

**DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LA LÍNEA DE
PRODUCCIÓN EXTRUSIÓN - BOLSAS PLÁSTICAS EN LA EMPRESA
KALUSIN IMPORTING COMPANY (KICO S.A)**

MARÍA MERCEDES TAPIA DÍAZ

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA MECÁNICA Y MECATRONICA
CARTAGENA DE INDIAS**

2011

**DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LA LÍNEA DE
PRODUCCIÓN EXTRUSIÓN - BOLSAS PLÁSTICAS EN LA EMPRESA
KALUSIN IMPORTING COMPANY (KICO S.A)**

MARÍA MERCEDES TAPIA DÍAZ

Monografía de grado presentada para optar el título de Ingeniero Mecánico

Director

PhD (c), Msc, ME. Juan Gabriel Fajardo Cuadro

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA MECÁNICA Y MECATRONICA
CARTAGENA DE INDIAS**

2011

Cartagena de indias D.T. y C. 17 de julio de 2011

Señores

COMITÉ CURRICULAR

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Facultad de Ingeniería

Cartagena

Estimados Señores

Presentó para su consideración la monografía titulada **“Diseño de Plan de Mantenimiento Predictivo para la Línea de Producción Extrusión - Bolsas Plásticas en la Empresa Kalusin Importing Company (KICO S.A)”** como requisito para obtener el título de Ingeniero Mecánico.

Atentamente

María Mercedes Tapia Díaz
1.143.324.641 de Cartagena

Cartagena de indias D.T. y C. 17 de julio de 2011

Señores

COMITÉ CURRICULAR

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Facultad de Ingeniería

Cartagena

Estimados Señores

Luego de revisar la monografía **“Diseño de Plan de Mantenimiento Predictivo para la Línea de Producción Extrusión - Bolsas Plásticas en la Empresa Kalusin Importing Company (KICO S.A)”** desarrollada por la estudiante María Mercedes Tapia Díaz; considero que cumple con los objetivos propuestos, por lo que estoy de acuerdo en presentarlo formalmente para su calificación y así optar por el título de Ingeniero Mecánico.

Cordialmente,

Ph.D (c) Juan Gabriel Fajardo Cuadro
Director de proyecto

Cartagena de indias D.T. y C. 17 de julio de 2011

AUTORIZACIÓN

Yo, María Mercedes Tapia Díaz identificada con cedula de ciudadanía número 1.143.324.641 de Cartagena de Indias, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar, hacer uso de esta monografía de grado y publicarla en el catalogo online de su biblioteca.

Cordialmente,

María Mercedes Tapia Díaz
1.143.324.641 de Cartagena

Nota de aceptación

Firma de presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Este paso no ha podido culminar sin la ayuda de Dios, él me ha acompañado y me ha permitido llegar hasta aquí.

También debo este proyecto a mis padres, Noel y Edilma que han forjado sin descanso el camino que hoy recorro, por su apoyo incondicional, velar por mi progreso. A mi papá por mover sus relaciones y encontrar esta empresa para mí. A mi mamá por mantener su corazón abierto y estar presente ante cualquier dificultad.

Le doy gracias a mis hermanas Ketty, Julie, Yesenia y a mi sobrino Santiago por la alegría y la motivación que me transmitían día a día para llegar al final de este paso.

Y sin duda, le doy las gracias a mi novio Dairo por su perseverancia, sus constantes llamadas de atención, y compañía a lo largo de este trabajo.

“Es tan grande el placer que se experimenta al encontrar un hombre agradecido que vale la pena arriesgarse a no ser un ingrato”. Lucio Anneo Séneca

María Mercedes Tapia Díaz

AGRADECIMIENTOS

En un día como hoy expreso mis agradecimientos a:

Al personal de Kalusin Importing Company S.A, en especial al Ingeniero Gustavo Mendoza, Jefe de Producción, por brindarme su apoyo y colaboración en la recopilación de la información necesaria para el desarrollo de este proyecto.

A mi director de monografía Juan Fajardo Cuadro, por sus consejos, conocimientos transmitidos y tiempo prestado durante este periodo de trabajo.

A todas las personas, que directa e indirectamente me proporcionaron su ayuda y colaboración.

APLICACIÓN DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y MODOS DE FALLAS PARA UNA LÍNEA DE BOLSAS PLÁSTICAS POR EXTRUSIÓN

Tapia Díaz, María Mercedes (1); Fajardo, Juan (2)

(1) Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia.
mariamercedes88@gmail.com

(2) Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia
jfajardo@unitecnologica.edu.co

Resumen

Por la necesidad de posicionarse en el mercado actual, KICO S.A consideró el estudio de la implementación de una nueva ideología de mantenimiento centrada en la predicción, teniendo en cuenta la situación actual de la línea de producción extrusión- bolsas plásticas. En el presente artículo se presenta el diseño de un plan de mantenimiento predictivo, basado en el conocimiento del nivel de disponibilidad en cuanto a los equipos y su capacidad de producción; consecuente a esta información se realizó un análisis de criticidad con la finalidad de jerarquizar los equipos de mayor impacto dentro de línea considerada y así aplicar el análisis de modo y efecto de falla. Permitiendo seleccionar las técnicas y periodos de monitoreo para un mantenimiento apropiado.

Abstrac

Because of the need to position themselves in today's market, KICO S. A considered the implementation of a new ideology of keeping focused on predictive maintenance, given the current state of extrusion production line plastic bags. This article presents the design of a predictive maintenance plan, based on knowledge of the level of availability in terms of equipment and production capacity, consistent with this information an analysis of criticality in order to prioritize teams with the greatest impact in line concerned and to apply the analysis of failure modes and effects. Allowing the selection techniques and monitoring periods for proper maintenance.

Key words: Predictive Maintenance, reliability, criticality, failure modes and effects analysis.

1. INTRODUCCION

En la actualidad, gran parte de las inversiones en las industrias están asociadas al mantenimiento de equipos asegurando su disponibilidad y fiabilidad. Esta práctica no solo repercute en cuanto a costos de reparación y mantenimiento, sino que afecta de manera directa la productividad y capacidad de respuesta de la empresa frente a la demanda del mercado actual.

Convirtiéndose en uno de los pilares dentro de la industria, siendo una inversión que ayuda a mejorar y mantener la calidad de la producción, por esta razón, es de suma importancia adoptar una excelente estrategia de mantenimiento para los activos.

2. METODOLOGÍA

Con base al diagnóstico de equipos mediante el análisis de fallas y la evaluación del estado de los componentes involucrados en el proceso industrial para el caso de la Empresa considerada. Se desarrollara la idea básica de: *En cuanto mejor se caracterice la vida de los activos de la compañía, mejor puede atenderse a sus necesidades reales de mantenimiento.* Por tanto, puede planificarse de forma óptima su plan de mantenimiento predictivo, atendiendo a diversos criterios

2.1 ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA

El **FMEA** (*Análisis de Modo de Falla y Efecto*) se emplea para la búsqueda y evaluación de escenarios que puedan representar un impacto adverso para la planta de proceso, identificando los escenarios de mayor riesgo y emitiendo acciones tendientes a minimizar los mismos.

La eliminación de los modos de fallas potenciales tiene beneficios tanto a corto como a largo plazo. A corto plazo, representa ahorros de los costos

de reparaciones, las pruebas repetitivas y el tiempo de paro. El beneficio a largo plazo es mucho más difícil medir puesto que se relaciona con la satisfacción del cliente con el producto y con su percepción de la calidad.

2.1.1 CALCULO DE INDICADORES DE EFECTIVIDAD

Disponibilidad

Es una medida de la capacidad de uso del activo durante el tiempo programado.

$$\text{Disponibilidad} = (TP - TI) / TP \quad (1)$$

TP = Tiempo programado de funcionamiento

TI = Tiempo de inactividad por falla

Eficiencia

El nivel de eficiencia es una medida que indica si el equipo funciona a los máximos niveles esperados. Mide la perdida por rendimiento causadas por el mal funcionamiento de los equipos.

$$\text{Eficiencia} = Te / Tr \quad (2)$$

Te = Tiempodeoperacionutilizable

Tr = Tiempoperdidoporoperacion

Índice de Calidad

Esta medida representa el grado de efectividad que tiene un equipo para lograr los estándares de calidad del producto que se fabrica.

$$\text{Índice de Calidad} = (CP - D) / CP \quad (3)$$

CP = Cantidadelaboradaporelbien

D = Cantidadquepresentadefectos

Tasa de Efectividad de Mantenimiento

Este indicador permite determinar las pérdidas reales de los equipos medidos en tiempo.

$$\text{Tasa de Efectividad} = \text{disponibilidad} \times \text{eficiencia} \times \text{índice de calidad}$$

Para el establecimiento de los niveles de comportamiento del indicador de Tasa de Efectividad de Mantenimiento, se tiene la siguiente escala¹:

Tabla 2-1 Rangos de Evaluación para Índices de Efectividad

Rango	Porcentaje
Bueno	71% - 100%
Regular	51% - 70 %
Mal	0% - 50%

2.2.2 ANALISIS DE CRITICIDAD (CA)

El análisis de criticidad es un método que permite jerarquizar instalaciones y equipos en función de su impacto global priorizando ordenes de trabajo de operación y mantenimiento, diseño de políticas de mantenimiento, selección y manejo de repuestos y materiales.

$$C = \text{Frecuencia de falla} \times \text{Consecuencia}$$

Donde;

$$\text{Consecuencia} = a + b$$

$$a = \text{Costo de Reparacion} + \text{seguridad} + \text{Imp. ambiental} + \text{satisfaccion al cliente}$$

$$b = \text{Impacto en la Produccion} \times \text{Tiempo Promedio para Reparar}$$

1. Frecuencia de fallas: Veces que falla cualquier componente del equipo que produzca la pérdida de su función.

Nivel de producción: Es la producción aproximada por día de la instalación y sirve para valorar el grado de importancia de la instalación a nivel económico.

