 4.3	Formato criticidad de equipos Emp. Toledo, S.A.	33
Fig. 4.4	Formato administración y control repuestos inventario	34
Fig. 4.5	Formato de solicitud de mantenimiento/reporte de falla	35
Fig. 4.6	Formato de Orden de Trabajo	37
Fig. 4.7	Formato control de tiempos operación/parada equipos	39
Fig. 4.8	Gráfica de Pareto típica	40
Fig. 4.9	Formato FMEA utilizado en Emp. Toledo, S.A.	
	(a) Hoja de trabajo	42
	(b) Hoja de decisión	42
Fig. 4.10	Ejemplo de carta de lubricación de Emp. Toledo, S.A.	44
Fig. 4.11	Planes mantenimiento nocturnos usados anteriormente para los equipos de refrigeración de Emp. Toledo, S.A.	46
Fig. 4.12	Planes de mantenimiento preventivo actuales de los equipos críticos de refrigeración de Emp. Toledo, S.A.	47

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Técnicas de inspección visual	12
Tabla 3.2	Tipos de contaminación en aceites	18
Tabla 3.3	Desgaste de metales y límites de precaución	18
Tabla 3.4	Causas de daños en cojinetes	19
Tabla 3.5	Probabilidad de ocurrencia de las fallas	24
Tabla 3.6	Clasificación de la severidad de las fallas	24
Tabla 3.7	Criterios para el perfil de riesgo	26
Tabla 4.1	Parámetros de mantenimiento para definir la criticidad de equipos	32

# 1. ASPECTOS GENERALES

## 1.1 Generalidades

### 1.1.1 La Empresa

Empacadora Toledo, S.A. surge en septiembre de 1972, dentro del grupo de Avícola Villalobos.

La empresa se dedica a la crianza de cerdos, producción de embutidos, carnes ahumadas, productos empanizados y enlatados.

Es líder en el mercado de productos alimenticios y está proyectada a satisfacer la demanda local e internacional.

Empacadora Toledo S.A. opera con granjas altamente tecnificadas y de genética superior, que producen cerdos de alto nivel internacional. De allí que la materia prima cárnica trasladada al procesamiento industrial y los productos derivados puedan ostentar orgullosamente el calificativo de...

**“CALIDAD DESDE SU ORIGEN”**

### 1.1.2 Cobertura de Empacadora Toledo, S.A.

Al final de la década de los 90's, Empacadora Toledo S.A. logró consolidarse en el mercado guatemalteco como la “marca líder” abarcando los siguientes segmentos:

- ✓ Ruta Popular
- ✓ Supermercados
- ✓ Departamentos
- ✓ Exportaciones a Honduras y El Salvador

### 1.1.3 Ubicación de Empacadora Toledo, S.A.

#### **DISTRIBUIDORA**

*Central* (49 calle 21-80 zona 12, Colonia Los Cedros)

*El Salvador* (Calle Antigua, San Antonio Abad, Bodegas Textiles, San Jorge No. 6, El Salvador)

#### **PROCESAMIENTO INDUSTRIAL**

*Planta Amatitlán* (Km. 29 ½ carretera al Pacífico)

#### **GRANJAS**

*Toledo* (Finca la Compañía, Palín)

*La Flor* (El Rodeo, Escuintla)

*Agua Blanca y Pastores* (Pastores, Chimaltenango)

*La Laguneta* (Quisaché, Chimaltenango)

*Jalapa* (En construcción)

#### **1.1.4 Conservación Industrial**

Actualmente Empacadora Toledo, S.A. cuenta con lo siguiente:

- ✓ Un equipo de trabajo de Mantto. profesional, con experiencia y preparación adecuados.
- ✓ Un nivel de operación y conservación de los equipos y edificios aceptable.
- ✓ Programas de Mantto. Preventivo.
- ✓ Un software de Admon. de activos (MAXIMO) que está en vías de implementación.
- ✓ Un programa de capacitación y motivación para todo el personal enmarcado dentro del programa DPL (Desarrollo Personal y Laboral).

#### **1.1.5 Organigrama del Depto de Conservación Industrial**

Se cuenta con un Gerente de Conservación Industrial, tres Supervisores, tres Auxiliares, diversos Jefes de Grupo y Técnicos de las diferentes especialidades de mantto (Mecánicos, Electricistas, Técnicos en Refrigeración, Soldadores, Técnicos de Serv Grales y Operarios de Higiene y Sanitización).

#### **1.1.6 Sistema de comunicación**

El sistema de comunicación en el Depto. de Mantto consiste en:

- ✓ Sesiones periódicas para traslado de información, análisis de problemas, establecimiento de compromisos y seguimiento.
- ✓ Conformación de Círculos de Calidad para temas diversos.
- ✓ Planes de Acción para cada área del Depto.

#### **1.1.7 Equipo y tecnología**

Empacadora Toledo, S.A. cuenta con tecnología de punta y equipos automatizados y altamente desarrollados en todas las etapas de su proceso:

- ✓ En Granjas cuenta con infraestructura adecuada para asegurar la limpieza y salud de los cerdos. También cuenta con sistemas automatizados de alimentación e hidratación de los animales.
- ✓ En Rastro, Deshuese, Procesamiento Industrial y Distribuidora, cuenta con equipo de alta capacidad y eficiencia. Todas sus instalaciones son refrigeradas para asegurar la inocuidad de la carne fresca y productos terminados, y los accesorios y equipos utilizados son de acero inoxidable y plástico, lo que asegura su facilidad de limpieza y desinfección.
- ✓ Toda la flota de vehículos de distribución cuenta con equipos refrigerados para mantener la cadena de frío y asegurar la calidad del producto.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

Para optimizar la productividad de la planta de Proceso de Amatitlán de Empacadora Toledo, S.A., es importante incrementar la disponibilidad de los equipos de proceso y auxiliares. Los equipos más críticos de planta son los equipos de refrigeración, porque son los encargados de asegurar la continuidad de la cadena de frío, importante para la conservación de los productos alimenticios. La disponibilidad de estos equipos era del 75% promedio hacia finales del año 2004. En febrero 2005 se dieron los primeros pasos en el desarrollo e implementación de un Sistema de Mantenimiento Preventivo, orientado a mejorar este importante indicador. El equipo de Conservación Industrial estableció prioridades de acción y utilizó diversas herramientas de Administración de Mantenimiento de clase Mundial. Hacia finales del 2005 la disponibilidad había subido a un 85%, encontrándose actualmente por encima del 90%. Este trabajo de investigación expone el desarrollo de esta enriquecedora experiencia para que se pueda tomar como referencia en futuras implementaciones de sistemas de Mantenimiento Preventivo, principalmente porque las teorías de Clase Mundial son universales y aplican perfectamente a cualquier tipo de empresa.

## **1.3 Objetivos del estudio**

### ***1.3.1 Objetivo General***

Incrementar la disponibilidad de los equipos críticos de refrigeración de Empacadora Toledo, S.A. planta Amatitlán, tomando como base el diseño e implementación del programa de mantenimiento Preventivo basado en las teorías de Administración de Mantenimiento de Clase Mundial.

### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

1. Dar a conocer los pasos necesarios para el establecimiento del Programa de Mantenimiento Preventivo de los equipos críticos de Refrigeración en planta Amatitlán (basados en la teoría de Gestión de Mantenimiento de Clase Mundial).
2. Exponer el Programa de Mantenimiento de los equipos críticos del sistema de refrigeración de planta Amatitlán.
3. Exponer los formatos utilizados como soporte del sistema de Gestión de Mantenimiento para el área de Refrigeración.
4. Establecer una evaluación financiera del incremento de disponibilidad de los equipos analizados.

## 1.4 Justificación del estudio

### 1.4.1 Justificación Técnica – Operativa

Si bien es cierto que Empacadora Toledo S.A. siempre ha contado con un programa de Mantenimiento Preventivo, éste no lograba satisfacer los requerimientos productivos y de calidad de las diferentes líneas de proceso. Por tratarse de una planta Alimenticia, los equipos de refrigeración juegan un papel importante en la inocuidad y conservación de los productos. Entre los diferentes equipos de refrigeración, hay unos que son más importantes que otros y que se conocen como “Equipos Críticos”. Planta Amatitlán es el mayor de los centros de procesamiento cárnico de Empacadora Toledo, por lo que fue importante arrancar en este centro con el diseño de los nuevos planes de Mantenimiento.

Podemos resumir la importancia de este estudio en los siguientes puntos:

1. Se necesitaba asegurar la continuidad del proceso productivo, tanto desde el punto de vista operativo, como de atención y satisfacción de necesidades de nuestros clientes.
2. Los equipos de refrigeración en general son caros, de alto nivel de mantenibilidad (dificultad y costo de mantenimiento).
3. Se necesita cumplir a cabalidad los requerimientos internacionales de HACCP (Hazard Analysis of Critical Control Points) y BPM's (Buenas Prácticas de Manufactura), normas importantes y necesarias para certificación de plantas de Alimentos.
4. Es importante el aseguramiento de la calidad e inocuidad del producto a través de la cadena de frío (secuencia de pasos que aseguran que el producto alimenticio permanece a bajas temperaturas durante toda su vida útil, desde que se produce hasta que se consume).

### 1.4.2 Normas a cumplir

1. HACCP: sistema de Aseguramiento de Calidad que evalúa y controla los procesos productivos para asegurar la inocuidad de los alimentos.
2. Requerimientos del HACCP dentro de las cámaras:  
Áreas con superficies fáciles de limpiar, temperatura adecuada, protección mecánica del producto, sin hielo y/o escarcha, pisos limpios con reposaderas, puertas con empaques, evaporadores limpios, buen flujo de aire.
3. Temperaturas dentro de las cámaras:  
Congelado: -18 °C; Refrigerada: 2 – 4 °C; Empaques: 5 – 8 °C.
4. Normas de seguridad para trabajo con Amoníaco (refrigerante utilizado).

### **1.4.3 Justificación Financiera**

Para la justificación financiera se consideran los tres costos asociados a los productos que tienen relación con los equipos críticos de refrigeración de Empacadora Toledo, S.A.:

- Costo de Mantenimiento.
- Costo de Producción.
- Costo de Calidad.

En el caso del costo de mantenimiento, se consideró el ahorro a obtener en cada uno de los rubros principales que lo conforman con un incremento en la disponibilidad de los equipos. Estos rubros son: costos de refrigeración, servicios, repuestos y Hrs. extras del personal de Mantenimiento. En cada caso se consideró un ahorro del 12% entre el año 2004 y el 2006 (duración del estudio).

En el caso de la producción, se consideraron dos tipos de costos: el costo de oportunidad por equipo parado, y el costo de pérdida del producto por problemas con el sistema de refrigeración en las cámaras frías.

Los costos asociados con la calidad del producto no son fáciles de calcular, pero sabemos que nos afectan en términos de la satisfacción del cliente final y de la posibilidad de certificación para exportación de los productos al extranjero.

En todos los casos pueden observarse ahorros sustanciales en los costos gracias al incremento de la disponibilidad de los equipos de refrigeración. Los equipos ahora paran menos, esto provoca mayor continuidad en su utilización y mayor productividad.

A continuación se presenta un cuadro con el resumen de los costos y ahorros asociados a la mejora en la disponibilidad de los equipos críticos de refrigeración de Empacadora Toledo, S.A. durante la duración del estudio (2004 a 2006).

**Fig. 1.1 Resumen de costos y ahorros asociados a la mejora de la disponibilidad de los equipos críticos de refrigeración de Empacadora Toledo, S.A.**

**Costo Mantto**

<i>Rubro</i>					Costo Total	Dif. Q/Lb (2004-2006)	Lbs útil prom mensual	Dif Prom Mensual (Q.)	Ahorro anual (Q.)
Año	Refrigeración	Servicios	Repuestos	Hrs. Extras					
2004	0.014	0.039	0.066	0.066	0.185				
2005	0.013	0.037	0.063	0.063	0.176				
2006	0.013	0.035	0.059	0.059	0.165				
						0.020	1,623,650	32,183	<b>386,197</b>

**Costo Producción**

**Costo Oportunidad (equipo parado)**

*Túneles de refrigeración*

	Lbs/hr prom	Costo (Q/lb)	Costo paro por hora (Q.)	Año	Horas de paro prom mensual	Costo de paros mensual promedio	Dif costo Mensual (Q.) 2004-2006	Ahorro anual (Q.)
Medallones	1,050	9.50	9,975	2004	24	448,200		
Alitas	750	11.60	8,700	2005	17	317,475		
			18,675	2006	11	205,425		
							242,775	<b>2,913,300</b>

**Costo de pérdida del producto**

*Cámaras refrigeradas*

	Promedio lbs/cámara	% pérdida eq malo	Lbs pérdida eq malo	Costo pérdida prod (Q.)	Año	Ocurrencia anual de eventos	Costo de eventos anual	Dif costo Anual (Q.) 2004-2006	Ahorro anual (Q.)
Medallones	70,000	0.3	21,000	199,500	2004	2	886,200		
Alitas	70,000	0.3	21,000	243,600	2005	1	443,100		
				443,100	2006	0	0		
							886,200	<b>886,200</b>	

**Costo Calidad**

*Costo de no certificación en HACCP (pérdida de mercado/exportación)*

*Costo de pérdida de venta y devoluciones*

En ambos casos, no es fácil definir un costo específico, pero sabemos que nos afecta directamente, principalmente en términos de presencia y captación de mercado y aceptación por parte del cliente.

**Ahorro anual Total: Q4,185,696.81**

## 1.5 Alcance del estudio

El estudio abarca los equipos de refrigeración considerados como críticos para Producción y Mantenimiento en Empacadora Toledo, S.A., planta Amatitlán. Estos equipos se describen a continuación:

1. Sistema Tunel Frigoscandia (Comp. MAYCOM): sistema de refrigeración de amoníaco, de 37.5 Tons. de Refrig. en baja temperatura ( $-40^{\circ}\text{C}$ ), con compresor de tornillo. Alimenta un túnel de congelamiento continuo de producto (producto entra a temperatura ambiente y sale congelado 45 min después).
2. Sistema Tunel Koppens (Comp. FRICK): sistema de refrigeración de amoníaco, de 60 Tons. de Refrig. en baja temperatura ( $-40^{\circ}\text{C}$ ), con compresor de tornillo. Alimenta un túnel de congelamiento continuo de producto (producto entra a temperatura ambiente y sale congelado 45 min después).
3. Sistema Cámaras congelado, proceso y salmueras (Compresores VILTER): sistema de refrigeración de amoníaco, de 40 Tons. de Refrig. en baja temperatura ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) y 90 Tons. de Refrig. en alta temperatura ( $5^{\circ}\text{C}$ ), con cuatro compresores recíprocos. Alimenta las cámaras de congelado materias prima y procesos cárnicos.

**Fig. 1.2 Sistema Tunel Frigoscandia**



**Fig. 1.3 Sistema Tunnel Koppens**



**Fig. 1.4 Sistema cámaras de congelado y proceso**



## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Existen algunos textos que tratan a profundidad, aunque con enfoques distintos, las teorías más aceptadas de la Administración del Mantenimiento. Parte de la importancia del tema radica en el hecho que prácticamente todas las herramientas utilizadas en Admón. de Mantto son aplicables a cualquier tipo de industria; en cada caso, por supuesto, es importante tomar en cuenta las particularidades del negocio y procesos de los que se trate. Algunos de los textos mencionados se indican en la Bibliografía de este trabajo de investigación.

Algunas empresas cuentan con políticas y filosofías que las orientan a resultados de “Clase Mundial”. Para ello utilizan estrategias y herramientas que los orienten en esa línea, logrando compararse con empresas internacionales de recorrido y desarrollo superior. Estas empresas han desarrollado por sí mismas algunas teorías de Admón de Mantto que se han incorporado a sus operaciones diarias, y que les permiten desde ya, ser ejemplo para otras que buscan mejorar su productividad, incrementando su producción y reduciendo sus costos.