¹ Cómo medir la gestión del mantenimiento en la empresa. MScIng Aramis Alfonso LLanes. 2006

Tiempo promedio para reparar: Es el tiempo promedio por día empleado para reparar falla. Se considera desde que el equipo pierde su función hasta que esté disponible para cumplirla nuevamente.

Impacto en la producción: Representa la producción aproximada porcentualmente que se deja de obtener (por día), debido a las fallas ocurridas.

Costo de reparación: Es el costo promedio por falla requerido para restituir el equipo a condiciones optimas de funcionamiento, incluye labor, materiales y transporte.

Impacto en la seguridad personal: Es la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos y en los cuales alguna persona pueda o no resultar lesionada.

Impacto ambiental: Representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños en los equipos produciendo la violación de cualquier regulación ambiental.

Impacto satisfacción al cliente: Se evalúa el impacto que la ocurrencia de una falla afectara a las expectativas del cliente.

3. LINEA DE PRODUCCION DE BOLSAS PLASTICAS POR EXTRUSIÓN

Para la fabricación de bolsas o empaques flexibles, KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A – KICO S.A., utiliza un proceso conocido como soplado extrusión de película, también llamada "Proceso de película tubular" (Figura 1).

En este proceso el plástico es alimentado en forma de gránulos por medio de la tolva y es transportado hacia adelante con un tornillo de rotación dentro de un barril a alta temperatura, donde es ablandado por fricción y por el calor

suministrado. El plástico ablandado es forzado hacia arriba a través de un dado circular en forma de un tubo hueco.



Figura 3. Extrusoras de Bolsas Plásticas

4. RESULTADOS

4.1 ANALISIS DE MODO DE FALLA Y EFECTO

4.1.1 Evaluación de Índices de Efectividad

Para el calculo de estos indicadores se evaluó el mes de febrero del presente año debido a la informacion suministrada por la empresa Kalusin Importin Company S.A. para la linea de producción Extrusión- Bolsas, mostrada a continuación:

Tabla 4-1 Índice de Efectividad de la Línea de Producción

Equipo	Disponibilidad	Eficiencia	Ind de Calidad	Efectividad
Selladora 1	0,926	0,78	0,98	0,708
Selladora 2	0,833	0,7902	0,9583	0,6311
Selladora 3	0,677	0,8542	0,9766	0,5648
Selladora 4	0,901	0,7867	0,9683	0,6863
Extrusora 6	0,814	0,8883	0,99	0,7224
Extrusora 9	1	0,9207	0,978	0,9
Extrusora 10	0,619	0,7955	0,999	0,4922
Extrusora 11	0,901	0,8537	0,999	0,7683

De acuerdo a los valores obtenidos se categorizan con base a la tasa de efectividad

Tabla 4-2 Categorización de los activos de la Línea de Producción

Equipo	Tasa de Efectividad de Mantenimiento	Rango
Selladora #1	70.8	Bueno
Selladora #2	63.11	Regular
Selladora #3	56.48	Regular
Selladora #4	68.63	Regular
Extrusora #6	72.2	Bueno
Extrusora #9	90.02	Bueno
Extrusora #10	49.22	Mal
Extrusora #11	76.83	Bueno

4.1.2 Evaluación de La Criticidad (CA)

Se formó un equipo de trabajo para recopilar la información requerida integrado por el ingeniero de producción y personal de las diferentes dependencia en la empresa como lo son mantenimiento, mecánica y electricidad. Luego se preparó una lista de los equipos que forman parte del análisis de criticidad. El método es sencillo y se basó exclusivamente en el conocimiento del personal que integra la empresa KICO S.A, el cual se plasmó en una encuesta.

Cabe destacar que el formato de encuesta, la tabla de ponderación y la ecuación de criticidad fueron adaptados por el autor del presente trabajo de grado tomando como base el análisis hecho por PDVSA², aunque para aplicarla a una industria especifica como es el caso de plásticos se debe adecuar la matriz debido a que los factores de ponderación ya están estandarizados y su formulación depende de un estudio profundo de criterios de ingeniería.

Para determinar la jerarquización de los equipos, es necesario que los valores de criticidad obtenidos se clasifiquen en cinco zonas específicas. Esta información es la que orienta la toma de decisiones, focalizando los esfuerzos en la zona de alerta peligrosa, donde se ubica la mejor oportunidad de agregar valor y aumentar la fiabilidad de los equipos.

² PDVSA, Petróleos de Venezuela S.A. E & P Occidente.

A continuación se observa cada una de las zonas:

Tabla 4-3 Rangos de Criticidad

Efecto	Criticidad	Ranking
Alerta peligrosa	Afecta la operación segura del equipo e implica una No conformidad.	>26,5
Moderada	El equipo es operable, experimenta variaciones de temperatura operacional.	14,6 – 26,5
Baja	Desajustes o chirridos en el equipo generan contaminación auditiva.	5,6 – 14,5
De menor importancia	El equipo es operable, pero puede que presente necesidad de limpieza	1,6 – 5,5
Ninguno	Ningún efecto	0-1,5

Teniendo en cuenta la anterior tabla se categoriza la criticidad obtenida para cada uno de los equipos de la línea de producción Extrusión-Bolsas plásticas, como se muestra a continuación:

Tabla 4-3 Categorización de Criticidad de los Equipos Extrusión - Bolsas Plásticas

Equipo	Criticidad	Efecto
Selladora # 1	18,81	Moderada
Selladora # 2	25,175	Moderada
Selladora # 3	26,825	Alerta Peligrosa
Selladora # 4	15,2	Moderada
Extrusora # 6	25,2	Moderada
Extrusora # 9	26,213	Moderada
Extrusora #10	45,625	Alerta Peligrosa
Extrusora # 11	45,8625	Alerta Peligrosa
Impresora	20,7	Moderada

En pro de elegir la técnica de mantenimiento predictivo, se procede a realizar un análisis de modo y efecto de falla a los equipos con mayor criticidad presentes en la línea de producción, identificando así las fallas funcionales para cada uno de los componentes. Con base a estos datos y teniendo en cuenta el modo de falla se determinó la técnica de mantenimiento adecuada.

Tabla 4.4 FMEA Selladora #3

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA				
KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A				
Hoja 1/2				
EQUIPO	Selladora # 3			
COMPONENTE	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA
Motor Principal	Convertir energía eléctrica en energía mecánica, con una velocidad de 1760 RPM	Incapaz de convertir energía eléctrica en energía mecánica	Terminal de conexión del cable eléctrico de alimentación defectuoso.	El motor no energiza el equipo, por tanto, no es posible mover la banda transportadora, cuchilla
Servomotor	Convertir energía eléctrica en energía mecánica, con una velocidad de 1800 RPM	Perdida de la capacidad de convertir energía eléctrica en energía mecánica con una velocidad de 1800 RPM	Fallo de alimentación del motor (no recibe corriente eléctrica)	Impide el desplazamiento de la película para llegar a la cuchilla
Motor del Transportador (Tenasas Reductoras)	Convertir energía eléctrica en energía mecánica permitiendo que la banda transportadora desplique la bolsa plástica	Perdida de la capacidad de convertir energía eléctrica en energía mecánica impidiendo que la banda transportadora desplique la bolsa plástica	Terminal defectuoso Humedad	Impide el desplazamiento de la bolsa sobre la cinta transportadora
Resistencia	Cablear la plancha permitiendo realizar el corte a la bolsa plástica	Incapacidad de cablear la plancha impidiendo un adecuado corte de la bolsa plástica	Humedad Alto voltaje	Impedimento para cortar la bolsa plástica

Tabla 4.5 FMEA Extrusora # 10

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA				
KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A				
Extrusora # 10				
EQUIPO	Extrusora # 10			
COMPONENTE	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA
Motor Principal	Convertir energía eléctrica en energía mecánica, con una velocidad de 1760 RPM	Incapaz de convertir energía eléctrica en energía mecánica	Corto circuito Fallo de alimentación del motor (no recibe corriente eléctrica) Rodamientos en mal estado	El motor no energiza el equipo, por tanto, no es posible mover los sistemas mecánicos
Clutch Magnético	Variar la velocidad del tornillo del cilindro	Perdida de la capacidad de variación de velocidad para tornillo del cilindro	Corto Circuito Eje bloqueado por rodamientos dañados	El tornillo no permite desplazar el material hacia el molde
Motor Halador de Película	Transmitir potencia hacia el eje del rodillo, permitiendo el desplazamiento de la película del material	Incapaz de transmitir potencia al eje de los rodillos que permita el deslizamiento de la película	Corto circuito Humedad Rodamientos en mal estado	El motor no energiza el equipo, por tanto, no es capaz de desplazar la película de polipropileno mediante los rodillos
Motor del Blower	Transformar la energía eléctrica en energía mecánica, para encender los ventiladores	Perdida de la capacidad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, logrando encender los ventiladores	Corto circuito Humedad Bobinado roto o quemado	No energiza el motor del equipo (Blower)
Blower de Enfriamiento de Película	Ventilar aire y disipar calor de la película	Perdida de la capacidad de ventilar aire y disipar calor de la película	Acumulación de Polvo Limpieza de filtros	Se produce recalentamiento de la película respectivamente se produce obstrucción,
Blower de Enfriamiento de Cilindro	Ventilar aire y disipar calor en el cilindro de almacenamiento de material	Incapaz de ventilar aire y disipar calor en el cilindro de almacenamiento de material	Acumulación de Polvo Limpieza de filtros	Impidiendo el paso del flujo del aire y a su vez se recalentamiento del cilindro
Motor Enrolladora	Convertir energía eléctrica en energía mecánica, para transmitir potencia al eje de enrollamiento	Perdida de la capacidad de convertir la energía eléctrica en energía mecánica, para transmitir potencia al eje de enrollamiento	Corto circuito Humedad	No permite enrollar la película de polipropileno

Tabla 4-6 FMEA Extrusora # 11

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA				
KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A				
Extrusora # 11				
Hoja 1/2				
EQUIPO	Extrusora # 11			
COMPONENTE	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA
Motor Principal	Convertir energía eléctrica en energía mecánica, con una velocidad de 1760 RPM	Incapaz de convertir energía eléctrica en energía mecánica	Corto circuito Bobinado roto o quemado Terminal de conexión del cable eléctrico de alimentación defectuoso	El motor no energiza el equipo, por tanto, no es posible iniciar el proceso
Motor Bomba Circulación de Agua	Convertir energía eléctrica en energía mecánica, para transmitir potencia hacia el eje de la bomba	Incapaz de convertir energía eléctrica en energía mecánica, impidiendo la transmisión de potencia hacia el eje de la bomba	Fallo de alimentación del motor (no recibe corriente eléctrica) Eje bloqueado por rodamientos dañados	No permite la circulación de agua hacia la película
Motor Rodillo Halador	Convertir energía eléctrica en energía mecánica, para halar la película por medio de los rodillos	Perdida de la capacidad para convertir energía eléctrica en energía mecánica, impidiendo el desplazamiento de la película por medio de los rodillos	Bobinado roto o quemado Rodamientos en mal estado Manipulación de operadores	Impide el desplazamiento de la película de polietileno
Motor Enrollador Superior e Inferior	Convertir energía eléctrica en energía mecánica, para enrollar la película por medio de los rodillos	Incapaz de convertir la energía eléctrica en energía mecánica, impidiendo el enrollamiento de la película por medio de los rodillos	Manipulación del operador Humedad Suciedad - Polvo Corto circuito	No permite el enrollamiento de la película en los rodillos superiores e inferiores
Tratador	Aumentar la tensión superficial para una adecuada aplicación de tintas	Incapacidad de aumentar la tensión superficial impidiendo la adecuada aplicación de tintas	Manipulación del operador Suciedad - Polvo	Impedimento que la bolsa no quede apta para la impresión

5. CONCLUSIONES

- Selladora # 3 posee menor índice de disponibilidad, lo que representa una mínima probabilidad de encontrarse apta para la ejecución de sus funciones en cuanto se requiera.
- De igual manera, la evaluación de los indicadores para la selladora 1, 2 y 4 arrojó una tasa de efectividad de mantenimiento con valores que oscilan entre 70% y 63%; mientras que para la selladora # 3 se cuantifica un 56.48% lo cual refleja prioridad en cuanto a mantenimiento oportuno.
- De acuerdo, con el análisis de criticidad se tiene que la selladora número 3 obtuvo un ponderado de 26,825; mientras que en el conjunto de extrusoras se encontraron valores cercanos a los 46 puntos, como consecuencia del impacto que representa la producción que se deja de obtener (Bolsas Plásticas) por fallas ocurridas. Estos resultados indican que se presentan tres equipos críticos dentro de línea nombrando así la selladora 3 la extrusora 10 y la N° 11.
- Teniendo en cuenta los indicadores de efectividad, el análisis de modo - efecto de falla y calculo de criticidad efectuados a los diferentes equipos (*Selladoras, Extrusoras e Impresora*) de la línea de producción de Extrusión – Bolsas plásticas se destaca que los componentes con mayor riesgo a fallar son los Motores Eléctricos, Servomotores, Resistencias y Blowers pertenecientes a los diferentes sistemas del equipo los cuales representan un impacto anormal en la planta minimizando la producción. Por tanto se

seleccionaron las técnicas de análisis de vibraciones en los diferentes componentes y termografía infrarroja.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Cristian Harold Ostermann Wagner. Desarrollo y Aplicación de un método de Análisis Cuantitativo y Cualitativo de Fallas de la Maquinaria Minera. Master's Thesis, Departamento de Ingeniería Mecánica, 1998.
- [2] Dr. Ing. Rodrigo Pascual J. Gestión Moderna del Mantenimiento. Dpto. Ing. Mecánica, Universidad de Chile, 2002.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	23
OBJETIVO GENERAL.....	25
OBJETIVO ESPECIFICO.....	26
1. GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO	27
1.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	28
1.1.1 Mantenimiento Proactivo (MPA)	28
1.1.2 Mantenimiento Reactivo (MPR)	29
1.2 TIPOS DE FALLAS	30
1.2.1 Fallas Primarias	30
1.2.2 Fallas Secundarias.....	30
2. GUIA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	31
2.1 VENTAJAS	32
2.2 Desventajas	32
2.3 METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	33
2.3.1 Análisis del Sistema Bajo Estudio	33
2.3.2 Selección de Equipos Críticos (Análisis de Criticidad).....	33
2.3.3 Efectuar Análisis de Modo y Efecto de Falla (FMEA)	36
2.3.4 Determinar los Parámetros Factibles a Monitorear	38
2.3.5 Seleccionar la Técnica y el Método de Mantenimiento Predictivo	38
2.3.6 Elaborar los Procedimientos Detallados de la Rutina de Mantenimiento Predictivo	39
2.4 EFECTIVIDAD DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	39
2.4.1. Disponibilidad.....	39
2.4.2. Eficiencia	40
2.4.3 Índice de Calidad.....	40
2.4.4 Tasa de Efectividad de Mantenimiento.....	41
2.5 TÉCNICAS DE MONITOREO PREDICTIVO.....	42

2.5.1 Inspección Visual.....	44
2.5.2 Análisis de Aceite	44
2.5.3 Análisis de Vibraciones	47
2.5.4 Inspección por Ultrasonido	55
2.5.5 Inspección de Circuitos Eléctricos en Motores.....	60
2.5.6 Inspección Termográficas.....	63
2.5.8 Inspección Mediante Partículas Magnéticas.....	70
3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN - BOLSAS PLÁSTICAS DE KICO S.A	73
3.1 EXTRUSION – BOLSAS PLÁSTICAS	73
3.2IMPRESIÓN.....	74
3.3SELLADO.....	75
3.4 FICHA TÉCNICA DE LOS EQUIPOS DE EXTRUSION – BOLSA PLASTICA	76
4. ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA	80
4.1INDICADORES DE EFECTIVIDAD PARA ACTIVOS DE LA LINEA DE PRODUCCION EXTRUSION – BOLSAS PLASTICAS	80
4.1.1 Calculo del Indice de Disponibilidad para la Linea de Extrusion- Bolsa.	81
4.1. 2 Calculo del Indice de Eficiencia para la Linea de Extrusion- Bolsa	82
4.1.3 Calculo de Indice de Calidad para Linea de Extrusion- Bolsa.....	83
4.1.4 Calculo de Tasa de Efectividad de Mantenimiento para la Linea de Extrusion – Bolsas Plasticas	84
4.2 ANALISIS DE CRITICIDAD	85
4.2.1 Resultados Análisis de Criticidad	91
4.3 ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA.....	97
5. SELECCION DE TÉCNICA Y PERIODO DE EJECUCIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	102
5.1 SELECCIÓN DE TECNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	102
5.2 PERIODOS DE MONITOREO	103
5.2.1 Monitoreo Análisis de Vibraciones	103
5.2.2 Monitoreo Mediante Termografía Infrarroja	105
5.3 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO ANUAL	106
6. RESULTADOS.....	108

7. RECOMENDACIONES	111
ANEXOS	113

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Rangos de Criticidad.....	35
Tabla 2-2 Rangos de Evaluación para Índices de Efectividad	41
Tabla 2-3 Categorías Técnicas de Mantenimiento Predictivo	42
Tabla 2-4 Algunas Técnicas Predictivas y su Aplicabilidad	43
Tabla 2-5 Pruebas que se Realizan en Aceites Industriales.....	45
Tabla 2-6 Cantidad de Muestra por Tipo de Aceite.....	46
Tabla 2-7 Categorías de las Maquinas a partir de su Velocidad.....	51
Tabla 2-8 Severidad de los Equipos a Partir su Velocidad y Clase	51
Tabla 2-9 Acciones a Ejecutar para Mantenimiento Predictivo de Rodamientos ...	59
Tabla 3-1 Ficha Técnica de las Selladoras 1- 4.....	76
Tabla 3-2 Ficha Técnica de las Extrusoras	77
Tabla 3-3 Ficha Técnica de la Extrusora #11	78
Tabla 3-4 Ficha Técnica de la Impresora.....	79
Tabla 4-1 Indicador de Disponibilidad para Selladoras.....	81
Tabla 4-2 Índice de Disponibilidad Extrusora.....	82
Tabla 4-3 Eficiencia para Selladoras	82
Tabla 4-4 Índice de Eficiencia Extrusoras.....	83
Tabla 4-5 Índice de Calidad Selladoras	83
Tabla 4-6 Índice de Calidad Extrusoras	84
Tabla 4-7 Tasa de Efectividad de las Selladoras	84
Tabla 4-8 Tasa de Efectividad de Extrusora	85
Tabla 4-9 Rango de Efectividad de la Línea de Extrusión - Bolsas	85
Tabla 4-10 Formato de Encuesta para Análisis de Criticidad	87
Tabla 4-11 Ponderación de los Parámetros de Análisis de Criticidad.....	90
Tabla 4-12 Respuestas y Ponderaciones Realizadas a un Mecánico de la Línea de Producción.....	91