Muchas personas, principalmente aquellas con estudios, experiencia o tendencia operativa-técnica, consideran al mantenimiento como la actividad o conjunto de actividades implícitas en su nombre; sin embargo, la base administrativa que conlleva, especialmente por los aspectos de análisis y control de sus procesos, la convierten en una verdadera ciencia complementaria del trabajo y operaciones de producción y logística, presentes en cualquier empresa. Es por esto que el apoyo que los textos administrativos ofrecen también es fundamental para establecer la base de este trabajo de investigación.

En la búsqueda bibliográfica e investigativa que respecto de este tema he desarrollado durante los últimos años, he constatado que a pesar que la base administrativa y las propias teorías de mantenimiento existen, no se ha desarrollado un estudio enfocado en equipos críticos tan específicos como pueden ser los sistemas de refrigeración de una planta alimenticia. Este tipo de empresa tiene el agravante de cumplir los requisitos que aseguren la calidad e inocuidad de los alimentos que se producen. He ahí la razón por la que orienté el presente estudio hacia este tema, tomando en cuenta también, por supuesto, el beneficio implícito que conlleva para mi propio desarrollo laboral.

Desgraciadamente en Empacadora Toledo, S.A., no existe mayor información relevante, ni manual específico que ayude a orientar la administración de los equipos críticos de proceso y auxiliares, por lo que encuentro doblemente provechoso este estudio para apoyar las actividades propias de este equipo de trabajo. A lo largo del estudio y como parte de su contenido, se incluyen las herramientas, procedimientos y formatos utilizados para incrementar la disponibilidad de los equipos críticos de refrigeración actualmente utilizados.

## 3. MARCO TEÓRICO

### 3.1 Monitoreo de condición

El programa de monitoreo de condición es una técnica utilizada para la gestión de mantenimiento que integra elementos de la tercera generación.

#### 3.1.1 Definición

Es la medición de las variables de los equipos que se consideran representativas de la condición de éstos, comparándolas con patrones establecidos se puede dar un diagnóstico de su estado. El objetivo del mantenimiento basado en la condición es detectar fallas, analizar la gravedad e indicar el tiempo máximo que puede funcionar el equipo sin que ocurran eventos catastróficos, evitando de esta manera pérdidas por paros de la producción e incrementos de gastos por mantenimiento.

Consiste en evaluar la evolución temporal de ciertos parámetros, y predecir cuando un elemento va a experimentar una condición crítica.

Es importante saber que cada una de las mediciones o inspecciones no deben alterar el funcionamiento de los procesos, estas se pueden realizar en forma periódica o continua dependiendo de las condiciones de cada planta o proceso.

Objetivos del monitoreo condición:

- ✓ Vigilancia de máquinas: Indicar cuando existe un problema. Debe distinguir entre condición buena y mala, y si es mala indicar cuan mala es.
- ✓ Protección de máquinas: Evitar fallos catastróficos. Una máquina está protegida, si cuando los valores que indican su condición llegan a valores considerados peligros, la máquina se detiene automáticamente.
- ✓ Diagnóstico de fallos: Su objetivo es definir cual es el problema específico.
- ✓ Pronóstico de la esperanza de vida: Estimar cuanto tiempo mas podría funcionar la maquina sin riesgo de un fallo catastrófico.

#### 3.1.2 Elementos que integran un programa de monitoreo de condición

El programa de monitoreo de condición se apoya en diferentes técnicas para lograr su objetivo.

Las técnicas que se utilizan para la recolección de información son las siguientes:

- ✓ PMR
- ✓ Termografía infrarroja
- ✓ Inspecciones visuales
- ✓ Monitoreo de vibraciones
- ✓ Muestreo de aceites
- ✓ Mediciones de desgaste
- ✓ Mediciones en línea
- ✓ Mediciones de alineamiento

- ✓ Ultrasonido
- ✓ Partículas magnéticas
- ✓ Endoscopia

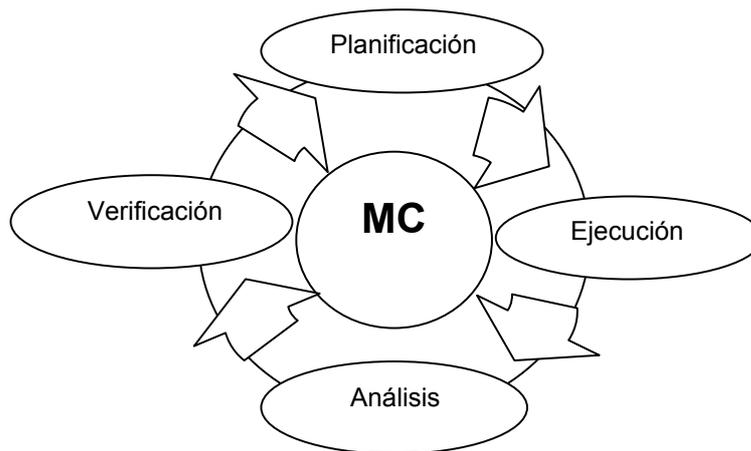
Además de las técnicas se apoya en sistemas expertos, los cuales se utilizan fundamentalmente como herramientas de diagnóstico. Se trata que el programa pueda determinar en cada momento el estado de funcionamiento de sistemas complejos, anticipándose a los posibles incidentes que pudieran acontecer. Así, usando un modelo computacional del razonamiento de un experto humano, proporciona los mismos resultados que alcanzaría dicho experto.

### 3.1.3 Cómo se usa efectivamente

Para cumplir con las expectativas el mantenimiento predictivo debe cumplir las actividades necesarias en el tiempo establecido.

Son cuatro los pasos importantes a seguir:

**Fig. 3.1 Ciclo de ejecución del monitoreo de condiciones**



1. **Planificación:**  
Se debe planificar con la debida antelación las actividades a realizar, definiendo las tareas, cuándo, quién y cómo se deben hacer.
2. **Ejecución:**  
Cada una de las actividades contempladas en el programa de monitoreo de condición se deben realizar cumpliendo con lo establecido.
3. **Análisis:**  
Luego de recavada toda la información posible, se debe someter a un cuidadoso análisis para verificar si el funcionamiento del equipo se mantiene dentro de los parámetros aceptables o requiere intervención, y hacer un

reporte, para que los encargados de hacer las reparaciones respectivas las realicen.

**4. Verificación:**

Es necesario hacer una evaluación de lo que se logró y compararlo con lo que se ha planeado para constatar que se está cumpliendo con las expectativas.

No se debe permitir:

- ✓ Incremento de trabajos pendientes
- ✓ PMRs que no se hacen
- ✓ Mantenimiento de parches
- ✓ Mas trabajos repetitivos
- ✓ Mas fallas evitables
- ✓ Recursos absorbidos en corregir las fallas

**3.1.4 Inspecciones visuales**

Estas técnicas consisten en inspeccionar visualmente las diferentes partes de una máquina con el objeto de determinar su condición. La ventaja que ellas presentan es que el inspector obtiene una indicación inmediata y directa del estado de los componentes de la máquina, sin la necesidad de procesar los resultados. Su principal desventaja es que nominalmente están limitadas a componentes estacionarios y de directo acceso visual. La simplicidad del monitoreo visual hace que en general no se requiera un resultado numérico, es decir, no queda un registro de la condición del componente en el instante en que se inspeccionó. Si esto se requiriera, habría que usar alguna técnica de registro complementaria, tales como: fotografía, grabación en video, impresión o molde de la superficie.

**Tabla 3.1 Técnicas de inspección visual**

<b>Principales técnicas de inspección visual</b>	
<i>Objetivos:</i>	<i>Técnicas a usar:</i>
Iluminar partes internas oscuras.	Sonda de luz.
Mejor acceso a zonas nominalmente inaccesibles.	Boroscopio.
Obtener muestra en zonas normalmente inaccesibles.	Endoscopio.
Realizar un agrandamiento.	Lupas, boroscopios, televisión.
Congelar el movimiento de componentes rotativos.	Estroboscopio.
Resaltar las existencias de pequeñas grietas superficiales.	Tintas penetrantes. Partículas Magnéticas.
Extender el rango visual mas allá del rango humano.	Termografía infrarroja, Examen por rayos X o gamma.
Visualizar temperaturas superficiales.	Pinturas, termografías.

### **3.1.5 VOSO**

Son técnicas basadas en los sentidos humanos. Para la detección de fallas en los equipos se realizan con el equipo en marcha; a través de ellas se tiene una apreciación inmediata de la condición de los equipos. Cuando se necesita dejar constancia de una condición específica, se requiere el uso de cámaras fotográficas, moldes, videos, entre otros.

#### **Ver**

Es simplemente la utilización de la vista para la detección de fugas, humo o cambios de color de superficies por recalentamiento y toda aquella anomalía que puede ser observada a simple vista. Se relaciona directamente con las inspecciones visuales descritas en el punto anterior.

#### **Oír**

Consiste en la utilización del sentido auditivo para detectar ruidos extraños que puedan sugerir desperfectos mecánicos en la maquinaria. Es importante tomar en cuenta que cuando un ruido extraño aparece, el estado de la falla en el mecanismo examinado es avanzado y el daño provocado posiblemente ya es irreversible. El análisis del ruido (ondas sonoras en el rango audible) de una máquina, como técnica de monitoreo de su condición mecánica es menos usada que el análisis de vibraciones debido a la interferencia entre el ruido directo de otras máquinas cercanas. Su principal aplicación es en el monitoreo de máquinas muy pequeñas donde no se podría ubicar un sensor de vibraciones, o donde la masa agregada por el sensor de vibraciones alteraría la dinámica propia de la máquina.

#### **Sentir**

Utilización del tacto para detectar vibraciones o temperaturas anormales.

#### **Oler**

Uso del olfato, para detectar fugas, recalentamiento, combustión u otros.

### 3.1.6 Monitoreo de vibraciones

Estas técnicas se basan en que las fallas que se generan en una máquina o estructura provocan un cambio en su comportamiento dinámico.

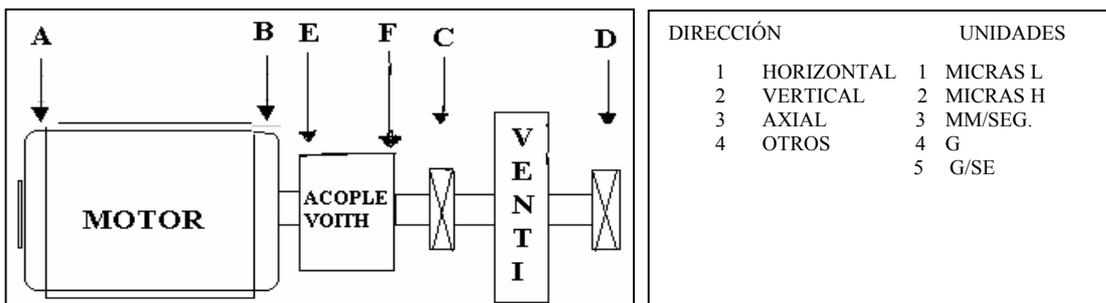
Generalmente, las fallas en los elementos rotatorios de una máquina generan fuerzas dinámicas que las hacen vibrar en una forma tal, que es indicativa de la falla que la genera. Por ejemplo, una picadura en una pista de rodadura de un rodamiento generará una fuerza dinámica (o de impacto) cada vez que un elemento rodante pase por el defecto. Esto hará vibrar la máquina con componentes a frecuencias múltiples de la frecuencia con que pasan los elementos rodantes por el defecto, lo que es característico de la falla.

Las fallas generadas en equipos estáticos que alteran localmente la rigidez y/o masa de la estructura, cambian sus frecuencias naturales y modos de vibrar. El monitoreo de estas magnitudes es usado para detectar en forma rápida, por ejemplo, grados de corrosión en chimeneas industriales, fisuras en estructuras y fundiciones de máquinas o grados de desgaste del recubrimiento en molinos y estanques.

**Fig. 3.2 Puntos de toma de vibraciones (ejemplo)**

rpm del ventilador 900  
rpm del motor 900  
rpm del acople 900

Maquina		Motor, acople voith y ventilador de tiro									
2	1	5	6	3	V	E	1				



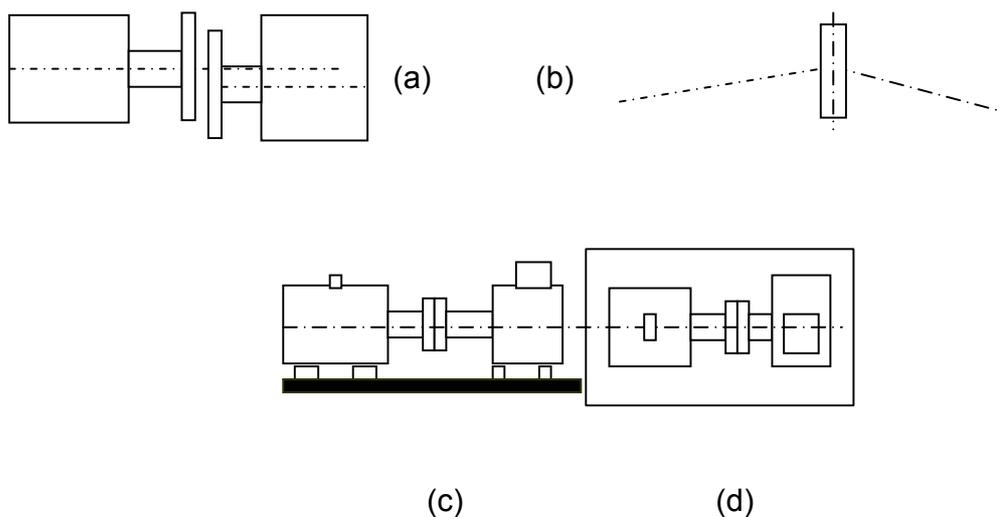
### 3.1.7 Alineamientos

Es la condición en la que un eje conductor y un eje conducido se encuentran en los mismos planos horizontal y vertical; o bien, la línea central de cada eje se encuentran en condición de alineamiento paralelo o angular.

**Tipos de desalineación/alineación:**

- a) Desalineamiento paralelo.
- b) Desalineamiento angular.
- c) Alineamiento plano vertical.
- d) Alineamiento plano horizontal.

**Fig. 3.3 Tipos de desalineamiento/alineamiento**



Los principales problemas que presenta el desalineamiento es desgaste en cojinetes, vibraciones, aumento de cargas.

### 3.1.8 Temperatura

Temperatura es una propiedad física de un sistema que gobierna la transferencia de energía térmica, o calor, entre ese sistema y otros. Es una medida de la energía cinética de las partículas que componen el sistema. Las bases de las

escalas comunes de temperatura (Fahrenheit y Celsius) son los puntos de congelación y ebullición del agua.

La temperatura se mide de varias maneras:

- ✓ Por la expansión térmica de un gas (termómetro de gas).
- ✓ Por la dilatación térmica de un líquido o un sólido (termómetro de mercurio, elemento bimetálico).
- ✓ Por la presión o tensión de vapor de un líquido (termómetro de bulbo de vapor).
- ✓ Por el potencial termoeléctrico (termopar).
- ✓ Por la variación de la resistencia eléctrica (termómetro de resistencia, termistor).
- ✓ Por la variación de la radiación (pirómetro de radiación óptico).
- ✓ Cambio de estado físico o químico (Conos de Seger, etiquetas de Tempil).

La temperatura afecta las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, por tal razón es importante prestar la debida atención a sus variaciones. Una elevación excesiva de la temperatura puede causar daños considerables a un equipo.