Tabla 4-13 Promedios Finales para Selladora # 1	91
Tabla 4-14 Criticidad para la Selladora N° 2.....	93
Tabla 4-15 Criticidad para la Selladora N° 3.....	93
Tabla 4-16 Criticidad para la Selladora N° 4.....	94
Tabla 4-17 Criticidad para la Extrusora N° 6.....	94
Tabla 4-18 Criticidad para la Extrusora N°9.....	95
Tabla 4-19 Criticidad para la Extrusora N°10.....	95
Tabla 4-20 Criticidad para la Extrusora N°11.....	96
Tabla 4-21 Criticidad para la Impresora.....	96
Tabla 4-22 Categorización de Criticidad de los Equipos Extrusión - Bolsas Plásticas	97
Tabla 4-23 FMEA de la Selladora N° 3.....	98
Tabla 4-24 FMEA Extrusora N° 10.....	99
Tabla 4-25 FMEA Extrusora N° 11.....	100
Tabla 4-26 FMEA de la Extrusora N° 11.....	101
Tabla 5-1 Cronograma de Mantenimiento Anual de la Selladora N° 3.....	106
Tabla 5-2 Cronograma de Mantenimiento Anual de la Extrusora N° 10	106
Tabla 5-3 Cronograma de Mantenimiento Anual de la Extrusora N° 11	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Tipos de Mantenimiento Proactivo.....	28
Figura 2-1 Principio del Estudio de Riesgo	36
Figura 2-2 Las Técnicas Predictivas Representan Ahorro de Tiempo y Dinero....	42
Figura 2-3 Inspección Visual.....	44
Figura 2-4 Kit de Inspección Visual.....	44
Figura 2-5 Exceso de Aceite en Equipos Rotativos	46
Figura 2-6 Análisis de la Amplitud y Frecuencia en una Vibración	48
Figura 2-7 Puntos de Apoyo en un Equipo	49
Figura 2-8 Puntos de Unión con la Cimentación.....	49
Figura 2-9 Posición de Sensores de Medición de Vibración.....	50
Figura 2-10 Desbalance Dinámico en Maquinas	53
Figura 2-11 Desalineamiento Paralelo y Angular Respectivamente	53
Figura 2-12 Partes Flojas en Chumaceras	53
Figura 2-13 Procedimiento de Análisis de Vibraciones.....	54
Figura 2-14 Equipos Medidores y Analizadores de Vibraciones.....	55
Figura 2-15 Principio de Técnica Ultrasónica	56
Figura 2-16 Inspección por Ultrasonido a un Cordón de Soldadura	56
Figura 2-17 Inspección Ultrasónica y Termográficas de Líneas Eléctricas.....	57
Figura 2-18 Inspección Ultrasónica de equipos Térmicos	58
Figura 2-19 Inspección Ultrasónica de una Brida	58
Figura 2-20 Detección de Discontinuidades Internas en Soldadura a Tope	59
Figura 2-21 Partes de un Motor Eléctrico	60
Figura 2-22 Cortos en Espiras de una Bobina	61
Figura 2-23 Tableros de Control para Almacenamiento de Información.....	62
Figura 2-24 Software para Reporte de Condición en Motores Eléctricos	62
Figura 2-25 Principales Fallas en Motores Eléctricos	62

Figura 2-26 Termografía para Conexiones Eléctricas.....	63
Figura 2-27 Inspección Termográficas de Trampas de Vapor	64
Figura 2-28 Cámaras Termográficas Infrarrojas	66
Figura 2-29 Inspección Termográficas de Equipos Rotativos	67
Figura 2-30 Inspección Termográfica de Compresores	67
Figura 2-31 Kit para Líquidos Penetrantes	68
Figura 2-32 Acción Capilar Penetrante en Bridas	68
Figura 2-33 Kit para Inspección de Partículas Magnéticas	70
Figura 2-34 Yugo Magnético.....	71
Figura 2-35 Inspección Mediante Partículas Magnéticas.....	72
Figura 3-1 Extrusoras de Bolsas Plásticas	74
Figura 3-2 Impresora	75
Figura 3-3 Selladoras de Bolsas Plásticas.....	75

LISTA DE ANEXOS

Anexos A Variables para el Cálculo de Índice de Selladoras	113
Anexos B Variables para el cálculo de Índices en Extrusoras	113
Anexos C Tiempo de Parada de las Selladoras.....	114
Anexos D Tiempo de Parada de las Extrusoras	114
Anexos E Vista en Planta de Línea de Producción Extrusión - Bolsas Plásticas	115
Anexos F Vista Frontal Línea de Producción Extrusión – Bolsas Plásticas	116
Anexos G Vista Isométrica de Línea de Producción Extrusión – Bolsas Plásticas	116
Anexos H Artículos de la Línea Hogar	117
Anexos I Juguetería	117

INTRODUCCIÓN

KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A. – KICO S.A fue fundada en Barranquilla en la Vía 40 No. 68B – 57 en el año 1928 por el gran visionario y empresario Don Carlos Kalusin, sociedad que luego en 1932 se une con Don Abraham Eidelman.

La primera actividad con la cual inició la compañía, fue la importación de múltiples y varios artículos de uso personal, luego se comercializó abrigos, cinturones, ligas y otros artículos más también de uso personal.

Don Carlos Kalusin en su visión de mejorar cada día y de seguir abriendo caminos, viajó a diferentes países para conocer los adelantos en la industria y en uno de sus viajes a Nueva York en el campo de Dupont en 1938 vió una Inyectora de plásticos que producía peinillas, tomo la decisión de incursionar en el mercado industrial con la transformación de productos plásticos por proceso de inyección, siendo KICO S.A pionera a nivel nacional en este nuevo campo y en 1945 incursionó en la fabricación de juguetes plásticos siendo un “Lalito” el primero en comercializarse.

KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A ha sido número uno en todos los procesos de transformación de plásticos, moldeo de diferentes artículos para el hogar, extrusión de laminas; empresa pionera en el moldeo de recipientes, balones por el sistema de rotación; extrusión de tuberías flexibles y corrugada para protección de cables eléctricos.

La clave de su éxito ha sido la excelente calidad de sus productos y la experiencia adquirida en el extenso surtido de la producción en artículos de plásticos estos

factores han colocado a KICO S.A como una industria de primer orden en el sector de los plásticos.

El mantenimiento predictivo por ser una actividad planeada permite estar a un paso delante de las paradas no programadas, incluso extiende la vida útil de las maquinarias y sus componentes.

En la actualidad, gran parte de las inversiones en las industrias están asociadas al mantenimiento de equipos asegurando su disponibilidad y fiabilidad. Esta práctica no solo repercute en cuanto a costos de reparación y mantenimiento, sino que afecta de manera directa la productividad y capacidad de respuesta de la empresa frente a la demanda del mercado actual.

El mantenimiento se ha convertido en uno de los pilares dentro de la industria siendo una inversión que ayuda a mejorar y mantener la calidad de la producción, por esta razón, es de suma importancia adoptar una excelente estrategia de mantenimiento para los activos.

KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A actualmente no posee un programa de mantenimiento que se anticipe a las fallas, a los continuos paros no planeados y fallas imprevistas, que la inducen al mal uso de los recursos, aumentando los costos y disminuyendo la disponibilidad de los activos.

La empresa se visualiza como líder en Colombia en cuanto a diseño y manufactura de plásticos con amplia cobertura en el mercado nacional e internacional, esta proyección permite encaminar el mantenimiento hacia una visión distinta y moderna.

Por esta razón, se realiza el desarrollo de un plan de mantenimiento predictivo que permita a la empresa tener acceso a la información de los diferentes sistemas sobre la condición de cada activo o equipo, la cual sea suficiente, precisa y oportuna para la toma de decisiones.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de mantenimiento predictivo para la línea de producción Extrusión - Bolsas plásticas en la empresa Kalusin Importing Company (KICO S.A), mediante el análisis de modo y efecto de falla, con el fin de incrementar la fiabilidad de los diferentes activos de la planta.

OBJETIVO ESPECIFICO



Identificar las funciones de cada uno de los equipos de las diferentes líneas de producción.



Realizar análisis de modo y efecto de falla (*FMEA*), con el fin de conocer el comportamiento de cada uno de los sistemas del activo.



Seleccionar la técnica y el método de ejecución para el mantenimiento oportuno de los diferentes equipos de la línea de producción Extrusión – Bolsas Plásticas.



Generar una guía técnica para la planeación de un mantenimiento predictivo, que permita instruir al personal de la empresa KICO S.A para su ejecución



Elaborar un artículo informativo que proporcione información sobre el *FMEA* y análisis de criticidad como método de mantenimiento predictivo

1. GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO

El área de Mantenimiento es de primordial importancia en el ámbito de la ejecución de las operaciones en la industria. De un buen mantenimiento depende, no sólo un funcionamiento eficiente de las instalaciones, sino que además, es preciso llevarlo a cabo con rigor para conseguir otros objetivos como son el control del ciclo de vida de las instalaciones sin disparar los presupuestos.

Son diversas actividades necesarias para mantener los equipos e instalaciones en condiciones adecuadas para la función que fueron creadas; permitiendo mejorar la productividad en busca de la máxima disponibilidad y confiabilidad de los equipos e instalaciones.

El mantenimiento está basado en los principios como: Respeto para todos los empleados y funcionarios, buen liderazgo, trabajo en equipo compartiendo responsabilidades, compromiso con la seguridad y medio ambiente, propiciar ambiente de responsabilidad donde se desarrolle conocimientos y habilidades.

En consecuencia la finalidad del mantenimiento es brindar la máxima capacidad de producción a la planta, aplicando técnicas que brindan un control eficiente del equipo e instalaciones.³

³Chusin Neto Edwin Orlando, Mantenimiento Industrial, Maca, 2008

1.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO

1.1.1 Mantenimiento Proactivo (MPA)

El Mantenimiento Proactivo, es una filosofía de mantenimiento, dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria. Una vez identificadas las causas que producen desgaste, no se debe permitir que éstas continúen presentes en la maquinaria, ya que de hacerlo, su vida y desempeño, se verán reducidos.

Este mantenimiento, establece una técnica de detección temprana, monitoreando el cambio en la tendencia de los parámetros considerados como causa de falla, para tomar acciones que permitan al equipo regresar a las condiciones establecidas que le permitan desempeñarse adecuadamente por más tiempo.⁴

Este tipo de mantenimiento abarca

- Mantenimiento preventivo (MP)
- Mantenimiento predictivo (MPd)
- Mantenimiento productivo total (TPM)

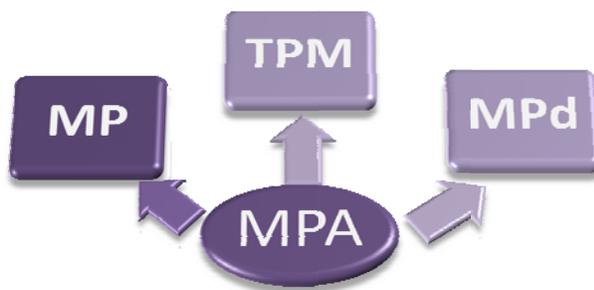


Figura 1-1 Tipos de Mantenimiento Proactivo

⁴Trujillo C. Gerardo, El mantenimiento proactivo como una herramienta para extender la vida de sus equipos, México, 2002.

1.1.2 Mantenimiento Reactivo⁵ (MPR)

Es el mantenimiento en el cuál no se realiza ningún tipo de planificación ni programación. Corresponde a la reparación imprevista de fallas, aplicada en empresas para los componentes de bajo costo, donde el equipo es de una naturaleza auxiliar que no está directamente relacionado a la producción. Si se realiza en equipos directamente relacionados con la producción los costos de mantenimiento serían sumamente elevados.

Las metas del método reactivo son reducir el tiempo de respuesta y por consiguiente la reducción del tiempo de parada del equipo o maquina a un nivel aceptable. Además, se considera que este tipo de mantenimiento tiene lugar cuando ocurre una falla o avería, es decir, solo actuará cuando se presente un error en el sistema. En este caso si no se produce ninguna falla, el mantenimiento será nulo, por lo que se tendrá que esperar hasta que se presente el desperfecto para recién tomar medidas de corrección de errores. Este mantenimiento trae consigo las siguientes consecuencias:

- Paradas no previstas en el proceso productivo, disminuyendo las horas operativas.
- Afecta las cadenas productivas, es decir, que los ciclos productivos posteriores se verán parados a la espera de la corrección de la etapa anterior.
- Presenta costos por reparación y repuestos no presupuestados, por lo que se dará el caso que por falta de recursos económicos no se podrán comprar los repuestos en el momento deseado.
- La planificación del tiempo que estará el sistema fuera de operación no es predecible.

⁵Joan Rius, Gestión de Mantenimiento, Rockwell Automation, 15 de Agosto de 2006

1.2 TIPOS DE FALLAS

Falla es la incapacidad de cualquier activo de cumplir su función dentro de un proceso cualquiera. Entre las fallas están:

1.2.1 Fallas Primarias: Resultan de la deficiencia de un componente. Se presentan generalmente al comienzo de la vida útil del elemento y constituyen un pequeño porcentaje del total de las fallas.

1.2.2 Fallas Secundarias: Resultan de causas secundarias en condiciones no nominales de operación. Podría no haber falla si las condiciones hubiesen estado en el rango de diseño de un elemento.

Entre las condiciones que causan fallas están las temperaturas anormales, sobrepresión, vibraciones, corrosión.

Las fallas secundarias pueden ser categorizadas de la siguiente manera:

- **Fallas con causa común:** para este caso la falla secundaria induce fallas en más de un componente, por ejemplo: una falla del sistema de aire acondicionado produce incremento en la temperatura y de allí se pueden producir fallas en componentes electrónicos.
- **Fallas propagadas:** para este caso si falla un componente puede inducir la falla de otro.
- **Fallas por error humano:** Para este caso si las fallas son causadas por errores humanos en la operación, mantenimiento, inspección, etapas de diseño, construcción e instalación de equipos se deben considerar como la categoría en mención.

2. GUIA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo consiste en un conjunto de estudios que se realiza sin detener el normal funcionamiento de los equipos, con el fin de predecir anomalías en el desempeño de las tareas específicas; donde la necesidad de una acción correctiva se basa en la condición actual del activo. Un programa predictivo efectivo, permite hacer los cambios necesarios antes de que ocurra una falla imprevisible o catastrófica del equipo, pero no tan a menudo como los departamentos de mantenimiento cambian equipos que están potencialmente en riesgo pero que no han llegado al final de su ciclo de vida útil, con la pérdida de tiempo y dinero que ello supone.

El valor del mantenimiento predictivo se mide, a menudo, en términos de costes o tiempos de parada evitados. Los programas predictivos precisan una inversión inicial que si se aplica correctamente es menor que el daño ocasionado por una falla de un elemento crítico del proceso. Con personal correctamente formado y tiempo suficiente para ejecutar las acciones correctivas, estos programas ofrecen un valor añadido sin igual.

En el mantenimiento predictivo o bajo condición; se evalúa el estado de los componentes de un equipo mediante técnicas de seguimiento, inspección y análisis, permitiendo programar las operaciones de mantenimiento solamente cuando son necesarias. Consiste específicamente en el estudio de variables relacionadas con la condición del medio que se mantiene, por ejemplo temperatura, vibraciones, aislamientos, etc. Llevar un seguimiento de estos parámetros suministra información del estado de sus componentes y del modo de

funcionamiento actual de dicho equipo, permitiendo no solo detectar problemas de componentes sino también de diseño y de instalación.

2.1 VENTAJAS

- Las fallas se detectan en sus etapas iniciales por lo que se cuenta con suficiente tiempo para hacer la planeación y la programación de las acciones correctivas (mantenimiento correctivo) en paros programados y bajo condiciones controladas que minimicen los tiempos muertos y el efecto negativo sobre la producción y que además garanticen una mejor calidad de reparaciones.
- Las técnicas de detección del mantenimiento predictivo son en su mayor parte técnicas "on-condition" que significa que las inspecciones se pueden realizar con la maquinaria en operación a su velocidad máxima.
- El mantenimiento predictivo es mantenimiento proactivo ya que permite administrar las fallas antes de que ocurran en operación y no después como lo hace el mantenimiento reactivo.

2.2 Desventajas

Una de las principales objeciones para la implementación del mantenimiento PREDICTIVO, es la inversión que se tiene que realizar para la adquisición del equipo que se debe utilizar, así como de la capacitación del personal, estas y todos aquellos factores, que en determinado momento pueden ser objeciones, deben analizarse detenidamente para determinar su influencia en algo tan importante como es *LA REDUCCION DE COSTOS*.

2.3 METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Para el desarrollo de la metodología de un plan de mantenimiento predictivo en la empresa KICO S.A se contemplaron los siguientes parámetros:

2.3.1 Análisis del Sistema Bajo Estudio

Realizar un inventario de equipos, que consiste en la elaboración de un listado de maquinas que van a incluirse en el programa de mantenimiento predictivo.

2.3.2 Selección de Equipos Críticos (Análisis de Criticidad)⁶

El análisis de criticidad permite constatar que el programa de mantenimiento se concentre en la maquinaria con el '*costo de propiedad*' más alto o donde la falla podría hacer peligrar la seguridad de las personas o el equipo de la planta, u ocasionar una pérdida significativa de producción.

Este es un método que permite jerarquizar instalaciones y equipos en función de su impacto global, priorizando ordenes de trabajo de operación y mantenimiento, diseño de políticas de mantenimiento, selección y manejo de repuestos y materiales. Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de falla} \times \text{Consecuencia} \quad (2.1)$$

Donde;

$$\text{Consecuencia} = a + b$$

$$a = \text{Costo de reparacion} + \text{seguridad} + \text{imp. ambiental} + \text{satisfaccion al cliente}$$

$$b = \text{impacto en la produccion} \times \text{tiempo promedio para reparar}$$

⁶El Análisis de Criticidad, una Metodología para Mejorar la Confiabilidad Operacional. Rosendo Huerta Mendoza. 2009

Los criterios a tener en cuenta para la elaboración de análisis de criticidad son los siguientes: Seguridad, ambiente, producción, costo (operación y mantenimiento) frecuencia de fallas y tiempo promedio para reparar.

- **Frecuencia de fallas:** Veces que falla cualquier componente del equipo que produzca la pérdida de su función.
- **Nivel de producción:** Es la producción aproximada por día de la instalación y sirve para valorar el grado de importancia de la instalación a nivel económico.
- **Tiempo promedio para reparar:** Es el tiempo promedio por día empleado para reparar falla. Se considera desde que el equipo pierde su función hasta que esté disponible para cumplirla nuevamente.
- **Impacto en la producción:** Representa la producción aproximada porcentualmente que se deja de obtener (por día), debido a las fallas ocurridas.
- **Costo de reparación:** Es el costo promedio por falla requerido para restituir el equipo a condiciones óptimas de funcionamiento, incluye labor, materiales y transporte.
- **Impacto en la seguridad personal:** Es la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos y en los cuales alguna persona pueda o no resultar lesionada.
- **Impacto ambiental:** Representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños en los equipos produciendo la violación de cualquier regulación ambiental.

- **Impacto satisfacción al cliente:** Se evalúa el impacto que la ocurrencia de una falla afectara a las expectativas del cliente.

Los pasos para el estudio de criticidad en la línea de Extrusión- Bolsas fueron:

1. Identificación de los sistemas a estudiar
2. Definir el alcance y objetivos del estudio
3. Recolección de datos
4. Verificación y análisis de datos

Para determinar la jerarquización de los equipos, es necesario que los valores de criticidad obtenidos se clasifiquen en cinco zonas específicas, lo cual permite de forma fácil visualizar la distribución de los sistemas evaluados. Esta información es la que orienta la toma de decisiones, focalizando los esfuerzos en la zona de alerta peligrosa, donde se ubica la mejor oportunidad de agregar valor y aumentar la fiabilidad de los equipos.

La tabla 2.1 permite clasificar los rangos de criticidad para la evaluación realizada a la línea de Extrusión - Bolsas Plásticas

Tabla 2-1 Rangos de Criticidad

Efecto	Criticidad	Ranking
Alerta peligrosa	Afecta la operación segura del equipo e implica una No conformidad.	>26,5
Moderada	El equipo es operable, experimenta variaciones de temperatura operacional.	14,6 – 26.5
Baja	Desajustes o chirridos en el equipo generan contaminación auditiva.	5.6 – 14.5
De menor importancia	El equipo es operable, pero puede que presente necesidad de limpieza	1.6 – 5.5
Ninguno	Ningún efecto	0-1.5

2.3.3 Efectuar Análisis de Modo y Efecto de Falla (FMEA)

El FMEA se emplea para la búsqueda y evaluación de escenarios que pueden representar un impacto adverso para la planta de proceso, identificando los escenarios de mayor riesgo y emitiendo acciones tendientes a minimizar los mismos. El principio de estudio de riesgo para la empresa KICO S.A, se realizó con base a dar respuesta a tres interrogantes:



Figura 2-1 Principio del Estudio de Riesgo

Analizando las respuestas a estos interrogantes se comprenden los riesgos presentes en los equipos o activos y se puede actuar con base a los efectos de las fallas.