### **3.1.9 Termografía**

Las pruebas no destructivas del infrarrojo comprenden la detección de la energía electromagnética infrarroja emitida por un objeto de prueba. A cualquier temperatura arriba del cero absoluto toda la materia produce en forma natural radiación infrarroja. Los materiales emiten radiación con intensidades variables que dependen de su temperatura y características superficiales. La indicación sensible de la temperatura o distribución de temperaturas por medio de la detección infrarroja es útil en la localización de irregularidades en los materiales, en el procesamiento o en el funcionamiento de las piezas. La emisión dentro de los límites del infrarrojo de 0.8 a 15  $\mu\text{m}$  se colecta, se filtra, se detecta y se amplifica en una imagen visual por un instrumento de prueba, que se diseña en relación con las características del material del detector de prueba. Pueden indicarse variaciones en la temperatura del orden de 0.01°F por medidores o gráficos.

La termografía infrarroja desde el punto de vista del mantenimiento tiene uso en sistemas eléctricos y mecánicos.

Beneficios por el uso de termografía infrarroja en el mantenimiento preventivo:

- ✓ Localización de problemas potenciales, lo que ayuda a evitar gastos de reparaciones.
- ✓ Alargamiento de la vida útil de los equipos.
- ✓ Identificación plena de problemas y status de los mismos.
- ✓ Disminución de los costos de reparaciones urgentes.
- ✓ Programación de prioridades de mantenimiento.
- ✓ Reducción de tiempos en paros programados.

- ✓ Maximización de la eficiencia en programas de mantenimiento preventivo.
- ✓ Verificación de las reparaciones realizadas.
- ✓ Minimización de pérdidas en producción por paros no programados.
- ✓ Ahorro en personal por tiempo perdido.
- ✓ Reducción de costos por compostura del equipo fallado.

### **3.1.10 Muestreo de aceites**

Todos los años millones de litros de lubricante en buenas condiciones de servicio son cambiados prematuramente en los equipos, resultado de programas de lubricación basados en un parámetro de cambio que no involucra análisis.

Partiendo del hecho que es importante y necesario maximizar la vida de los lubricantes, aprovechando su potencial óptimo, pero al mismo tiempo conociendo los peligros de extender los períodos de cambio, los peligros de contaminación externa y prácticas de mantenimiento deficiente, el análisis de aceites puede ser la piedra angular de un programa de mantenimiento eficiente y efectivo.

El primer paso en la selección de un programa de análisis de aceite es seleccionar el sistema a ser monitoreado.

Posteriormente, es necesario establecer los puntos de muestreo y las frecuencias de toma de muestras, tomando en consideración equipos y edad del aceite (ambas son metas movibles, ajustables a los requerimientos).

Otros pasos importantes a llevar a cabo son los siguientes:

- ✓ Determinar los parámetros del estado aceptable de las muestras.
- ✓ Determinar los lineamientos de limpieza de una muestra de aceite.
- ✓ Asegurar métodos y técnicas apropiadas para tomar las muestras de aceite.
- ✓ Asegurar una correcta evaluación y documentación de los resultados del muestreo (historia y tendencias gráficas son parte esencial del proceso de evaluación).

### **Parámetros a medir en un análisis de aceite**

#### **Cajas de engranes:**

- IR – Espectro Infrarrojo.
- Apariencia / color.
- Viscosidad – cSt.
- TAN – Número Total de Acidez.
- Contenido de agua.
- Desgaste por partículas (tamaño %).
- Análisis del contenido de metales (ppm y tamaño) – opcional.

#### **Aceite hidráulico**

- IR – Espectro infrarrojo.
- Apariencia / color.

- Viscosidad cSt.
- TAN – número total de acidez.
- Contenido de agua.
- Desgaste por partículas (tamaño %).
- Espumas.
- Análisis del contenido de metales (ppm y tamaño) – opcional.
- Contenido de partículas – ISO 4406 (opcional).

### Daños frecuentes debidos a contaminación

Diversos tipos de contaminación afectan el aceite de diferentes maneras, pero una cosa es segura, todos ellos acortan el tiempo de vida del aceite y del equipo.

**Tabla 3.2 Tipos de contaminación en aceites**

Tipo de contaminación	Resultados
Polvo (Si, Ca, etc.	Incrementa el desgaste – reduce el tiempo de vida del equipo.
Partículas metálicas.	Desgaste (pequeñas picaduras) – incrementa el desgaste.
Agua.	Reducción de la lubricidad y tiempo de vida del aceite; provoca corrosión.
Hollín.	Depósitos que obstruyen filtros y pasos de aceite.
Dilución.	Reducción de la lubricidad.
Oxidación.	Lacas en pistones y émbolos.
Acidez.	Corrosión y óxido.

**Tabla 3.3 Desgaste de metales y límites de precaución**

Elemento	Límite de precaución	Comentarios
Hierro (FE)	> 100 ppm	Indicación de desgaste de ejes, válvulas, revestimiento de cilindros, cojinetes.
Cromo (Cr)	> 5 ppm	Indicación de desgaste en los anillos de pistón, cojinetes o contaminación de anticongelante.
Cobre (Cu)	> 20 ppm	Desgaste de cojinetes y bushings.
Estaño (Sn)	> 10 ppm	Desgaste de cojinetes y bushings.
Aluminio (Al)	> 20 ppm (> 80 ppm)	Desgaste en pistones o block.
Plomo (Pb)	> 20 ppm	Desgaste de cojinetes. Cuando se usa gasolina con plomo, los resultados no tienen razón.
Boro (B)	> 20 ppm	Indica presencia de líquido anticongelante. Algunos aceites de motores contienen boro como dispersante de aditivos.
Silicón	> 20 ppm	Indica presencia de polvo o arenas. Puede también ser debido a altos niveles de silicónes anti-espumantes.
Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Bario (Ba), Sodio (Na), Fósforo (P), Zinc (Zn)		Estos elementos pueden ser parte de un paquete de aditivos. Ellos quedan en el aceite y no se vacían.

**Tabla 3.4 Causas de daños en rodamientos**

Porcentaje	Causa del daño
45%	Suciedad en cojinetes.
15%	Desalineación en cojinetes.
10%	Defectos de ensamblaje de cojinetes.
10%	Sobrecargas.
10%	Carencia de lubricante.
5%	Óxido y corrosión.
5%	Otras razones Incluyendo, mala lubricación .

### **Desgaste por erosión**

Desgaste causado por erosión cuando las partículas chocan en la superficie del metal a gran velocidad. Los impulsos hacen que se pierdan partículas de la superficie. Este fenómeno se presenta más cuando el flujo es turbulento en el aceite. Las siguientes son algunas de sus causas:

- ✓ Sobre carga local (fatiga por tensiones) de las superficies.
- ✓ Las partículas se introducen en pequeñas grietas o justo debajo de la superficie del aceite.
- ✓ Las grietas se incrementan en tamaño, y finalmente el aceite queda prensado en la grieta creando pequeñas picaduras

### **Polución mecánica**

Desgaste provocado por las partículas de polvo y metal (polución mecánica, contaminación de partículas). Tiene tres causas:

- De fabricación o instalación.
- Desgaste en condiciones de operación, por ejemplo, mantenimiento deficiente
- Polución de servicio, cuando un sistema de lubricación está abierto por reparaciones, inspecciones, servicios de lubricación, etc.

#### **3.1.11 Medición de desgaste**

En algunas aplicaciones es importante conservar las tolerancias de las secciones transversales de los elementos mecánicos. Para conocer la resistencia mecánica de un elemento se realizan pruebas de desgaste de espesores, de esta forma se puede determinar la variación sobre el diseño original y realizar las correcciones pertinentes.

## **Desgaste de superficies**

La causa más frecuente de la generación del desgaste en piezas de máquinas es la fricción. Para minimizar el desgaste se utilizan lubricantes. En el análisis de los lubricantes se presenta de una forma porcentual los materiales desprendidos (desgaste de las distintas piezas en una máquina).

### **3.1.12 Ultrasonido**

Los métodos de pruebas no destructivas ultrasónicas emplean energía vibratoria mecánica de alta frecuencia para detectar y localizar discontinuidades o diferencias estructurales y para medir el espesor de diversos materiales. Un pulso eléctrico se genera en un instrumento de prueba y se transmite a un transductor, que convierte el pulso eléctrico en vibraciones mecánicas. Estas vibraciones de bajo nivel de energía se transmiten a través de un líquido de acoplamiento hacia el objeto que se prueba, en donde la energía ultrasónica se atenúa, se dispersa, se refleja o resuena, para indicar condiciones existentes dentro del material. La energía sonora reflejada, transmitida o resonante se convierte en energía eléctrica mediante un transductor y se retorna al instrumento de prueba, en donde se amplifica. Entonces la energía recibida se exhibe comúnmente en un tubo de rayos catódicos. La presencia, posición y amplitud de los ecos indican condiciones del material que se prueba.

Los materiales capaces de ser probados por energía ultrasónica son aquellos que transmiten energía de vibración. Los materiales se prueban en dimensiones hasta de 30 pies (9.14 m). Pueden probarse plásticos no celulares, cerámica, vidrio, concreto nuevo, materiales orgánicos y caucho. Cada material tiene una velocidad característica del sonido que es una función de su densidad y módulo (elástico o de corte).

Las características de materiales determinables a través de la ultrasónica comprenden discontinuidades estructurales, como defectos y faltas de liga, constantes físicas y diferencias metalúrgicas, y espesor (medido desde un lado). Una aplicación común de la ultrasónica es la inspección de soldaduras respecto de inclusiones, porosidad y falta de penetración y de fusión. Otras aplicaciones incluyen la localización de faltas de liga en los elementos de combustibles nucleares, localización de grietas por fatiga en maquinaria y aplicaciones médicas. La prueba automática se realiza con frecuencia en aplicaciones de fabricación.

Los sistemas ultrasónicos se clasifican como de pulso-eco, en el que se usa un solo transductor, o de transmisión pasante donde se usan transductores separados de transmisión y de recepción. En cualquiera de los dos sistemas, la energía ultrasónica debe transmitirse hacia dentro del objeto de prueba y recibirse de él a través de un medio de acoplamiento, ya que el aire no transmitirá el ultrasonido de estas frecuencias. Se emplean por lo regular como acopladores: agua, aceite, grasa y glicerina.

Las condiciones limitadoras de la prueba ultrasónica pueden ser: la forma del objeto que se prueba, la aspereza de la superficie, el tamaño del grano, la estructura del material, la orientación de los defectos, la selectividad de las discontinuidades o la habilidad del operador.

## **3.2 Evaluación de equipos**

### **3.2.1 Clasificación de equipos según su criticidad**

Para poder priorizar y enfocar las actividades de Mantenimiento se debe asignar un nivel de criticidad a cada equipo de la planta. Tomando los conceptos del Mantenimiento de Clase Mundial, la clasificación queda como sigue:

#### **Criticidad A**

- Es todo aquel equipo que como resultado de una falla provoca el paro inmediato del equipo principal de la línea de producción.

#### **Criticidad B**

- Es todo aquel equipo que como resultado de una falla provoca el paro de la línea de producción en las veinticuatro horas siguientes.
- Equipo que como resultado de una falla provoca la reducción de la producción inmediatamente o dentro las veinticuatro horas siguientes.

#### **Criticidad C**

- Equipo que cuando falla no afecta la producción dentro las 24 horas siguientes.

#### **Criticidad Q**

- Equipo que como resultado de una falla, afecta la calidad del producto.

## **3.3 Indicadores de Efectividad**

Los indicadores de efectividad son utilizados para evaluar la gestión de los equipos. Son de gran utilidad para la toma de decisiones y el establecimiento de metas.

Deben crearse informes precisos y específicos del desempeño de los equipos, algunos de los cuales deben ir acompañados de gráficos fáciles de interpretar, de acuerdo al nivel de gestión.

### 3.3.1 Disponibilidad

La disponibilidad de un equipo representa el tiempo disponible de un *ítem* al servicio de la unidad de producción, la cual se calcula en porcentaje en un tiempo determinado.

Relación entre la diferencia de número de horas del período considerado (horas calendario) con el número de horas de intervención por el personal de mantenimiento, para cada *ítem* observado y el número total de horas del período considerado:

$$DISP = \frac{\Sigma(HCAL - HTMN)}{\Sigma HCAL} \times 100$$

El índice de disponibilidad también es identificado como **performance o desempeño del equipo**. Para cada *ítem* de operación eventual se puede calcular como la relación entre el tiempo total de operación eventual y la suma de este tiempo con el respectivo tiempo total de mantenimiento en el período considerado:

$$DISP = \frac{\Sigma HROP}{\Sigma(HROP + HTMN)} \times 100$$

### 3.3.2 MTBF

Tiempo Promedio Entre Fallas: relación entre el producto del número de *ítems* por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas en cada uno de esos *ítem* en el periodo observado:

$$MTBF = \frac{NOIT \times HROP}{\Sigma NTMC}$$

Este índice debe ser usado para *ítems* que son reparados, después de la ocurrencia de la falla.

### 3.3.3 MTTR

Tiempo Medio Para la Reparación: relación entre el tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de *ítems* con falla, y el número total de fallas detectadas en esos *ítems* en el período observado:

$$MTTR = \frac{\Sigma HTMC}{NTMC}$$

Este índice puede ser usado para *ítems* en los cuales el tiempo de reparación es significativo con respecto al tiempo de operación.

### 3.4 Análisis Causa - Raíz

La causa raíz es la razón básica para una condición o un problema indeseable en una máquina o equipo, que de haberse eliminado o corregido, se habría impedido que existiera u ocurriera.

Se debe tener cuidado en diferenciar claramente los síntomas de las causas, así como las causas aparentes de la causa raíz.

La razón para recolectar e investigar las causas que provocan una situación indeseable es disponer de la información necesaria que nos puede ser de utilidad para evitar un suceso igual o similar que se contrapone a nuestros objetivos.

El proceso de análisis de causa raíz consta de cinco fases:

- I. **Recolección de la información.** Es importante iniciar la recolección de información inmediatamente después de identificado el suceso, para asegurar que no se pierda ningún elemento de importancia. La información debe contener, en lo posible, cada detalle del evento antes, durante y después del suceso. Deben tomarse en cuenta datos del personal involucrado (incluyendo acciones tomadas), factores ambientales, y cualquier información que tenga la importancia del caso.
  
- II. **Análisis de la información.** Cualquier método de análisis de causa raíz puede ser utilizado y seguir los pasos que se enumeran a continuación:
  1. Identificación del problema.
  2. Determinar la importancia del problema.
  3. Identificar las causas inmediatas y delimitar el problema.
  4. Identificar las razones fundamentales que si se hubiesen corregido, se habría evitado el problema.
  
- III. **Acciones correctivas.** En esta fase se deben determinar las acciones correctivas que sean efectivas para eliminar la posibilidad de que el suceso se pueda repetir, o desde el punto de vista proactivo, que se pueda evitar.
  
- IV. **Informe.** Se deben incluir los resultados del análisis, acciones correctivas, personal involucrado y cualquier información de importancia.
  
- V. **Verificación.** Esta fase consiste en hacer una evaluación que determine si las acciones tomadas han sido efectivas para la solución del problema.

### 3.4.1 Definición de prioridades

Existen tres criterios que permiten definir la prioridad de las averías:

- Ocurrencia (O)
  - Frecuencia de la falla
- Severidad (S)
  - Grado de impacto de la falla
- Detección (D)
  - Facilidad para su detección.