Los pasos a llevar a cabo para la elaboración de un análisis de modo y efecto de falla en la empresa KICO S.A comprenden las siguientes actividades:

- **Análisis funcional:** El análisis funcional es necesario para comenzar un proceso de evaluación de los modos de falla, ya que se requiere conocer e identificar cuáles son aquellas funciones que el usuario espera o desea que su activo desempeñe. Se requiere identificar tanto la función principal y como las secundarias.
- **Identificación de modo de falla:** Se define como la forma en la que un activo pierde la capacidad de desempeñar su función, o la forma en que un

activo falla. A cada modo de falla le corresponde una acción de mitigación o prevención.

Al aceptar que mantenimiento es asegurar que los activos físicos continúen cumpliendo su función, se debe destacar un programa de mantenimiento que tenga en cuenta todos los eventos que tienen la posibilidad de amenazar esa funcionalidad. Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos de la siguiente manera:

1. Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado.
2. Cuando el funcionamiento deseado se eleva encima de la capacidad inicial.
3. Cuando desde el comienzo el activo físico no es capaz de cumplir su función.

➤ **Efecto y consecuencia de Falla:** Los efectos de la falla son considerados como la forma en la que la falla se manifiesta, ya sea local o en otra parte del sistema, estas manifestaciones pueden ser: aumento/disminución de nivel, mayor/menor temperatura, activación de señales, alarmas o dispositivos de seguridad, vibraciones, ruidos, entre otras.

Los efectos de la falla representan que pasa cuando ocurre un modo de falla, un efecto de falla no es lo mismo que consecuencia de falla. Un efecto de falla responde al interrogante ¿Qué ocurre? Mientras que una consecuencia de falla responde a la pregunta ¿Qué importancia tiene?

La descripción de estos efectos debe incluir toda información necesaria para la evaluación de las consecuencias de las fallas. De hecho al describir tales efectos se debe tener en cuenta:

1. La evidencia (si la hay) de que se ha producido una falla.
2. Las formas (si las hay) en que la falla supone una amenaza para la seguridad o medio ambiente.
3. Las maneras (si la hay) en que afecta a la producción o a las operaciones.
4. Daños físicos (si la hay) causados por la falla.
5. Que debe hacerse para reparar la falla

2.3.4 Determinar los Parámetros Factibles a Monitorear

Identificar las variables de mayor impacto dentro de la ejecución de las funciones de cada activo, a las cuales se mantendrán en control y continuo monitoreo por medio de una técnica de predicción.

2.3.5 Seleccionar la Técnica y el Método de Mantenimiento Predictivo

Es la combinación adecuada de tecnología y modo de ejecución para proteger el equipo contra los modos de falla identificados. Por otro lado, se presenta la selección del equipo y la capacitación de los ingenieros y/o personal técnico, incluso si se requiere de terceros para la implementación del monitoreo de condición.

Es muy importante involucrar al personal experimentado de operaciones e ingeniería de la empresa KICO S.A, ya que su conocimiento será determinante para el éxito del proceso.

2.3.6 Elaborar los Procedimientos Detallados de la Rutina de Mantenimiento Predictivo

Diseñar rutas para la recolección de datos de la línea de producción considerada. Evaluando los diferentes activos, teniendo en cuenta los elementos de seguridad requeridos y disponibilidad de la maquinaria para monitoreo.⁷

2.4 EFECTIVIDAD DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

La efectividad es la probabilidad de que un buen funcionamiento y desempeño operacional durante un período determinado incremente la confiabilidad en los equipos, bajo condiciones operativas específicas (por ejemplo: condiciones de presión; temperatura; velocidad; nivel de vibración; tensión; entre otros. En la práctica, la confiabilidad se define como el tiempo medido en ciclos de mantenimiento o el tiempo medio entre dos fallas consecutivas de allí que es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros.

2.4.1. Disponibilidad

La disponibilidad es una excelente medida de la capacidad de uso del activo durante el tiempo programado. Permitiendo determinar la probabilidad de que los equipos de la empresa KICO S.A estén aptos para su funcionamiento, cuando se requiere en un periodo de tiempo dado. Representando así la fracción de tiempo que dispone el equipo para que funcione sin detenerse durante el tiempo programado⁸.

La disponibilidad del equipo se define como:

$$\text{Disponibilidad} = (TP - TI) / TP \quad (2.2)$$

TP = Tiempo programado de funcionamiento

TI = Tiempo de inactividad por falla

⁷ Difusión de Cultura de Mantenimiento y Confiabilidad, Industrial Tijuana

⁸Punto de Partida del TPM Medir la Productividad Real de los Equipos, Advanced Productive Solutions

2.4.2. Eficiencia

El nivel de rendimiento es una medida que indica si el equipo funciona a los máximos niveles esperados. Mide la pérdida por rendimiento causadas por el mal funcionamiento de los equipos

La eficiencia de un activo de producción se define como:

$$\text{Eficiencia} = Te/Tr \quad (2.3)$$

Te = Tiempo de operacion utilizable

Tr = Tiempo perdido por operacion

Es posible que un equipo tenga una alta disponibilidad, sin embargo, debido a problemas técnicos no puede operar con el nivel de eficiencia más altos.

2.4.3 Índice de Calidad

Esta medida representa el grado de efectividad que tiene un equipo para lograr los estándares de calidad del producto que se fabrica. Representa el tiempo que el equipo opera para fabricar productos satisfactorios de acuerdo a los parámetros de calidad. La calidad del servicio de mantenimiento a tener en cuenta es:

$$\text{Indice de calidad} = (CP - D) / CP \quad (2.4)$$

CP = Cantidad elaborada por el bien

D = Cantidad que presenta defectos

El índice de calidad, mide el tiempo perdido por productos defectuosos y el reproceso de los productos fuera de los estándares de calidad.

2.4.4 Tasa de Efectividad de Mantenimiento

Es uno de los factores principales para perfeccionar la actuación del equipo y por mantener un mecanismo supervisado.

Este indicador permite determinar las pérdidas reales de los equipos medidos en tiempo.

$$Tasa\ de\ efectividad = disponibilidad \times eficiencia \times \acute{indice\ de\ calidad} \quad (2.5)$$

Esta medida evalúa el rendimiento del equipo mientras está en funcionamiento, está fuertemente relacionado con el estado de conservación y productividad del equipo mientras funciona.

Para el establecimiento de los niveles de comportamiento del indicador de Tasa de Efectividad de Mantenimiento, se tiene la siguiente escala⁹:

Tabla 2-2 Rangos de Evaluación para Índices de Efectividad

Rango	Porcentaje
Bueno	71% - 100%
Regular	51% - 70 %
Mal	0% - 50%

Para poder establecerse en los primero niveles, la empresa debe presentar un cumplimiento total de los parámetros que rigen al factor en cuestión, obteniendo calificación de Bueno sólo cuando esto se alcanza a plenitud; la categoría de Regular será aplicada a los equipos que presenten algún tipo de dificultad, mientras que las de Mal, a los que no cumplan con su función.

⁹Cómo medir la gestión del mantenimiento en la empresa. MSclng Aramis Alfonso LLanes. 2006

2.5 TÉCNICAS DE MONITOREO PREDICTIVO

Una parte importante de las tareas de mantenimiento para equipos corresponden a mantenimiento condicional o predictivo. Es decir, se chequea el equipo o la instalación, se realizan análisis, mediciones, tomas de datos e incluso observaciones visuales, y si se encuentra algo anormal, o la evolución de un parámetro que no es la adecuada, se actúa.



Fuente: Hugo Pereira, Conferencia Exhibición Reliability World, 2006

Figura 2-2 Las Técnicas Predictivas Representan Ahorro de Tiempo y Dinero

Son muchas y muy variadas las tecnologías que se pueden aplicar al campo del mantenimiento bajo condiciones, la tabla 2-3 categoriza técnicamente la aplicabilidad de cada monitoreo predictivo en los equipos.

Tabla 2-3 Categorías Técnicas de Mantenimiento Predictivo

CATEGORIAS DE TECNICAS PREDICTIVAS	
Monitoreo Dinámico	Vibraciones Emisiones Acústicas
Monitoreo Químico	Análisis de Aceite
Monitoreo Físico	Tintas Partículas Magnéticas Ultrasonido
Monitoreo de Temperatura	Termografía
Monitoreo Eléctrico	Motor Testing

Tabla 2-4 Algunas Técnicas Predictivas y su Aplicabilidad¹⁰

Técnicas Predictivas	Aplicable a :	Fallas detectables
Análisis de vibración standard	Amplio rango de máquinas rotativas ,cojinetes, rodamientos, bombas,	Fallas de elementos de rodamientos (pista, rodillos, jaula) problemas de lubricación en cojinetes.
	Ventiladores engranajes, reductores, poleas y correas, cadenas ,ejes ,acoplamientos	Engranajes dañados ó gastados, ejes, problemas de lubricación en reductores. Desbalanceo en ventiladores, bombas.
Ultrasonido	Sistemas presurizados ó de vacío tales como intercambiadores de calor, enfriadores, compresores de aire.	Pérdidas, sellos y juntas falladas, operación de válvulas defectuosas cavitación Problemas de lubricación.
	Reductores industriales, motores de combustión interna compresores, sistemas hidráulicos , transformadores	Condiciones físico químicas del aceite ó grasa, contaminación del lubricante Análisis de desgastes de componentes (engranajes etc)
Termografía	Sistemas de distribución eléctricos transformadores, sistemas de bajo voltaje,	Fallas en contactores , relés e interruptores fusibles, conexiones flojas, sobrecargas, pérdidas de aislación, etc
	Maquinas y sistemas rotativos revoluciones	
Estroboscopia	Inspección de máquinas rotativas en general, incluyendo poleas, correas, cadenas y piñones, ejes de mando, engranajes, acoplamientos	Fallas en paleteros de ventilador, acoplamientos gastados , correas y poleas dañadas ó gastadas, cadenas y piñones ,
		Condición de escobillas en motores de cc
Alineación de Ejes		Problemas de alineación paralelo y angular de ejes
Alineación de Poleas		Alineación de poleas y piñones
Balaceo Dinámico		Desbalanceo simple ó múltiple de sistemas rotativos

¹⁰Mantenimiento predictivo herramientas y técnicas para el monitoreo de las condiciones de equipos y máquinas, *Construsur* , Argentina 2006

2.5.1 Inspección Visual

La inspección visual consiste en la observación del equipo, tratando de identificar posibles problemas detectables a simple vista. Donde se destacan problemas como ruidos anormales, vibraciones extrañas, fugas de aire, agua o aceite, comprobación del estado de pintura y observación de signos de corrosión. Cabe destacar que la lectura de variables consiste en la anotación de los diferentes parámetros que se miden en continuamente en los equipos, para compararlos con su rango normal. Fuera de ese rango normal, el equipo tiene un fallo.

Estas inspecciones y lecturas, por su sencillez y economía, es conveniente que sean realizadas a diario, incluso varias veces al día, y que abarquen al mayor número de equipos posible. Suele llevarlas a cabo el personal de operación, lo que además les permite conocer de forma continua el estado de la planta.



Figura 2-3 Inspección Visual



Figura 2-4 Kit de Inspección Visual

Fuente: Inspeq Ingeniería, 2009

2.5.2 Análisis de Aceite

El análisis de aceite usados proporciona información sobre el nivel de contaminación con partículas solidas, la relación de la viscosidad con la temperatura, el contenido de aditivo, el nivel de deterioro del aceite usado, el nivel

de desgaste mecánico de las superficies metálicas que se lubrican y las materias orgánicas.

Los objetivos que se desean al realizar un análisis de aceites son:

- Establecer la condición del aceite
- Predecir fallas
- Evitar daños permanentes
- Disminuir paradas innecesarias
- Incrementar la eficiencia del equipo
- Establecer la frecuencia del cambio de aceite
- Asegurar el lubricante adecuado para el equipo

Tabla 2-5 Pruebas que se Realizan en Aceites Industriales

Pruebas físicas	Pruebas químicas
Viscosidad	Número de neutralización
Color	Oxidación
Punto de llamarada	Insolubles en pentano y benceno
Punto de fluidez	Contenido de agua
Demulsibilidad	Cenizas sulfatadas
Espumación	Corrosión
Cenizas	Punto de anilina
Gravedad API	Contenido de azufre
Desgaste	Análisis infrarrojo
Extrema presión	Difracción de rayos x
Olor	Absorción atómica

Procedimientos de muestreo: Las muestras de aceites usados se deben tomar recién detenido el mecanismo con el fin de que todas las impurezas se hallen en suspensión en el cuerpo del aceite y los resultados sean lo más representativamente posibles. Para determinar si el aceite puede seguir prestando servicio, la muestra debe ser tomada lo más cerca posible del punto o línea de retorno del aceite a depósito. Si se quiere determinar la naturaleza del contaminante, la muestra debe ser tomada del fondo del depósito después de que el aceite haya reposado cierto tiempo.

Tamaño de la muestra y tipo de envase: Las cantidades mínimas de muestra que deben ser enviadas al laboratorio para hacer un análisis completo del aceite se establecen en la tabla 2-6.¹¹

Tabla 2-6 Cantidad de Muestra por Tipo de Aceite

Tipo de aceite	Cantidad
Aceite de turbina, sistemas hidráulicos y sistemas de circulación	1 Litro
Aceites para motores diesel y a gasolina	1 Litro
Aceites para engranajes y transmisiones automotrices	½ Litro
Depósitos sólidos	100 gramos
Aceites para cortes (solubles y no solubles)	1 Litro



Fuente: Hugo Pereira, Conferencia Exhibición Reability World, 2006

Figura 2-5 Exceso de Aceite en Equipos Rotativos

¹¹Identificación del Análisis de Aceites Lubricantes como Elemento del Mantenimiento Predictivo, Ing. Sandra Liliana Gómez, Bogotá- Colombia, 2003

2.5.3 Análisis de Vibraciones

La técnica de Análisis de Vibraciones para mantenimiento predictivo se fundamenta en la detección de fallas en equipos rotativos principalmente, a través del estudio de los niveles de vibración. El objetivo de esta práctica es obtener la representación del espectro de las vibraciones de un equipo para su posterior análisis.

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

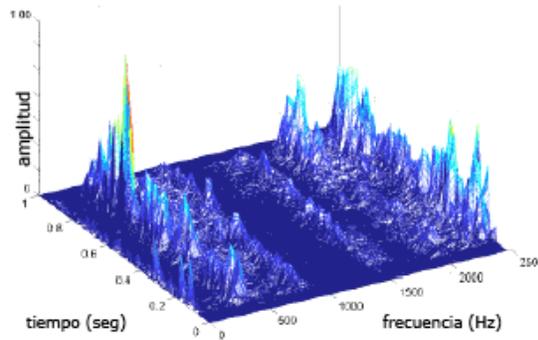
Mediante el Análisis de vibraciones se puede determinar las fallas que ocasionan los altos niveles de vibración como: Desbalances, desalineamiento de ejes o poleas, ejes doblados, fajas deterioradas, rodamientos defectuosos, rodamientos con holguras fuera de tolerancias, cavitación, resonancias, defectos de engrane, problemas eléctricos en motores, entre otros.

Existen dos técnicas diferentes para el análisis y monitoreo vibracional de un equipo:

1. Medición de la amplitud de la vibración: Da un valor global del desplazamiento o velocidad de la vibración. Cuando la vibración sobrepasa el valor preestablecido el equipo debe ser revisado. Únicamente informa de que hay un problema en el equipo, sin poderse determinar por esta técnica donde está el problema¹²

¹²Técnicas de mantenimiento predictivo en plantas industriales, Santiago García Garrido, España 2011

2. Analizador del espectro de vibración: La vibración se descompone según su frecuencia. Analizando el nivel de vibración en cada una de las frecuencias se puede determinar la causa de la anomalía.



Fuente: G&M Ingeniería Ltda, 2008

Figura 2-6 Análisis de la Amplitud y Frecuencia en una Vibración

Los parámetros a tener en cuenta dentro de las vibraciones son:

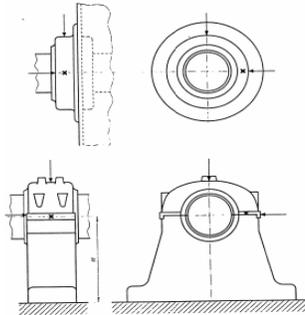
- **Frecuencia:** Es el tiempo necesario para completar un ciclo vibratorio. En los estudios de vibración se usan los CPM (ciclos por segundo) o HZ (hercios).
- **Desplazamiento:** Es la distancia total que describe el elemento vibrante, desde un extremo al otro de su movimiento.
- **Velocidad y Aceleración:** Como valor relacional de los anteriores.
- **Dirección:** Las vibraciones pueden producirse en 3 direcciones lineales y 3 rotacionales
- **Fase:** Posición de una pieza que vibra en un instante dado con respecto a un punto de referencia o a otra pieza

Estas variables son medidas en los puntos más cercanos a las ZONAS DE CARGA (apoyos, rodamientos, cojinetes, etc.)

Puntos de medición

Existen dos puntos en los cuales es importante medir el nivel de vibración:

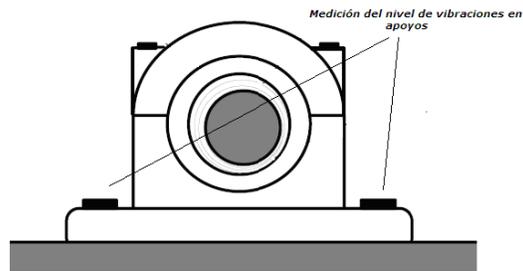
- En los descansos, es decir, en aquellos puntos en los que la máquina se apoya. En el caso de motores eléctricos, es importante medir en los rodamientos o cojinetes.



Fuente: Santiago García, *Técnicas de Mantenimiento Predictivo en Plantas Industriales*, 2011

Figura 2-7 Puntos de Apoyo en un Equipo

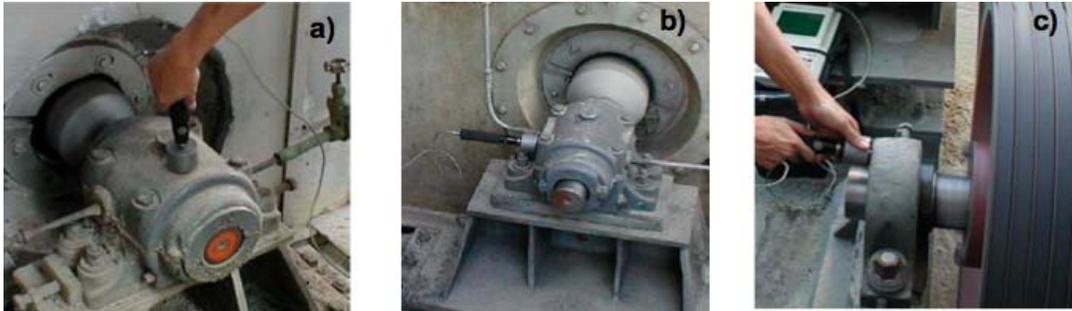
- En los puntos de unión con la bancada o cimentación



Fuente: Santiago García, *Técnicas de Mantenimiento Predictivo en Plantas Industriales*, 2011

Figura 2-8 Puntos de Unión con la Cimentación

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



Fuente: Melvin Castellano, Programa de Mantenimiento Predictivo por Análisis de Vibraciones, 2005