**Tabla 3.5 Probabilidad de ocurrencia de las fallas (\*)**

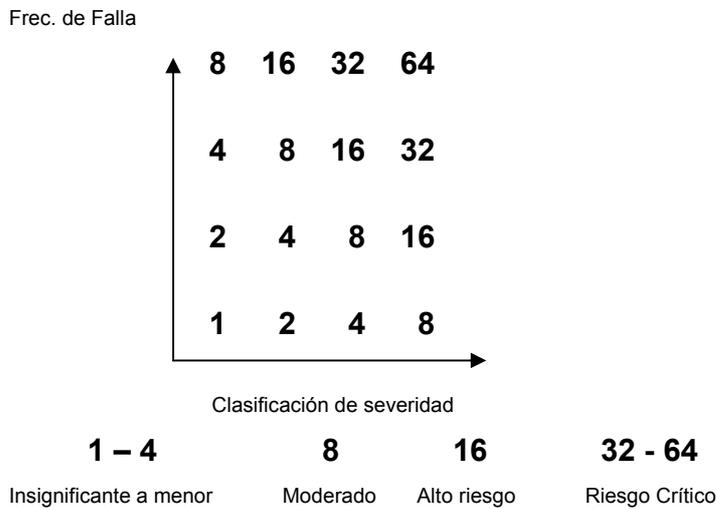
<b>Clasificación de frecuencia</b>	<b>Descripción de la frecuencia</b>
1	No se espera que ocurra durante la vida útil de la instalación
2	Se espera que ocurra al menos una vez cada uno a cinco años
4	Se espera que ocurra al menos una vez cada un mes a un año
8	Se espera que ocurra al menos una vez al mes

\*Estos valores son solamente orientativos.

**Tabla 3.6 Clasificación de la severidad de las fallas**

<b>Clasificación</b>	<b>Medio ambiente</b>	<b>Pérdida de producción</b>	<b>Daños a equipos o instalaciones</b>
1	Daño potencial medio	Menos de una hora	Menos de USD 1,000.00
2	Sin problema legal o mediático	Entre 1 y 8 horas	De USD 1,000.00 a USD 5,000.00
4	Con problema legal o mediático	Entre 8 a 24 horas	De USD 5,000.00 a USD 50,000.00
8	Problema mediático nacional e internacional	Más de un día	Mas de USD 50,000.00

**Fig. 3.4 Matriz de categorización de las fallas**



### 3.4.2 Reducción de fallas

Para reducir las fallas es importante llevar a cabo las siguientes actividades:

- ✓ Iniciar el uso de código de fallas.
- ✓ Registrar MTBF y MTTR.
- ✓ Análisis de fallas por el programador.
- ✓ Análisis de fallas por el supervisor.
- ✓ Aplicar criterio de riesgo.

### 3.4.3 Perfil de riesgo

Evaluar la probabilidad de repetición de la falla en un equipo implica la utilización de una matriz llamada Perfil de Riesgo, en la cual se puede graficar el nivel de criticidad de la condición y probabilidad de la falla.

Utilizando los indicadores de disponibilidad y MTBF, podemos determinar la probabilidad de la falla.

**Tabla 3.7 Criterios para el perfil de riesgo**

Rango de análisis		
<b>MTBF</b>	Menor de 65 hrs.	Análisis directo
	Entre 65-95 hrs. 3 semanas consecutivas	Implica análisis
	Mayor de 95 hrs.	Ninguna acción
<b>Disponibilidad</b>	0-50%	Catastrófica
	50-85%	Crítica
	85-87%	Marginal
	87-89%	Buena
	89-100%	Muy buena

**Fig. 3.5 Matriz de perfil de riesgo**

HAC:	21-323-ED5	Unidad de proceso:		HARINA CRUDA	
Equipo:	VÁLVULA ROTATIVA	FECHA:		11.07.03	
<b>DISPONIBILIDAD</b>	<b>A</b> CATASTRÓFICA 50-0%				
	<b>B</b> CRÍTICA 85-50%				
	<b>C</b> MARGINAL 87-85%				
	<b>D</b> BUENA 89-87%				
	<b>E</b> MUY BUENA 100-89%				
<b>MTBF</b>	<b>IV</b> BUENO	<b>III</b> MARGINAL	<b>II</b> CRITICO	<b>I</b> CATASTROFICO	
<b>CONSECUENCIA</b>	<b>S</b> Seguridad				
	<b>M</b> Medio Ambiente				
	<b>O</b> Operacional	168-95 HRS	95-80 HRS	80-65 HRS	65-0 HRS
	<b>E</b> Equipo (daño)				

## **4. INVESTIGACIÓN PROPUESTA**

### **4.1 Disponibilidad equipos críticos de refrigeración en Empacadora Toledo, S.A. Planta Amatitlán.**

Hacia finales del año 2004, la disponibilidad calculada de los equipos críticos de refrigeración en Empacadora Toledo era del 75%. Tras implementar una serie de iniciativas y estrategias de Mantenimiento de Clase Mundial, la disponibilidad de estos equipos subió a 85% hacia finales del año 2005. Actualmente (inicios 2007) se encuentra en promedio arriba del 90%. Vamos a analizar en qué consiste la disponibilidad de los equipos, la forma en la que se hace el cálculo de estas disponibilidades y el formato que se usa para tal efecto.

#### **4.1.1 Disponibilidad de equipos**

La Disponibilidad de un equipo es el principal indicador de su eficiencia y, en términos generales, indica el porcentaje de tiempo que el equipo estuvo realmente “disponible”, respecto al tiempo total que debería de haberlo estado. En otras palabras, si una línea de proceso o planta trabaja 16 hrs diarias, necesitamos que los equipos involucrados estén disponibles durante esas 16 hrs del día, si por alguna razón no-externa, el equipo se detiene o falla, el tiempo en el que esté parado o averiado, afectará su nivel de disponibilidad. Si el paro del equipo se debe a razones externas (suspensión del servicio eléctrico, por ejemplo), el tiempo no afectará la disponibilidad del equipo. Existen ocasiones en las que un equipo de la línea de proceso detiene toda la línea, en este caso la disponibilidad afectada es la del equipo que se detiene o falla, no así las del resto de equipos de la línea; para estos equipos se trata de un paro externo.

#### **4.1.2 Cálculo de la disponibilidad de los equipos**

Para calcular la disponibilidad de los equipos que se analizan es adecuado desarrollar una hoja electrónica que, a través de las fórmulas adecuadas, nos permita fácilmente llevar el registro de lo que acontece. Algunos de los datos que se recaban en la hoja electrónica sirven para calcular varios indicadores. Para el cálculo de la disponibilidad la hoja electrónica debe contener los siguientes datos:

- ✓ Tiempo total disponible del periodo (TTDP): dependiendo del periodo analizado, será el tiempo diario, semanal o mensual en el que el equipo debe estar disponible para su utilización. Si se tratara del caso expuesto en el punto anterior y se estuviese calculando para una semana laboral de seis días, el cálculo sería el siguiente:  $16 \text{ hrs} \times 6 \text{ días} = 96 \text{ hrs}$  en la semana.
- ✓ Tiempo de paros preventivos programados (TPPP): consiste en la suma de todos los tiempos de paro debido a mantenimiento preventivo que se

realizan al equipo dentro del horario en el que tiene que estar disponible, en el caso ejemplo, dentro de las 16 hrs del día de semana laboral.

- ✓ Tiempo de paros correctivos programados (TPCP): idem al punto anterior, sólo que de los mantenimientos correctivos programados.
- ✓ Total de horas de paro por fallas (THPF): suma de los tiempos de paro por fallas o averías emergentes de cualquier tipo.

Utilizando los datos descritos anteriormente, la disponibilidad de un equipo se calcula como sigue:

$$\% \text{ Disp} = [TTDP - (TPPP+TPCP+THPF)] / TTDP$$

A continuación se presenta el formato utilizado para el cálculo automático de la disponibilidad de los equipos críticos de refrigeración de Empacadora Toledo, S.A.

**Fig. 4.1 Formato cálculo Disponibilidad de equipos**

**Empacadora Toledo S.A.**

Planta  
Semana No. del al  
Mes  
Año

MAQUINA	Tiempo Total Disponible del periodo (hrs) TTD	Tiempo de Paros Preventivos Programados (hrs) TPPP	Tiempo de Paros Correctivos Programados (hrs) TPCP	Tiempo de Operación Programado (hrs) TOP	Número de Paradas por falla NPF	Minutos totales de Paro por fallas	Total de Horas de Paro por fallas	Tiempo de Operación Neto (hrs) TON
Compresor Vilter #1	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Compresor Vilter #2	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Compresor Vilter #3	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Compresor Vilter #4	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Compresor Vilter #5	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Copresor Mycom	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Compresor Frick	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Torre Mycom	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Torre Vilter	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Torre Frick	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Evaporador # 1 Cámara 100-CM01	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Evaporador # 2 Cámara 100-CM01	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Evaporador # 3 Cámara 100-CM01	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Evaporador # 4 Cámara 100-CM01	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Evaporador # 1 Cámara 100-CM02	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Evaporador # 2 Cámara 100-CM02	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Evaporador #1 Cámara 100-CM03	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Evaporador # 1 Cámara 100-CM04	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Evaporador # 2 Cámara 100-CM04	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Evaporador # 10 Cámara 100-CM05	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Evaporador # 11 Cámara 100-CM07	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Evaporador # 12 Cámara 100-CM10	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
Evaporador #13 cámara 100-CM11	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000

Índice de Disponibilidad  
Gral. De equipos

## **4.2 Pasos necesarios para incrementar la Disponibilidad de los equipos críticos de refrigeración de Empacadora Toledo, S.A. Planta Amatlán.**

A continuación se describen las actividades necesarias para mejorar la disponibilidad de los equipos críticos de refrigeración de Empacadora Toledo, S.A. Es importante tomar en cuenta la secuencia de los pasos para asegurar una implementación más eficaz:

### **4.2.1 En términos de la gestión de los equipos:**

- 1) Desarrollo del listado completo de equipos de refrigeración de Empacadora Toledo, S.A., planta Amatlán. El listado debe contener todos los equipos y subequipos sujetos a mantenimiento.
- 2) Definición de la criticidad de los equipos de refrigeración enlistados, para determinar cuáles son críticos A, B y C. Esta investigación se ocupará únicamente de los equipos clasificados como críticos A.
- 3) Desarrollo de los listados de repuestos críticos de los equipos críticos de refrigeración. Los listados de repuestos son importantes al momento de definir los planes de mantenimiento. El carecer de un repuesto importante al momento de un mantenimiento planificado, tira por el suelo la efectividad del mantenimiento específico.
- 4) Seguimiento al sistema de Solicitud de Mantenimiento/Reporte de Fallas y Ordenes de Trabajo de los equipos críticos de refrigeración. Esto es necesario para asignar los trabajos de mantenimiento al personal, contabilizar los tiempos de paro de los equipos debido a actividades de mantenimiento y como registro de las actividades desarrolladas en un equipo específico (historial del equipo).

### **4.2.2 En términos de la gestión del mantenimiento:**

- 1) Desarrollo del formato para cálculo de disponibilidades en equipos críticos de planta. La importancia de este formato quedó clara en el punto 4.1.
- 2) Desarrollo e implementación del formato de Control de Tiempos de Operación / Tiempos de Parada de los equipos. En este formato el personal de Producción y de Mantenimiento reportan los tiempos de paro de los equipos dentro del horario diario de trabajo e identifican la posible causa del paro o falla. Estos datos son necesarios para el cálculo de la disponibilidad.
- 3) Análisis de Pareto mensual por área para determinar los equipos críticos de refrigeración que presentan mayor cantidad de problemas y las fallas que más se repiten. Los equipos con mayor número de fallas y las fallas recurrentes se convierten en las prioridades del sistema de gestión de mantenimiento.

- 4) Desarrollo del formato y aplicación de estudios FMEA para familias de equipos críticos. Estos análisis ayudan a tipificar las causas raíces de las fallas en los equipos críticos antes o después que ocurran (es deseable que sea antes), determinan las actividades de mantenimiento necesarias para corregir y/o evitar estas fallas y sirven como fuente de información para el desarrollo de las rutinas y planes de mantenimiento preventivo.
- 5) Revisión de las rutinas de mantenimiento preventivo nocturnas y diurnas de los equipos críticos de refrigeración (limpieza y tipo VOSO, principalmente), su actualización y ajuste a los requerimientos de cada equipo.
- 6) Creación e implementación de rutinas preventivas de monitoreo de condición (análisis de aceite, termografía, monitoreo de vibraciones, ultrasonido, etc.), para los equipos críticos de refrigeración que lo requieran.
- 7) Desarrollo de un estudio de lubricación para los equipos críticos de refrigeración y determinación de las rutinas preventivas relacionadas. Esto incluye nivelación de aceites, lubricaciones y engrases.
- 8) Creación de Planes Preventivos de Mantto generales en base a rutinas diurnas, nocturnas, monitoreos de condición, lubricación y análisis FMEA.

### **4.3 Actividades de gestión de equipos.**

#### ***4.3.1 Listado de equipos de refrigeración de Empacadora Toledo, S.A.***

Es importante enlistar todos los equipos y subequipos pertenecientes al área de refrigeración de Empacadora Toledo, S.A. para delimitar el tipo y cantidad de equipos a analizar. Cada equipo debe ir acompañado como mínimo de su código de activo y su descripción formal.

En la siguiente página se presenta el registro de estos equipos:

**Fig. 4.2 Listado de equipos y subequipos área de refrigeración Empacadora Toledo, S.A.**

<b>Codigo Equipo</b>	<b>Descripción (Toledo)</b>
<b>CR-001</b>	<b>Compresor Reciprocante Vilter #1</b>
ME3-004	Motor Electrico Compresor Reciprocate Vilter #1
CR3-001	Compresor Reciprocante Vilter #1
<b>CR-002</b>	<b>Compresor Reciprocante Vilter #2</b>
ME3-005	Motor Electrico Compresor Reciprocante Vilter # 2
CR3-002	Compresor Reciprocante Vilter # 2
<b>CR-003</b>	<b>Compresor Reciprocante Vilter #3</b>
ME3-006	Motor Electrico Comp.resor Reciprocante Vilter # 3
CR3-003	Compresor Reciprocante Vilter # 3
<b>CR-004</b>	<b>Compresor Reciprocante Vilter #4</b>
ME3-007	Motor Electrico Compresor Reciprocante Vilter # 4
CR3-004	Compresor Reciprocante Vilter # 4
<b>CR-005</b>	<b>Compresor Reciprocante Vilter #5</b>
ME3-008	Motor Electrico Compresor Reciprocante Vilter # 5
CR3-005	Compresor Reciprocante Vilter # 5
<b>CT-001</b>	<b>Compresor Tornillo Mycom</b>
ME3-010	Motor Eléctrico Compresor Tornillo Mycom
CT3-001	Compresor Tornillo Mycom
BO2-001	Bomba Aceite Compresor Tornillo Mycom
ME2-029	Motor Eléctrico Bomba Aceite Compresor Mycom
<b>CT-002</b>	<b>Compresor Tornillo Frick</b>
ME3-011	Motor Eléctrico Compresor Tornillo Frick
CT3-002	Compresor Tornillo Frick
BA1-001	Bomba Presión Aceite Compresor Tornillo Frick
ME1-066	Motor Eléctrico Bomba Presión Aceite Compresor Tornillo Frick
<b>EV-005</b>	<b>Evaporador # 1 Cámara 151-CM02</b>
ME0-091	Motor Eléctrico Ventilación # 1 Evaporador Cámara 151-CM02
ME0-092	Motor Eléctrico Ventilación # 2 Evaporador Cámara 151-CM02
ME0-179	Motor Eléctrico Ventilación # 3 Evaporador Cámara 151-CM02
<b>EV-006</b>	<b>Evaporador # 2 Cámara 151-CM02</b>
ME0-093	Motor Eléctrico Ventilación # 1 Evaporador Cámara 151-CM02
ME0-094	Motor Eléctrico Ventilación # 2 Evaporador Cámara 151-CM02
ME0-178	Motor Eléctrico Ventilación # 3 Evaporador Cámara 151-CM02
<b>EV-007</b>	<b>Evaporador #1 Cámara 151-CM03</b>
ME0-095	Motor Eléctrico Ventilación # 1 Evaporador Cámara 151-CM03
ME0-096	Motor Eléctrico Ventilación # 2 Evaporador Cámara 151-CM03
ME0-097	Motor Eléctrico Ventilación # 3 Evaporador Cámara 151-CM03
ME0-098	Motor Eléctrico Ventilación # 4 Evaporador Cámara 151-CM03
<b>EV-008</b>	<b>Evaporador # 1 Cámara 151-CM04</b>
ME0-099	Motor Eléctrico Ventilación # 1 Evaporador Cámara 151-CM04
ME0-100	Motor Eléctrico Ventilación # 2 Evaporador Cámara 151-CM04
ME0-101	Motor Eléctrico Ventilación # 3 Evaporador Cámara 151-CM04
ME0-102	Motor Eléctrico Ventilación # 4 Evaporador Cámara 151-CM04

#### 4.3.2 Criticidad de los equipos de refrigeración de Empacadora Toledo, S.A.

Por la complejidad lógica que supone, es muy difícil establecer programas efectivos de mantenimiento preventivo para una gran cantidad de equipos. Por esta razón es importante hacer una clasificación de los mismos que permita orientar las actividades y controles de mantenimiento a aquellos que son más críticos. Existen muchos criterios para definir esta criticidad, algunos de ellos son: impacto ambiental, impacto en el proceso productivo, impacto en otros equipos, impacto en la seguridad del personal, etc. En cualquier caso, la mezcla de los resultados numéricos ponderados de cada parámetro es la que establece la criticidad final del equipo evaluado.

En el caso de Empacadora Toledo, S.A., se han establecido dos tipos de parámetros para definir la criticidad de los equipos de refrigeración: parámetros de planta y parámetros de mantenimiento. Nos concentraremos en éstos últimos porque son los representativos para la definición de la estrategia de mantenimiento. A continuación se describen los parámetros de mantenimiento y se indica el porcentaje ponderado que cada uno representa en la sumatoria total que establece la criticidad del equipo:

**Tabla 4.1 Parámetros de mantenimiento para definir la criticidad de equipos**

<i>Parámetro</i>	<i>Descripción</i>	<i>Niveles</i>	<i>Porcentaje Ponderado</i>
Incidencia sobre la Producción	Qué tanto influye una parada sobre el proceso productivo; lo detiene inmediatamente, al mediano plazo o al largo plazo	Parada inmediata, en las próximas 12 hrs o después de las próximas 12 hrs (o nunca).	50% del total
Grado de Mantenibilidad	El tiempo y/o costo de reparación es elevado, soportable o irrelevante.	Alto, medio, bajo	34% del total
Redundancia de Equipo	Existencia de equipo de reserva o redundante. Se pudiera prescindir completamente del equipo?	Si, No	16% del total

A continuación se presenta el formato de evaluación de la criticidad de los equipos de Empacadora Toledo, S.A.:

Fig. 4.3 Formato de criticidad equipos de Empacadora Toledo, S.A.

Ubicación Técnica	No. Equipo	Denominación de la ubicación técnica	INCIDENCIA SOBRE LA PRODUCCION			GRADO DE MANTENIBILIDAD			EXISTE ALGUN EQUIPO DE BACK-UP/ES EL EQUIPO REDUNDANTE		Criticidad de Mantto	Sum. Crit.
			Inmediato	<= 12 hrs.	> 12 hrs.	Alto	Medio	Bajo	SI	NO		
<b>AREA</b>			<b>150</b>	<b>75</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>50</b>		
TG-151	CR-001	Compresor Reciprocante Vilter #1		1			1		1		B	125.0
TG-151	ME3-004	Motor Eléctrico Compresor Reciprocate Vilter #1		1			1		1		B	125.0
TG-151	CR3-001	Compresor Reciprocante Vilter #1		1			1		1		B	125.0
TG-151	CR-002	Compresor Reciprocante Vilter #2		1			1		1		B	125.0
TG-151	ME3-005	Motor Eléctrico Compresor Reciprocante Vilter # 2		1			1		1		B	125.0
TG-151	CR3-002	Compresor Reciprocante Vilter # 2		1			1		1		B	125.0
TG-151	CR-003	Compresor Reciprocante Vilter #3		1			1		1		B	125.0
TG-151	ME3-006	Motor Eléctrico Comp.resor Reciprocante Vilter # 3		1			1		1		B	125.0
TG-151	CR3-003	Compresor Reciprocante Vilter # 3		1			1		1		B	125.0
TG-151	CR-004	Compresor Reciprocante Vilter #4		1			1		1		B	125.0
TG-151	ME3-007	Motor Eléctrico Compresor Reciprocante Vilter # 4		1			1		1		B	125.0
TG-151	CR3-004	Compresor Reciprocante Vilter # 4		1			1		1		B	125.0
TG-151	CR-005	Compresor Reciprocante Vilter #5		1			1		1		B	125.0
TG-151	ME3-008	Motor Eléctrico Compresor Reciprocante Vilter # 5		1			1		1		B	125.0
TG-151	CR3-005	Compresor Reciprocante Vilter # 5		1			1		1		B	125.0
TG-151	CT-001	Compresor Tornillo Mycom		1			1			1	A	175.0
TG-151	ME3-010	Motor Eléctrico Compresor Tornillo Mycom			1		1			1	B	100.0
TG-151	CT3-001	Compresor Tornillo Mycom			1		1			1	B	100.0
TG-151	BA2-001	Bomba Aceite Compresor Tornillo Mycom			1		1			1	B	100.0
TG-151	ME2-029	Motor Eléctrico Bomba Aceite Compresor Mycom		1	1					1	B	125.0
TG-151	CT-002	Compresor Tornillo Frick		1	1	1					A	175.0
TG-151	ME3-011	Motor Eléctrico Compresor Tornillo Frick			1		1			1	B	100.0
TG-151	CT3-002	Compresor Tornillo Frick			1			1		1	C	50.0
TG-151	BA1-001	Bomba Presión Aceite Compresor Tornillo Frick			1			1		1	C	50.0
TG-151	ME1-066	Motor Eléctrico Bomba Presión Aceite Compresor Tornillo Frick			1		1			1	C	50.0
TG-151	EV-005	Evaporador # 1 Cámara 151-CM02		1							B	75.0
TG-151	ME0-091	Motor Eléctrico Ventilación # 1 Evaporador Cámara 151-CM02			1			1			C	0.0
TG-151	ME0-092	Motor Eléctrico Ventilación # 2 Evaporador Cámara 151-CM02			1			1			C	0.0
TG-151	ME0-179	Motor Eléctrico Ventilación # 3 Evaporador Cámara 151-CM02			1			1			C	0.0
TG-151	EV-006	Evaporador # 2 Cámara 151-CM02		1				1			B	75.0
TG-151	ME0-093	Motor Eléctrico Ventilación # 1 Evaporador Cámara 151-CM02			1			1			C	0.0
TG-151	ME0-094	Motor Eléctrico Ventilación # 2 Evaporador Cámara 151-CM02			1			1			C	0.0
TG-151	ME0-178	Motor Eléctrico Ventilación # 3 Evaporador Cámara 151-CM02			1			1			C	0.0
TG-151	EV-007	Evaporador #1 Cámara 151-CM03		1				1			B	75.0
TG-151	ME0-095	Motor Eléctrico Ventilación # 1 Evaporador Cámara 151-CM03			1			1			C	0.0
TG-151	ME0-096	Motor Eléctrico Ventilación # 2 Evaporador Cámara 151-CM03			1			1			C	0.0
TG-151	ME0-097	Motor Eléctrico Ventilación # 3 Evaporador Cámara 151-CM03			1			1			C	0.0
TG-151	ME0-098	Motor Eléctrico Ventilación # 4 Evaporador Cámara 151-CM03			1			1			C	0.0
TG-151	EV-008	Evaporador # 1 Cámara 151-CM04		1				1			B	75.0
TG-151	ME0-099	Motor Eléctrico Ventilación # 1 Evaporador Cámara 151-CM04			1			1			C	0.0
TG-151	ME0-100	Motor Eléctrico Ventilación # 2 Evaporador Cámara 151-CM04			1			1			C	0.0
TG-151	ME0-101	Motor Eléctrico Ventilación # 3 Evaporador Cámara 151-CM04			1			1			C	0.0
TG-151	ME0-102	Motor Eléctrico Ventilación # 4 Evaporador Cámara 151-CM04			1			1			C	0.0
			<b>0</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>		

Equipos críticos A	0	0%
Equipos críticos B	5	100%
Equipos críticos C	0	0%
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>

### 4.3.3 Listado de repuestos críticos

Es importante definir los repuestos críticos de los equipos críticos de refrigeración para considerarlos y tenerlos presentes al momento de planificar los mantenimientos preventivos.

Es necesario incluir en el listado de repuestos críticos aquellos parámetros que nos ayuden a tener mejor control sobre sus existencias y administración dentro de la bodega. Para Empacadora Toledo, S.A., se han incluido los siguientes parámetros: proveedor, máquina a la que pertenece, código y descripción contable, número de parte del proveedor, criticidad del repuesto, stock de inventario, precio unitario y total, consumo periódico, stock mínimo, stock de seguridad, punto de pedido, lote óptimo, clasificación CEO (consumible, estratégico u obsoleto) y ubicación dentro de la bodega, entre otros.

A continuación se presenta el formato utilizado para la recopilación de la información pertinente a los repuestos:

**Fig. 4.4 Formato de administración y control de repuestos en inventario**

NOBRE DEL PROVEEDOR	MAQUINA - EQUIPO	CODIGO INVENTARIO	DESCRIPCION DEL REPUESTO - MATERIAL (SEGUN MANUAL)	NO. DE PARTE DEL PROVEEDOR	CRITICIDAD DEL REPUESTO	CONSUMO ANUAL
STIA COMERCIALIZADORA	Compresor Frick	80S007	SLIDE VALVE POT 534D0523G02	534D0523G02	#REF!	1
STIA COMERCIALIZADORA	Compresor Frick	80S005	SLIDE STOP POT 111C0041148	111C0041148	#REF!	2
STIA COMERCIALIZADORA	Compresor Frick	80R002	REG VALVE 3/8 FDA-1-0/80 954A0	954A0	#REF!	0
STIA COMERCIALIZADORA	Compresor Frick	80P002	PRESS TRANSD 0-200 333C0001345	333C0001345	#REF!	0
STIA COMERCIALIZADORA	Compresor Frick	80C004	ORING 156/70 NEO A15250Y-59EF	A15250Y-59EF	#REF!	0
STIA COMERCIALIZADORA	Compresor Frick	80C002	ORING 5/32 A15253P-59ET	59ET	#REF!	0
STIA COMERCIALIZADORA	Compresor Frick	80L001	LIQUID LEVEL SW 536A1419H-D1	536A1419H-D1	#REF!	0
STIA COMERCIALIZADORA	Compresor Frick	80G002	GSKT 7-13/16X1/8 959A0053H-D1	959A0053H-D1	#REF!	0
STIA COMERCIALIZADORA	Compresor Frick	80G001	GASKET OIL FILT 959A0082H-D1	959A0082H-D1	#REF!	0
STIA COMERCIALIZADORA	Compresor Frick	80F002	FILTROP H-ALER CP-425131	CP-425131	#REF!	5
NORTHEAST (USA)	Compresor Vilter #1	74Y001	YOKE 440 SAFETY HEAD 31941B	31941B	#REF!	2
NORTHEAST (USA)	Compresor Vilter #1	74W003	WASHER FLYWHEEL HUB SCR 33495A	33495A	#REF!	0
NORTHEAST (USA)	Compresor Vilter #1	74W001	WATER JACKET GASKET F V33329A	V33329A	#REF!	4
NORTHEAST (USA)	Compresor Vilter #1	74S007	SPRING SAFETY HEAD 31882A	31882A	#REF!	0
NORTHEAST (USA)	Compresor Vilter #1	74S005	SAFETY VALVE V1721B	V1721B	#REF!	10
NORTHEAST (USA)	Compresor Vilter #1	74R004	RELAY 11 PINES 10A 250V		#REF!	1
NORTHEAST (USA)	Compresor Vilter #1	74R003	RETAINER REAR BEARING 31904A	31904A	#REF!	0
NORTHEAST (USA)	Compresor Vilter #1	74P002	PISTON PIN V4CRP-016	V4CRP-016	#REF!	0
NORTHEAST (USA)	Compresor Vilter #1	74C006	OIL FAILURE SW 1643AB	1643AB	#REF!	0
NORTHEAST (USA)	Compresor Vilter #1	74C003	OIL RING V4CRP-013	V4CRP-013	#REF!	8
NORTHEAST (USA)	Compresor Vilter #1	74L004	LIQUID LEVEL SW 536A1419H-D1	536A1419H-D1	#REF!	0
NORTHEAST (USA)	Compresor Vilter #1	74L002	LOW PRESS SW 1643W	1643W	#REF!	0
NORTHEAST (USA)	Compresor Vilter #1	74C002	GASKET KIT KT 043p	043P	#REF!	7
NORTHEAST (USA)	Compresor Vilter #1	74C006	COLUMN NIVEL HANSEN LC-02		#REF!	0
NORTHEAST (USA)	Compresor Vilter #1	74C005	CYLINDER COVER GKT 33330 Ap	33330 AP	#REF!	15
YORK	Compresor Mycom	62T005	TRANSD PRES 0-500 745001510000	0-500 745001510000	#REF!	0
YORK	Compresor Mycom	62T004	TRANSD PRES 0-100 745001500000	0-100 745001500000	#REF!	0
YORK	Compresor Mycom	62T001	TRANSIENT SUPP DIODE 0-100 7450015000	0-100 745001500000	#REF!	0
YORK	Compresor Mycom	62P010	PROBE TEMP 8.375" 71500006A002	71500006A002	#REF!	0
YORK	Compresor Mycom	62P009	PROBE TEMP 5.375" 71500006A001	71500006A001	#REF!	0
YORK	Compresor Mycom	62P008	PROBE TEMP 4" LENG 71500006A000	71500006A000	#REF!	0
YORK	Compresor Mycom	62C005	O-RING CS0420-E	CS0420-E	#REF!	0
YORK	Compresor Mycom	62M001	METER HOUR 5MDC 725002750000	7.25003E+11	#REF!	0
YORK	Compresor Mycom	62F003	FILTER 932349Q	932349Q	#REF!	4
YORK	Compresor Mycom	62B007	BEARING SPACER 200 SL CS0410-E	CS0410-E	#REF!	0



Las Ordenes de Trabajo de mantenimiento se generan a raíz de una de las siguientes situaciones:

- ✓ Como respuesta a una Solicitud de Mantenimiento/Reporte de Fallas generada por Producción, Control de Calidad, Administración, Mantenimiento mismo o cualquier otro departamento involucrado.
- ✓ Como respuesta a una emergencia o actividad necesaria y para la que no existió aviso previo.
- ✓ Como parte de un plan de mantenimiento específico.

La importancia de la Orden de trabajo radica en que es el medio formal de asignación de trabajos al personal de mantenimiento y de documentación de las actividades llevadas a cabo en determinado equipo (alimenta el historial del equipo).

La información recopilada en las Ordenes de Trabajo tiene diferentes utilidades:

- ✓ Los tiempos que se establecen ayudan a determinar los indicadores (KPI's) de mantenimiento.
- ✓ Las horas-hombre de trabajo reportadas ayudan a determinar el nivel de utilización de la mano de obra de mantenimiento y determinan el costo que este rubro conlleva para cada equipo.
- ✓ Los repuestos y materiales consumidos determinan el costo de este rubro para cada equipo.
- ✓ Las actividades llevadas a cabo y los procedimientos y herramientas utilizados sirven de referencia para futuros trabajos similares.
- ✓ Los requisitos de seguridad necesarios para desarrollar las actividades también sirven de referencia para trabajos futuros.
- ✓ El tipo de Orden de Trabajo (preventiva, correctiva o emergente), nos indica el nivel y calidad de mantenimiento que estamos dando a los equipos y sirve de indicador para conocer el grado de planificación con el que estamos trabajando.

En definitiva, la Orden de Trabajo es la base de análisis sobre la que se apoya cualquier sistema de mantenimiento preventivo, y por lo tanto, cualquier intento de mejorar la disponibilidad de los equipos de planta.

A continuación aparece el formato de Orden de Trabajo utilizado en Empacadora Toledo, S.A.:

Fig. 4.6 Formato de Orden de Trabajo

<b>Orden de Trabajo (OT)</b>						
Planta:		Area/Departamento:				
Fecha programada:		Clase OT:		# OT :		
Ubicación Técnica:			# Equipo:			
Descripción Equipo:				Criticidad Equipo:		
# Solic. Mantto/Rep. Falla:			Prioridad Solic. Mantto/OT:			
Descripción Solic. Mantto/Rep. Falla:						
Status OT:		General:		Específico:		
Puesto de Trabajo Resp:			Descrip. Puesto Trabajo:			
Tareas a realizar / Realizadas:				Hr. Inicio	Hr. Final	
1	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
5	<input type="checkbox"/>					
<b>TAREA FINAL: Dejar el área de trabajo ordenada y limpia</b>						
M/O						
Correlativo:	Nombre:	Hrs. Estimadas:	Hrs. Reales:		Fecha:	
			Hrs. Ordinarias	Hrs. Extras		
Repuestos/Materiales						
Código Toledo:	Descripción:	Cantidad req:	Unidad Medida:	Costo (Q):		

## **4.4 Actividades de gestión de mantenimiento.**

### ***4.4.1 Control de Tiempos de Operación / Tiempos de Parada de los equipos***

Para poder establecer los tiempos reales de operación de los equipos, es necesario que se reporten los horarios y tiempos en los que se encuentran parados por falla o avería. Este dato es de suma importancia en el cálculo de la disponibilidad. Si el paro se debe a una causa externa al equipo (suspensión del servicio eléctrico, catástrofe natural u otro), también es importante que se documente en este registro, de esta forma los tiempos pueden restarse de los totales que componen la fórmula de cálculo de la disponibilidad. La medición del tiempo que dura la reparación también sirve para determinar la rapidez de acción y el nivel de especialización del personal de Mantenimiento.

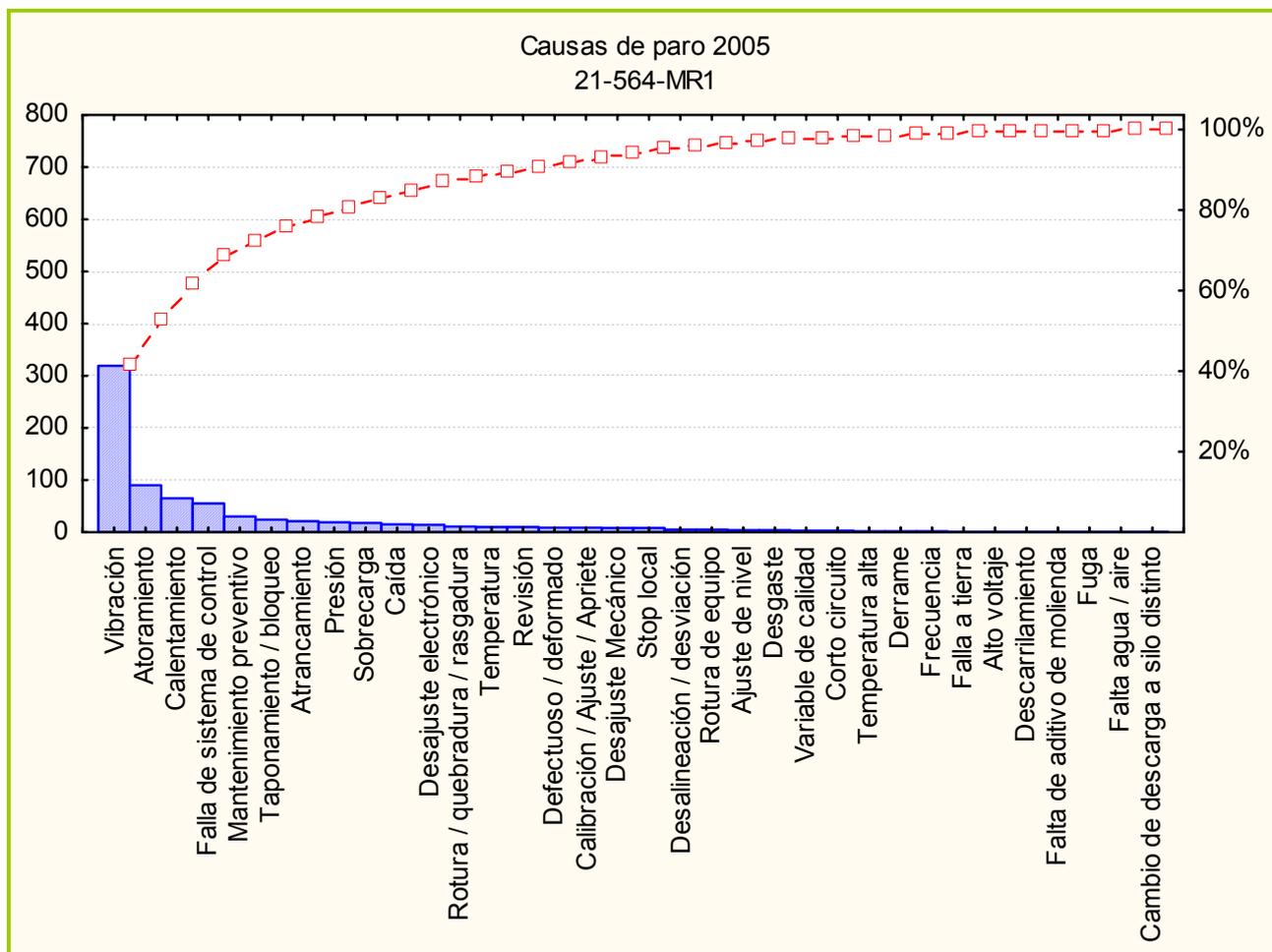
Ocurre frecuentemente que los operadores, personal de Producción y de Control de Calidad reportan los paros de equipo sin explicar la razón de los mismos. El formato de Control de Tiempos de Operación/Parada de equipos incluye un espacio para describir la causa, por lo menos aparente, de la falla en el equipo; con esto se pretende que el personal involucrado se preocupe por conocer sus partes y operación de manera más profunda, de tal forma que la definición de las fallas y averías sea más concreta, aspecto importante para el Depto. de Mantenimiento.

Suele suceder que el operador del equipo o la persona encargada de reportar los tiempos de parada no lo hace adecuadamente, complicando el cálculo de disponibilidades y haciendo ver lento en su respuesta al personal de Mantenimiento. Para que los tiempos de fallas que se reportan sean lo más objetivos posible, es importante que tanto la persona que reporta como el que restituye el servicio del equipo firmen el reporte de avería al momento que ésta ha concluido.

A continuación aparece el formato de Control de Tiempos de Operación/Parada de equipos utilizado en Empacadora Toledo, S.A.:



**Fig. 4.8 Gráfica de Pareto típica**



#### 4.4.3 Análisis FMEA

Recordaremos del Marco Teórico la importancia de los análisis de causa raíz de fallas para encontrar las soluciones definitivas a los problemas que puedan presentarse en los equipos. En ese momento se presentó la matriz de riesgo, que es la que determina, a través de las características de la falla, si ésta puede ser despreciable, marginal, crítica o catastrófica. Dependiendo de las políticas de cada empresa, los análisis FMEA (Análisis de Modos y Efectos de Falla), pueden definirse sólo para aquellos equipos cuyas fallas puedan ser críticas o catastróficas. Este es el criterio adoptado para Empacadora Toledo, S.A.

El análisis FMEA es una herramienta que nos permite encontrar la causa raíz de los problemas que se presentan o se pueden presentar en la maquinaria. Se basa

en una serie de razonamientos consecutivos y progresivos, que permiten indagar y profundizar en el análisis de las fuentes de fallas en los equipos, permitiendo en cada paso bajar más y más el nivel de observación relacionado, hasta el punto de estructurar la(s) solución(es) definitiva(s). Al final, la idea es establecer una serie de actividades, principalmente preventivas, que permitan eliminar el problema (enfoque correctivo) y/o eliminen la posibilidad de que la falla ocurra (enfoque preventivo).

El análisis FMEA presenta la siguiente estructura:

1. *Función del equipo*: Se refiere a las funciones y estándares de eficiencia relacionados al equipo. Para establecerlas es necesario enfocarse en lo que el equipo provee y no en lo que hace. Existen funciones primarias (básicas) y funciones secundarias (relacionadas con la integridad ambiental y estructural, confort, apariencia, protección, economía y eficiencia). Es importante señalar que la función no es lo mismo que la capacidad nominal del equipo.
2. *Falla Funcional*: Se trata de eventos que causan una falla funcional, es decir, una ruptura en la función principal y/o funciones secundarias del equipo. Existen dos tipos generales: falla de la función total del equipo y falla de los parámetros de eficiencia aceptables del equipo.
3. *Modo de Falla*: Describe los eventos aparentes que causan una falla funcional. Tiene diferentes categorías: decaimiento de la capacidad, incremento de eficiencia deseada, incremento en esfuerzo aplicado, incapacidad inicial.
4. *Causa Raíz*: Consiste en la causa-raíz de la falla, es decir, la causa básica de las causas aparentes o generales del Modo de Falla.
5. *Consecuencia/Efecto*: Describe lo que pasa cuando el Modo de Falla ocurre y los efectos que tiene.
6. *Tarea, frecuencia, tiempo, responsable*: Describe la(s) actividad(es) que eliminará(n) la causa raíz de la falla (enfoque correctivo), o que evitará(n) que la falla ocurra (enfoque preventivo); en este último caso, la(s) actividad(es) formarán parte del Plan de Mantenimiento Preventivo del equipo. Estas actividades se llevarán a cabo con determinada frecuencia (única en el caso de una acción correctiva), tomarán un tiempo definido y serán llevadas a cabo por alguien, que se convierte en el responsable de su ejecución.

El siguiente es el formato utilizado en Empacadora Toledo, S.A.:

Fig. 4.9 Formato FMEA utilizado en Empacadora Toledo, S.A.

(a) Hoja de Trabajo

		<b>FMEA</b>		Unidad de Proceso: (Area productiva o Centro de Costo)	Realizado por: (Involucrados)	Hoja
Hoja de trabajo		Equipo: (Código y descripción)		Fecha:		<b>1</b>
Función	Falla funcional	Modo de Falla	Causa Raíz	Consecuencial/Efecto		
1 Cocinar Producto	A No cocina	1 No ahuma	A No hay viruta	Poco humo dentro del horno		
			B Resistencias quemadas	Mayor tiempo de ahumado		
			C Trafo en malas condiciones	Atraso en la producción		
	2 No seca	2 No seca	A Entrada de humedad	Exceso de humedad		
			B Mal flujo de aire	Algunos secan y otros no		
			C Sistema vapor seco	Entrada de vapor al horno		

(b) Hoja de Decisión

		<b>FMEA</b>		Unidad de Proceso:	Realizado por:	Hoja		
Hoja de Decisión		Equipo:		Fecha:		<b>1</b>		
Código	Riesgo	Tarea (sobre la causa raíz)	Frec.	Tiempo	Respon.	Ref. s/n	equipo m/p	Riesgo
1A1A	CIV	Hablar con Producción al respecto	1 vez					CIV
1A1B	CIII	Revisar/inspeccionar resistencias	Mensual	20 min	Mec Emb		m	CIII
1A1C	CIII	Revisar/inspeccionar trafo	Mensual	1 hr	Elec Emb		m	CIII
1A2A	BIII	Revisar radiador vapor seco	Mensual	1 hr	Mec Emb		p	BIII
		Revisar empaque de puertas	Mensual	30 min	Mec Emb		m	
		Verificar procedimiento de lavado/limpieza de hornos	Semanal	30 min	Sup H&S		p	
1A2B	BIII	Inspeccionar dampers, actuadores y blower	Mensual	2 hr	Mec Emb		m	BIII
1A2C	BIII	Revisar válvulas sistemas de vapor seco	Mensual	3 hr	Sup Edif		m	BIII
		Monitoreo con ultrasonido de trampas y válvulas de vapor	Trimestral	5 hr	XXX		m	

#### 4.4.4 Cartas de Lubricación

Una de las mayores fuentes de deterioro en elementos mecánicos es la fricción. El desgaste provocado por la fricción puede llegar a ser catastrófico para los equipos. Los lubricantes sirven para reducir la fricción entre superficies, pero además sirven para hacer sello, evitar la oxidación-corrosión, limpiar superficies y como fluidos transmisores de potencia, entre otras aplicaciones.

Existe una gran cantidad de lubricantes, cada uno con diferentes características, propias de su aplicación específica: viscosidad, aditivos, etc. En cualquier caso, las grasas y los aceites, mal comparados, representan lo que para el ser humano representa la sangre; nos podemos imaginar a un ser humano “trabajando” sin sangre?

Desgraciadamente, muchas de las fallas en los equipos se deben a un control deficiente de sus sistemas y rutinas de lubricación/engrase. Se dan muchos problemas de fugas de aceite o grasa en sellos de elementos de máquina, lo que provoca bajos niveles de lubricante y por lo tanto más fricción. También se dan problemas por elección inadecuada del lubricante, por desplazamiento del mismo debido a altas temperaturas, etc. Todos, causantes de problemas al corto y mediano plazo, con la consecuente reducción de disponibilidad de los equipos.

Es importante tener un medio de control del lubricante que utiliza cada equipo, especialmente para aquellos que son críticos. Las Cartas de Lubricación ofrecen un medio de control interesante, al mismo tiempo que alimentan los planes de mantenimiento preventivo de los equipos. Muchas veces los proveedores de lubricantes pueden asesorarnos en la realización de estas Cartas.

Regularmente, las Cartas de Lubricación contienen la siguiente información:

1. Area y equipo del que se trata.
2. Lubricante(s) adecuado(s) a utilizar: viscosidad, características especiales, nombre comercial, etc.
3. Puntos a lubricar.
4. Cantidad del lubricante a aplicar (en base a cálculos específicos y/o recomendaciones del fabricante).
5. Periodos de inspección de niveles y estado del lubricante, lubricación de los puntos definidos y cambio del lubricante. Estas actividades alimentan el plan de mantenimiento preventivo del equipo y requieren cierto entrenamiento y experiencia.

Se presenta a continuación un ejemplo de Cartas de Lubricación que utiliza Empacadora Toledo, S.A.:

Fig. 4.10 Ejemplo de Carta de Lubricación de Empacadora Toledo, S.A.

EMPACADORA TOLEDO, S.A.				CHEVRON			
CARTA DE LUBRICACIÓN							
AREA: MANTENIMIENTO GENERAL							
EQUIPOS	LUBRICANTE RECOMENDADO	PUNTOS A LUBRICAR	CANT. APLIC.	PERÍODOS DE			OBSERVACIONES
				INSP.	LUB.	CAMB.	
<b>AREA DE FORMADO:</b>							
SIERRA BIRO	FM GREASE NLGI 2	ESPECIFICOS	S/R	D	D	S/R	
MOLINO	RPM UGL 80W90	REDUCTORES	S/R	D	D	S/R	
MEZCLADOR O MTC	RPM UGL 80W90	REDUCTORES (2)	2 L C/U	D	S/R	T	
	LUBE OIL FM ISO 46	BOMBA HIDRAULICA	130 GAL.	D	S/R	A	
	MACHINE OIL AW 100	BOMBA DE VACIO	1 GAL.	D	S/R	A	
<b>AREA LINEA 600:</b>							
FORMADORA KOPPENS	RYKON AW 68	DEPOSITO	30 GAL.	S	BM	S/R	
FORMADORA KOPPENS	FM GREASE NLGI 2	ESPECIFICOS	S/R	D	D	S/R	
CARGADOR KOPPENS	GEAR COMPOUND ISO 68	DEPOSITO	2 LITROS	S	M	BM	
REVOSADORA 600	GEAR COMPOUND ISO 68	2 REDUCTORES	2 LITROS C/U	S	S	M	
EMPAÑIZADORA 600	GEAR COMPOUND ISO 68	2 REDUCTORES	2 LITROS C/U	S	S	M	
FREIDORA 600	GEAR COMPOUND ISO 68	3 REDUCTORES	2 LITROS C/U	S	S	M	
CURVA 600	GEAR COMPOUND ISO 68	1 REDUCTOR	2 LITROS	S	S	M	
CHUMACERAS DEL AREA	FM GREASE NLGI 2	2 CHUMACERAS	S/R	D	D	S/R	
ENTRADA TUNEL 600	TEGRA SYNTHETIC COMPRESOR 100	2 REDUCTORES	2 LITROS C/U	S	S	M	
ENTRADA TUNEL 600	FM GREASE NLGI 2	CHUMACERAS	S/R	D	D	S/R	
JIRAFA 600	GEAR COMPOUND ISO 68	1 REDUCTOR	2 LITROS	S	S	M	
CARGADOR KOPPENS	LUBE OIL FM ISO 100	CADENAS	S/R	D	D	D	
FORMADO EASYFORMER	LUBE OIL FM ISO 100	DEPOSITO	30 GAL.	D	S/R	A	
<b>AREA LINEA 400 KAMPLEX:</b>							
REVOSADORA 600	GEAR COMPOUND ISO 68	1 REDUCTOR	2 LITROS	D	S	M	
BANDA F12	TEGRA SYNTHETIC COMPRESOR 100	1 REDUCTOR	2 LITROS	D	S	M	
FORMADORA F12	RYKON AW 46	DEPOSITO	55 GAL.	D	M	A	
EMPAÑIZADORA 400	GEAR COMPOUND ISO 68	2 REDUCTORES	2 LITROS C/U	D	S	M	
<b>EMBOLSADORAS 1 Y 2:</b>							
REDUCTORES	TEGRA SYNTHETIC COMPRESOR 100	3 REDUCTORES	2 LITROS C/U	D	S	M	
CADENAS HIDRAULICAS / CILINDRO	FM GREASE NLGI 2	BANDAS	S/R	D	D	S/R	
BANDA TRANSPORTADORA DE CAJAS	ULTIPLEX SYNTHETIC GREASE EP 2	1 REDUCTOR	2 LITROS	D	S	M	
DETECTORA DE METALES	FM GREASE NLGI 2	4 CHUMACERAS	S/R	D	D	S/R	
COMPRESOR FRICK	AMMONIA REFRIGERATION OIL 68	DEPOSITO	140 GAL.	D	S/R	SM	

#### **4.4.5 Planes de Mantenimiento de equipos críticos de refrigeración de Empacadora Toledo, S.A.**

En muchos casos sucede (y así sucedía en Empacadora Toledo, S.A.), que los planes de mantenimiento se limitan a un check list sencillo de limpieza y revisión de las partes más importantes del equipo. Si bien es cierto que este tipo de actividades son la base del mantenimiento preventivo, es necesario profundizar un poco más e incluir en estos planes otro tipo de tareas, que nos ayuden a alcanzar una mayor disponibilidad.

Es imprescindible que se incluyan en los planes de mantenimiento preventivo, las tareas de monitoreo de condición como la inspección VOSO, el monitoreo de vibraciones, la termografía, el ultrasonido, el análisis de aceite, etc. Ahora bien, estas actividades “predictivas” no se establecen al azar o a fuerza de sentimiento, surgen de los análisis de los equipos realizados previamente: análisis de Pareto, análisis FMEA (causa-raíz de fallas), cartas de lubricación, y por qué no, también de la experiencia del personal involucrado con el equipo. En este último caso es importante que la decisión de llevar a cabo alguna actividad esté debidamente justificada.

**Los planes de mantenimiento preventivo correctamente desarrollados e implementados, constituyen la conclusión de todos los análisis que se hacen de los equipos y sus fallas, y representan el punto de partida real para el incremento de disponibilidad de los activos de una empresa.**

Es importante que los planes de mantenimiento preventivo contengan, como mínimo, la siguiente información:

- Código y descripción del plan de mantenimiento.
- Código y descripción del equipo al que se le hará el servicio.
- Mecanismo, sección motriz o componente del equipo que será objeto de mantenimiento.
- Tarea o tareas que se llevarán a cabo en los componentes específicos del equipo.
- Frecuencia de ejecución de la(s) tarea(s) preventiva(s).
- Horario o momento en el que se llevara(n) a cabo la(s) tarea(s) de mantenimiento: con el equipo parado, en turno nocturno, por ejemplo.
- Depto. o personal responsable de ejecutar la(s) tarea(s).
- Cantidad de personal involucrado.
- Tiempo necesario para llevar a cabo la(s) tarea(s), en horas hombre.

A continuación se presentan los planes de mantenimiento nocturnos que se llevaban anteriormente para los equipos de refrigeración de Empacadora Toledo, S.A.:

**Fig. 4.11 Planes de mantenimiento nocturnos usados anteriormente para los equipos de refrigeración de Empacadora Toledo, S.A.**

### **COMPRESORES**

- ENGRASAR MOTORES ELÉCTRICOS COMPRESORES VILTER (1 bombazo)
- ENGRASAR MOTOR ELECTRICO COMPRESOR MYCOM (1 bombazo)
- ENGRASAR MOTOR ELECTRICO COMPRESOR FRICK (1 bombazo)
- PURGAR TANQUE RECIRCULADOR VILTER
  
- REVISION DE ACOUPLE DE COMPRESOR FRICK
  
- REVISION DE ACOUPLE DE COMPRESOR MYCOM

### **TORRES DE ENFRIAMIENTO**

- LIMPIEZA INTERIOR (TORRE MYCOM)
  
- RECOGER LOS SOLIDOS QUE SALEN DE LA TORRE
  
- REVISAR EL ESTADO FISICO DE LAS CHUMACERAS
  
- LIMPIEZA INTERIOR (TORRE VILTER)
  
- RECOGER LOS SOLIDOS QUE SALEN DE LA TORRE
  
- REVISAR EL ESTADO FISICO DE LAS CHUMACERAS
  
- LIMPIEZA INTERIOR (TORRE FRICK)

Estos son los nuevos planes de mantenimiento preventivo de los equipos críticos de refrigeración de Empacadora Toledo, S.A.:

**Fig. 4.12 Planes de mantenimiento preventivo actuales de los equipos críticos de refrigeración de Empacadora Toledo, S.A.**



**RUTINAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

No. Equipo	Descripción del equipo	Criticidad Eq	Componente	Tarea/Actividad	Frecuencia	Turno	No. de Personas	Tiempo estimado
ME3-004	Compresor Vilter # 1	B	Ventilador	Revisión/Inspección	Semanal	D/N		4 5hr
ME3-004	Compresor Vilter # 1	B	Cojinetes	Análisis con Estetoscopio	Mensual	D		1 30min
ME3-004	Compresor Vilter # 1	B	Cojinetes	Engrase	Mensual	N		1 30min
ME3-004	Compresor Vilter # 1	B	Retenedor Lado Carga	Revisión/Inspección	Mensual	N		1 30min
ME3-004	Compresor Vilter # 1	B	Estator	Medición de Bobinas(fase-t	Trimestral	D/N		4 5hr
CR3-001	<b>Compresor Vilter # 1</b>	B	Aceite	Revisión/Inspección	Diario	N		1 30min
CR3-001	Compresor Vilter # 1	B	Aceite	Engrase	Semanal	N		1 30min
CR3-001	Compresor Vilter # 1	B	Fajas	Revisión/Inspección	Mensual	D/N		2 2hr
CR3-001	Compresor Vilter # 1	B	Tablero Eléctrico	Limpieza	Mensual	D/N		1 1hr
CR3-001	Compresor Vilter # 1	B	Aceite	Cambio/Sustitución	Semestral	D		3 3hr
CR3-001	Compresor Vilter # 1	B	Filtros de Aceite	Revisión/Inspección	Semestral	D/N		1 2.5hr
CR3-001	Compresor Vilter # 1	B	Filtros de Aceite	Cambio/Sustitución	Semestral	D		1 2hr
CR3-001	Compresor Vilter # 1	B	Enfriador de Aceite	Limpieza	Semestral	D/N		1 2.5hr
ME3-005	<b>Compresor Vilter # 2</b>	B	Ventilador	Revisión/Inspección	Semanal	D/N		4 5hr
ME3-005	Compresor Vilter # 2	B	Cojinetes	Análisis con Estetoscopio	Mensual	D		1 30min
ME3-005	Compresor Vilter # 2	B	Cojinetes	Engrase	Mensual	N		1 30min
ME3-005	Compresor Vilter # 2	B	Retenedor Lado Carga	Revisión/Inspección	Mensual	N		1 30min
ME3-005	Compresor Vilter # 2	B	Estator	Medición de Bobinas(fase-t	Trimestral	D/N		4 5hr
ME3-005	Compresor Vilter # 2	B	Cojinetes	Cambio/Sustitución	Anual	D/N		4 5hr
CR3-002	Compresor Vilter # 2	B	Aceite	Revisión/Inspección	Diario	N		1 30min
CR3-002	Compresor Vilter # 2	B	Aceite	Engrase	Semanal	N		1 30min
CR3-002	Compresor Vilter # 2	B	Fajas	Revisión/Inspección	Mensual	D/N		2 2hr
CR3-002	Compresor Vilter # 2	B	Tablero Eléctrico	Limpieza	Mensual	D/N		1 1hr
CR3-002	Compresor Vilter # 2	B	Aceite	Cambio/Sustitución	Semestral	D		3 3hr
CR3-002	Compresor Vilter # 2	B	Filtros de Aceite	Revisión/Inspección	Semestral	D/N		1 2.5hr
CR3-002	Compresor Vilter # 2	B	Filtros de Aceite	Cambio/Sustitución	Semestral	D		1 2hr
CR3-002	Compresor Vilter # 2	B	Enfriador de Aceite	Limpieza	Semestral	D/N		1 2.5hr
ME3-006	<b>Compresor Vilter # 3</b>	B	Ventilador	Revisión/Inspección	Semanal	D/N		4 5hr
ME3-006	Compresor Vilter # 3	B	Cojinetes	Análisis con Estetoscopio	Mensual	D		1 30min
ME3-006	Compresor Vilter # 3	B	Cojinetes	Engrase	Mensual	N		1 30min
ME3-006	Compresor Vilter # 3	B	Retenedor Lado Carga	Revisión/Inspección	Mensual	N		1 30min
ME3-006	Compresor Vilter # 3	B	Estator	Medición de Bobinas(fase-t	Trimestral	D/N		4 5hr
ME3-006	Compresor Vilter # 3	B	Cojinetes	Cambio/Sustitución	Anual	D/N		4 5hr
CR3-003	Compresor Vilter # 3	B	Aceite	Revisión/Inspección	Diario	N		1 30min
CR3-003	Compresor Vilter # 3	B	Aceite	Engrase	Semanal	N		1 30min
CR3-003	Compresor Vilter # 3	B	Fajas	Revisión/Inspección	Mensual	D/N		2 2hr
CR3-003	Compresor Vilter # 3	B	Tablero Eléctrico	Limpieza	Mensual	D/N		1 1hr
CR3-003	Compresor Vilter # 3	B	Aceite	Cambio/Sustitución	Semestral	D		3 3hr
CR3-003	Compresor Vilter # 3	B	Filtros de Aceite	Revisión/Inspección	Semestral	D/N		1 2.5hr
CR3-003	Compresor Vilter # 3	B	Filtros de Aceite	Cambio/Sustitución	Semestral	D		1 2hr
CR3-003	Compresor Vilter # 3	B	Enfriador de Aceite	Limpieza	Semestral	D/N		1 2.5hr
ME3-007	<b>Compresor Vilter # 4</b>	B	Ventilador	Revisión/Inspección	Semanal	D/N		4 5hr
ME3-007	Compresor Vilter # 4	B	Cojinetes	Análisis con Estetoscopio	Mensual	D		1 30min
ME3-007	Compresor Vilter # 4	B	Cojinetes	Engrase	Mensual	N		1 30min
ME3-007	Compresor Vilter # 4	B	Retenedor Lado Carga	Revisión/Inspección	Mensual	N		1 30min
ME3-007	Compresor Vilter # 4	B	Estator	Medición de Bobinas(fase-t	Trimestral	D/N		4 5hr
ME3-007	Compresor Vilter # 4	B	Cojinetes	Cambio/Sustitución	Anual	D/N		4 5hr
CR3-004	Compresor Vilter # 4	B	Aceite	Revisión/Inspección	Diario	N		1 30min
CR3-004	Compresor Vilter # 4	B	Aceite	Engrase	Semanal	N		1 30min
CR3-004	Compresor Vilter # 4	B	Fajas	Revisión/Inspección	Mensual	D/N		2 2hr
CR3-004	Compresor Vilter # 4	B	Tablero Eléctrico	Limpieza	Mensual	D/N		1 1hr
CR3-004	Compresor Vilter # 4	B	Aceite	Cambio/Sustitución	Semestral	D		3 3hr
CR3-004	Compresor Vilter # 4	B	Filtros de Aceite	Revisión/Inspección	Semestral	D/N		1 2.5hr
CR3-004	Compresor Vilter # 4	B	Filtros de Aceite	Cambio/Sustitución	Semestral	D		1 2hr
ME3-008	<b>Compresor Vilter # 5</b>	B	Ventilador	Revisión/Inspección	Semanal	D/N		4 5hr
ME3-008	Compresor Vilter # 5	B	Cojinetes	Análisis con Estetoscopio	Mensual	D		1 30min
ME3-008	Compresor Vilter # 5	B	Cojinetes	Engrase	Mensual	N		1 30min
ME3-008	Compresor Vilter # 5	B	Retenedor Lado Carga	Revisión/Inspección	Mensual	N		1 30min
ME3-008	Compresor Vilter # 5	B	Estator	Medición de Bobinas(fase-t	Trimestral	D/N		4 5hr
ME3-008	Compresor Vilter # 5	B	Cojinetes	Cambio/Sustitución	Anual	D/N		4 5hr
ME3-008	Compresor Vilter # 5	B	Retenedor Lado Carga	Limpieza	Anual	D/N		1 1.5hr
CR3-005	<b>Compresor Vilter # 5</b>	B	Aceite	Revisión/Inspección	Diario	N		1 30min
CR3-005	Compresor Vilter # 5	B	Aceite	Engrase	Semanal	N		1 30min
CR3-005	Compresor Vilter # 5	B	Fajas	Revisión/Inspección	Mensual	D/N		2 2hr
CR3-005	Compresor Vilter # 5	B	Tablero Eléctrico	Limpieza	Mensual	D/N		1 1hr
CR3-005	Compresor Vilter # 5	B	Aceite	Cambio/Sustitución	Semestral	D		3 3hr

## CONCLUSIONES

1. Los equipos de refrigeración son los más críticos para Empacadora Toledo, S.A. debido al requerimiento implícito de asegurar la cadena de frío para el producto alimenticio.
2. Para medir la efectividad del Sistema de Mantenimiento Preventivo de Empacadora Toledo, S.A., fue necesario definir la disponibilidad de sus equipos críticos de refrigeración.
3. Los pasos que se siguieron para implementar el Sistema de Mantenimiento Preventivo en Empacadora Toledo, S.A. son los siguientes:
  - 3.1 Desarrollo del listado de equipos críticos de refrigeración.
  - 3.2 Codificación de los equipos enlistados.
  - 3.3 Establecimiento de criticidad de activos.
  - 3.4 Desarrollo e implementación del formato de Solicitud de Mantenimiento/Reporte de Fallas.
  - 3.5 Desarrollo e implementación del formato de Ordenes de Trabajo.
  - 3.6 Definición y seguimiento a los diferentes KPI's (Indicadores Claves de Desempeño) para los equipos críticos (esto incluye su disponibilidad).
  - 3.7 Desarrollo de FMEAs por familia de equipos críticos (análisis de causa raíz de fallas).
  - 3.8 Desarrollo de PMR's (Rutinas de Mantenimiento Preventivo) para los equipos críticos. En este caso se consideraron las rutinas VOSO, cartas de lubricación, recambio periódico de partes y el resto de actividades propias de mantenimiento preventivo.
  - 3.9 Desarrollo de los listados de repuestos críticos de los equipos críticos.
  - 3.10 Clasificación de los repuestos críticos y establecimiento de sus parámetros de administración y control (mínimos, máximos, puntos de pedido, entre otros).
4. La implementación del Sistema de Mantenimiento Preventivo representó para Empacadora Toledo, S.A. un incremento en la disponibilidad de los equipos críticos de refrigeración de un 75% que presentaba a finales del 2004, a un 90% a la fecha. Este incremento de disponibilidad se tradujo en beneficios financieros importantes para la empresa.

## RECOMENDACIONES

1. Es necesario medir la disponibilidad que tienen los equipos críticos de planta, no considerados en este trabajo de investigación, para trabajar en un plan específico de mejora.
2. Es importante hacer extensivo el diseño e implementación del sistema de Mantenimiento Preventivo que se utilizó para los equipos críticos de refrigeración de Empacadora Toledo, S.A., al resto de equipos de procesamiento en planta.
3. Traería muchos beneficios establecer un programa de capacitación administrativa y técnica para el personal del Depto. de Conservación Industrial, que incluya las iniciativas más importantes de la Gestión de Mantenimiento de Clase Mundial y las herramientas específicas del Mantenimiento Preventivo, para que los conceptos queden totalmente claros y se consolide la cultura preventiva en la empresa.
4. Para asegurar que la información no se pierda y se facilite el seguimiento a las actividades, indicadores, costos y otros relacionados con los equipos, es necesario contar con un software que apoye la implementación del Sistema de Mantenimiento Preventivo y que nos permita conocer y manejar la información pertinente en tiempo real.
5. Las futuras instalaciones de equipos de refrigeración deben estar orientadas a estandarizar los equipos que se utilizan, de modo que podamos obtener ahorros en repuestos y otros insumos utilizados en uno o más de estos equipos.
6. Es importante analizar cómo se puede reducir la pérdida del 30% del producto que se encuentra dentro de las cámaras al momento de fallar un equipo de refrigeración. Esto posiblemente requiera actividades logísticas y operativas importantes.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Implementación de un Mantenimiento Preventivo Exitoso.** Ing. Julio Carvajal Brenes. Presentación Curso Datastream. 2003.
2. **Planificación del Mantenimiento.** Ing. Claudio Christensen. Presentación Curso Datastream. 2005.
3. **Modelos Mixtos de Confiabilidad.** PhD. Ing. Luis Améndola. ClubMantenimientoMundial.com.
4. **Complete Guide to Preventive and Predictive Maintenance.** Industrial Press. Joel Levitt. 2003.
5. **La Productividad en el Mantenimiento Industrial.** Compañía Editorial Continental. Ing. Enrique Dounce Villanueva. 2003.

## ANEXOS

### Anexo 1. Estructura de puestos del Depto. de Mantenimiento

<b>Gerencia Depto.</b>	Gerente de Mantto. (1) (Guatemala y Amatitlán)		
<b>Supervisión Depto.</b>	Supervisor de Mantto. Formados-Refrigeración (1) (Amatitlán)	Supervisor de Mantto. Embutidos-Envasados (1) (Amatitlán)	Supervisor de Mantto. Servicios Generales (1) (Amatitlán)
<b>Auxiliatura de Depto.</b>	Auxiliar de Mantto. (3) (Guatemala y Amatitlán)		
<b>Jefatura de Grupo</b>	Jefe Mantto. Mecánico (3) (Guatemala y Amatitlán)	Jefe Mantto. Eléctrico (2) (Guatemala y Amatitlán)	Jefe Mantto. Refrigeración (2) (Guatemala y Amatitlán)
<b>Sub-Jefatura de Grupo</b>	Sub-Jefe Mantto. (1) (Amatitlán)	Sub-Jefe Mantto. Eléctrico (1) (Amatitlán)	Sub-Jefe Mantto. Refrigeración (1) (Amatitlán)
<b>Técnico/Adimistrativo</b>	Planificador de Mantto. (1) (Amatitlán)		
<b>Técnico/Operativo</b>	Mecánico (11) (Guatemala y Amatitlán)	Electricista (10) (Guatemala y Amatitlán)	Técnico Refrigeración (3) (Guatemala y Amatitlán)
<b>Subtécnico/Operativo</b>			
<b>Total</b>	134 personas		

## Anexo 2. Relación entre diferentes indicadores de mantenimiento

(a)

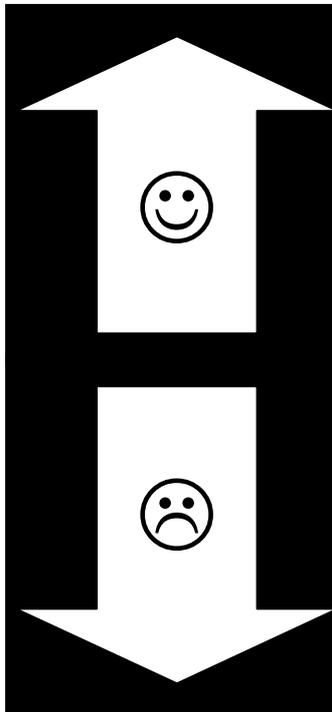
	↑	Cumplimiento del plan	La mejora del cumplimiento del plan indica que los recursos humanos se están planeando al igual que las tareas. Típicamente un ascenso en el cumplimiento del plan va acompañada de un ascenso en la utilización.
	↑	RMP%	Al aumentar el RMP% se planean mas trabajos con tiempo logrando típicamente menos trabajo reactivo, así habrá una disminución en las emergencias mejorando la planeación
	↑	M.T.B.F	Cuando el M.T.B.F aumenta típicamente hay menos tiempo perdido en mantenimiento corrigiendo paros, por lo tanto la utilización aumentara.
	↓	Horas extras	Un incremento en utilización debe llevar a una disminución en horas extras. Las tareas y los trabajos deben ser planeadas y programadas para conseguir completar los planes diario y semanal.
	↓	Cumplimiento del plan	Una reducción en el cumplimiento del plan indica que los recursos o las tareas no están siendo planeados adecuadamente, una reducción en el cumplimiento del plan típicamente conlleva a una reducción en utilización
	↓	RMP%	A medida que el RMP% disminuye se va planeando menos trabajo con tiempo lo que deriva típicamente en un aumento de trabajo reactivo, a su vez habrá mas tiempo perdido lo cual causa que la utilización disminuya
	↓	M.T.B.F.	Cuando disminuye el M.T.B.F típicamente habrá mas tiempo perdido en las tareas atendiendo los paros lo cual ocasiona que la utilización se va reducida.
	↑	Horas extras	La reducción en utilización típicamente deriva en un aumento de horas extras, las tareas y los trabajos deben ser planeados y programados para alcanzar a cumplir los planes diario y semanales.

(b)

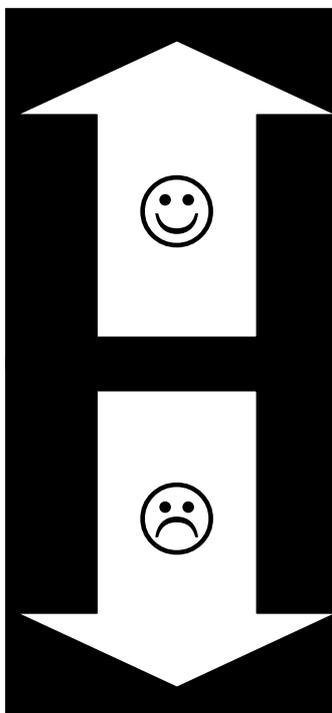
	↓	Tiempo extra	El tiempo extra debe disminuir al ejecutar los trabajos con una mayor eficiencia. Esto significa utilizando estándares de trabajo así como una mejor planeación de todas las tareas, herramientas y suministros.
	↑	Cumplimiento del plan	El cumplimiento del plan debe de aumentar ya que se se genera menos tiempo perdido en las tareas de los trabajos, por lo tanto se completan mas trabajos planeados.
	↓	OM's pendientes y atrasadas	Las OM's (horas) pendientes de mantenimiento así como los trabajos atrasados disminuyen ya que el cumplimiento del plan mejora dado que hay menos tiempo perdido en las tareas.
	↓	M.T.T.R.	Menor tiempo perdido en las tareas de cada trabajo significa que los equipos se reestablecen mas pronto después de un paro lo que reduce el M.T.T.R , la disponibilidad debe aumentar también al bajar el M.T.T.R.
	↑	Tiempo extra	El incremento en tiempo perdido lleva a tomar mas tiempo en realizar los trabajos por lo que el tiempo extra se eleva.
	↓	Cumplimiento del plan	El tiempo perdido en los trabajos lleva a que los trabajos ameriten mas horas de las planeadas para ellos lo cual a su vez deriva en una disminución en el cumplimiento del plan
	↑	OM's pendientes y atrasadas	El tiempo perdido excesivo lleva a que los trabajos planeados no sean completados lo que deriva que aumenten las horas pendientes y los retrasos en los trabajos
	↑	M.T.T.R.	El tiempo medio para reparar aumenta a medida que aumenta el tiempo perdido, la disponibilidad también se reduce como consecuencia de ello

B

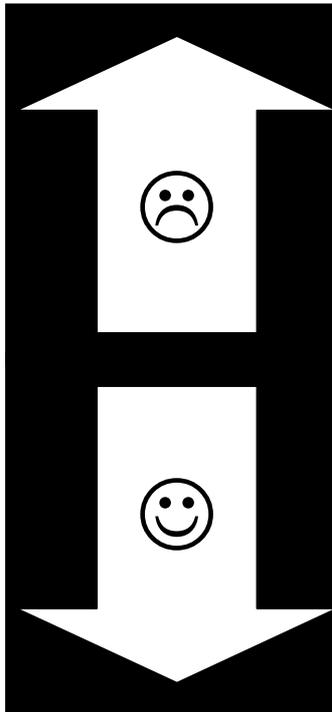
(c)

	↓	Costos de Mantenimiento	Los costos de mantenimiento bajan con una productividad más alta debido a una mejor planeación de la Mano de Obra y los trabajos. Aumentamos la disponibilidad, el MTBF y el TRT
	↑	M.T.B.F.	Con mejor MTBF significa que hemos reducido la fallas por tener una mejor planeación y mejor productividad de la mano de obra que nos permite tener más tiempo para hacer las RMP's
	↑	Cumplimiento del plan	Un buen cumplimiento del plan significa que la planeación ha sido efectiva y la productividad de la mano de obra aumento y tenemos menos emergencias
	↑	Eficiencia / Utilization	Con una mejor eficiencia o utilización de la mano de obra la productividad aumenta siempre y cuando se estimen bien las horas de los trabajos y no hayan horas extras o un aumento en terceros.
	↑	Costos de Mantenimiento	Los costos suben cuando la productividad baja como resultado de una mala planeación.
	↓	M.T.B.F.	Si el MTBF baja tenemos más fallas más emergencia y menos posibilidad de tener una buena planeación bajando la productividad.
	↓	Cumplimiento del plan	Con un bajo cumplimiento del plan tenemos más emergencias que nos afecta en la productividad de la mano de obra
	↓	Eficiencia / Utilization	Bajan la eficiencia y la utilización baja la productividad de la mano de obra.

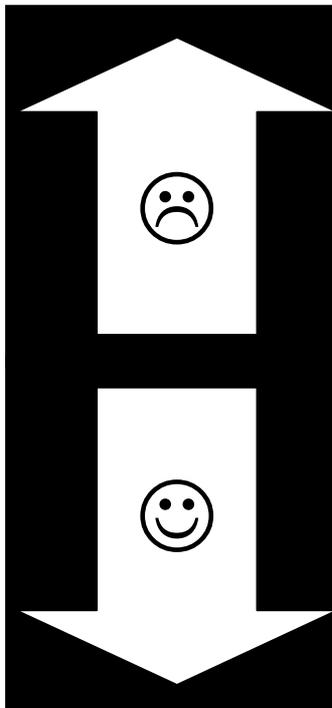
(d)

	↑	Cumplimiento del plan	Si se cumplen con las rutinas y se ejecutan correctamente tendremos menos tiempo en emergencias el cumplimiento debe subir. Una mejora en el cumplimiento nos permite hacer más rutinas
	↓	Horas Extras	Las horas extras deberían bajar con mejor RMP% porque tenemos más tiempo para ejecutar los trabajos planeados con menos emergencias
	↓	Costo de Mantenimiento	El costo de mantenimiento típicamente debería bajar ya que tenemos menos fallas al hacer bien nuestras rutinas.
	↑	M.T.B.F.	El MTBF debería subir al eliminar fallas a través mayor y mejor rutinas
	↓	Cumplimiento del plan	Si cumplimiento del plan es bajo significa un mayor porcentaje en fallas y emergencias y menos tiempo para rutinas
	↑	Horas Extras	Si aumentan las horas extras puede significar más emergencia por lo tanto menos tiempo en rutinas
	↑	Costo de Mantenimiento	Al tener menos RMP% aumentan las emergencias y pos consiguiente los costos
	↓	M.T.B.F.	Menos MTBF más fallas y menos tiempo para rutinas

(e)

	↓	RMP %	Entre más trabajos no planeados menos tiempo para hacer las rutinas.
	↓	M.T.B.F.	Con un aumento de los no planeados se atrasan los trabajos de mantenimiento preventivo causando más fallas y un menor MTBF.
	↑	M.T.T.R.	Entre más emergencias menos posibilidad de planear bien los trabajos y puede resultar en tiempos de reparación más largos.
	↑	RMP%	Entre menos trabajos no planeados más tiempo para hacer las rutinas.
	↑	M.T.B.F.	Una reducción en las emergencias puede significar menos fallas y más alto el MTBF
↓	M.T.T.R.	Una reducción en las emergencias nos permite hacer una mejor planeación resultando en un mejor tiempo para reparar y una mejora en MTTR	

(f)

	↑	OM's atrasadas	Si tengo mucho trabajo atrasado no te permite absorber mas carga de trabajo (nuevos trabajos planeados)
	↓	M.T.B.F	Teniendo fallas muy frecuentes aumentarán los trabajos de emergencia y dificilmente se podrá planear. De esta forma no se pueden reducir los pendientes
	↑	M.T.T.R.	Entre mas tiempo dure nuestras reparaciones menos tiempo tenemos para los demas trabajos en espera de ejecución o aumentan lo que significa aumentar los pendientes
	↓	Cumplimiento del plan	El no cumplir con el plan se comienzan a atrasar los trabajos lo que significa el aumento de los trabajo pendientes
	↓	OM's atrasadas	Al reducir las OM atrasadas nos permite atacar a los trabajos pendientes y asi disminuir la carga en espera.
	↑	M.T.B.F.	Un MTBF alto no permite tener mas tiempo disponible con menos emergencias para ejecutar los trabajos planeados y en espera.
	↓	M.T.T.R.	Entre mas rápido reparemos los equipos mas tiempo disponible para ejecutar los trabajos pendientes
	↑	Cumplimiento del plan	Al cumplir con nuestro plan nos permite ejecutar mas trabajos y reducir la carga de pendientes

D