Figura 2-9 Posición de Sensores de Medición de Vibración

Normas de severidad

La Norma ISO 10816-1 ha reemplazado a la Norma ISO 2372 como guía para mediciones fuera de límite y para la evaluación de vibraciones mecánicas en máquinas. Una vez que se ha definido la clasificación general de las máquinas, su aplicación, la técnica de montaje; las condiciones de operación deben ser tenidas en cuenta dentro de los parámetros de aceptación del criterio de evaluación aplicado. Para esta norma, las medidas de la velocidad pueden ser categorizadas de la siguiente forma¹³:

¹³Programa de Mantenimiento Predictivo por Análisis de Vibraciones en Equipos Críticos de la Industria Azucarera, Ing. Melvin Enrique Castellanos Torres, San Salvador 2005

Tabla 2-7 Categorías de las Maquinas a partir de su Velocidad

Categoría	Características
CLASE I	La máquina puede ser separada en conductor y el conducido, o unidades conjuntadas que abarcan maquinaria de movimiento de hasta 15 KW (20 HP aproximada)
CLASE II	Maquinaria (motores eléctricos 15 KW (20 HP) hasta 75 KW (100 HP), sin cimentación especial, o motores montados rígidamente o máquinas con 300 KW (400 HP) montados con fundación especial.
CLASE III	Las máquinas grandes con conductores primarios (turbinas, motores eléctricos, etc.) y otras maquinarias con ensambles rotatorios grandes y montadas en fundaciones rígidas y pesadas que son razonablemente derechas en la dirección de la vibración.
CLASE IV	Incluye grandes conductores primarios y otras grandes maquinarias con grandes ensambles rotatorios montados en fundaciones las cuales son relativamente suaves en la dirección medida de la vibración, (turbogeneradores y turbinas de gas mayor que 10 MW (13500 HP)

Los rangos típicos relacionados con la categoría de la máquina, tanto para valores RMS como pico se establecen en la siguiente tabla:

Tabla 2-8 Severidad de los Equipos a Partir su Velocidad y Clase

Severidad de la velocidad				CRITERIOS DE VELOCIDAD LIMITE Y CLASES DE MAQUINAS			
Mm/seg RMS	In/seg RMS	mm/seg Pico	In/seg Pico	Maquinas pequeñas Clase I	Maquinas medianas Clase II	Maquinas grandes	
						Soportes rígidos Clase III	Menos soportes rígidos Clase IV
0.28	0.011	0.51	0.02				
0.45	0.018	0.76	0.03	Bueno	Bueno	Bueno	
0.71	0.028	1.02	0.04				Bueno
1.12	0.044	1.52	0.06	Satisfactoria			
1.8	0.071	2.54	0.10		Satisfactoria		
2.8	0.11	4.06	0.16	Satisfactoria		Satisfactoria	
4.5	0.177	6.35	0.25	(alerta)	Satisfactoria		Satisfactoria
7.1	0.280	10.16	0.40		(alerta)	Satisfactoria	
11.2	0.441	15.75	0.62	Inaceptable		(alerta)	Satisfactoria
18.0	0.709	25.40	1.00	(parada)	Inaceptable	(parada)	(Alerta)
28.0	1.102	39.62	1.56		(parada)	(parada)	Inaceptable
45.0	1.772	63.75	2.51				(parada)

Descripción de criterios:

1. Magnitud de la vibración baja, se dice que el rango es *Bueno*, es decir que el peligro de falla es mínimo.
2. Magnitud de la vibración *Satisfactoria*, la maquina se encuentra en los límites normales.

3. Magnitud de la vibración es *Satisfactoria Alerta*, esto indica que la vibración se encuentra cerca de los límites recomendados.
4. Magnitud de la vibración es *Intolerable (Parada)*, la posibilidad de falla es alta y debe someterse a revisión la máquina de inmediato.

➤ **Causas de las vibraciones mecánicas**

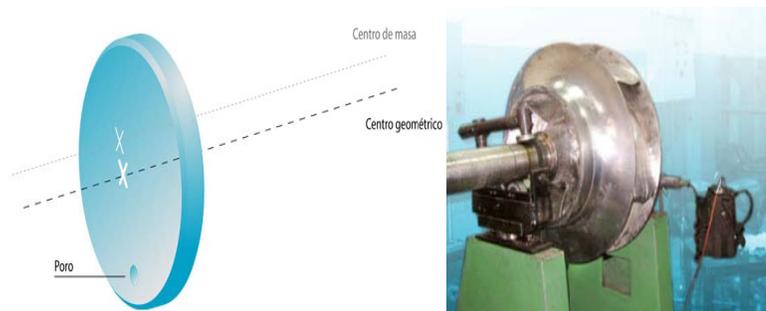
Uno de los fenómenos más comunes que producen vibraciones en una máquina es **El desbalance dinámico**. Este tipo de vibración mecánica en las máquinas rotativas produce fuerzas centrífugas (dirección radial) que cambian de dirección en el espacio, conforme gira la máquina.

Otro elemento que puede provocar vibraciones es **El desalineamiento** en los elementos. Este caso se da por ejemplo, cuando no existe paralelismo entre un eje y sus chumaceras; lo que provoca un aumento en la magnitud de vibración de los apoyos o calentamiento en las chumaceras.

Otra fuente importante que puede llegar a producir aumento en las vibraciones es: **La Flojedad**. Este fenómeno se da cuando existen desajustes en los elementos de transmisión, tales como: cadenas, ruedas dentadas y acoples. Estos desajustes provocan que los elementos se aflojen, iniciando un proceso de aumento de la magnitud de vibración en los elementos de apoyo (chumaceras).

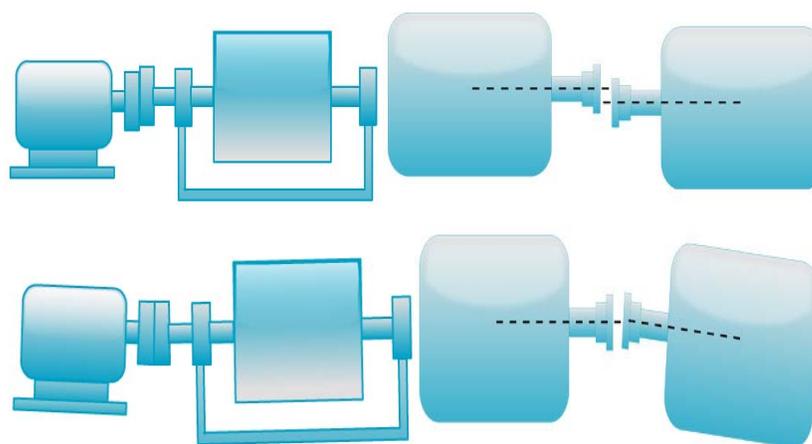
Una causa muy común de vibraciones consiste en **las fallas en las Chumaceras**. Debido a que estos elementos son los que soportan la carga de los ejes, están propensos a fallar por desgaste, calentamiento o por consecuencia de desalineamiento y desbalances en los ejes.¹⁴

¹⁴Programa de Mantenimiento Predictivo por Análisis de Vibraciones en Equipos Críticos de la Industria Azucarera, Ing. Melvin Enrique Castellanos Torres, San Salvador 2005



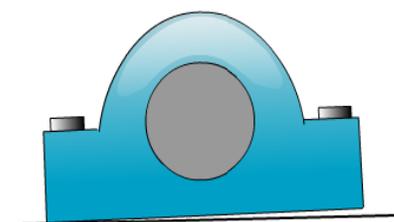
Fuente: Vibratéc S.A, Ecuador, 2007

Figura 2-10 Desbalance Dinámico en Maquinas



Fuente: Vibratéc S.A, Ecuador, 2007

Figura 2-11 Desalineamiento Paralelo y Angular Respectivamente

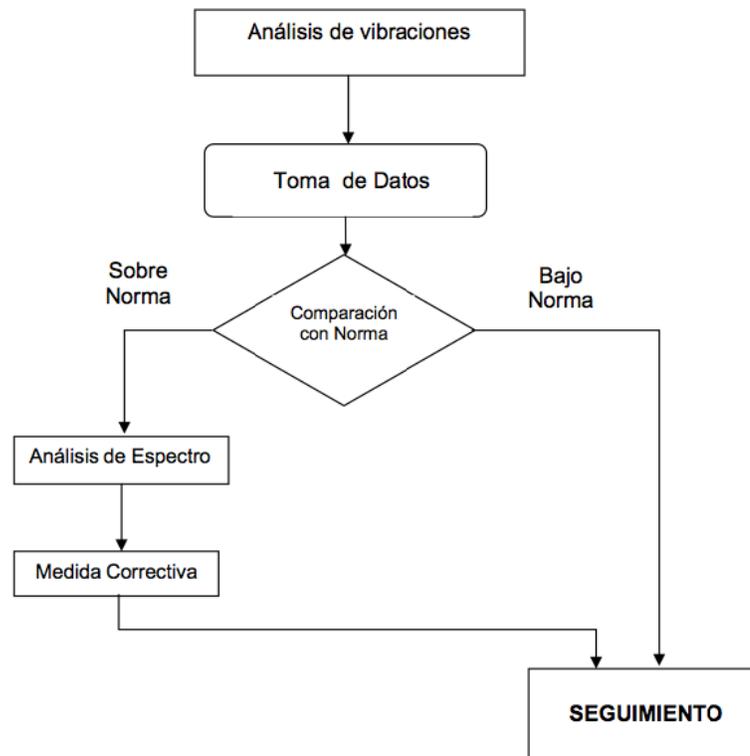


Fuente: Vibratéc S.A, Ecuador, 2007

Figura 2-12 Partes Flojas en Chumaceras

➤ Procedimiento para el análisis de vibraciones

Con el siguiente diagrama de flujo se ilustra el proceso de análisis de Vibraciones para una máquina.



Fuente: Melvin Castellano, Programa de Mantenimiento Predictivo por Análisis de Vibraciones, 2005

Figura 2-13 Procedimiento de Análisis de Vibraciones

➤ Equipos para medición de vibraciones

Los equipos para análisis de vibraciones, se clasifican dependiendo a su grado de complejidad en dos tipos:

1. Medidores de Vibración RMS: Estos equipos solo proporcionan un valor de magnitud. Son empleados mayormente para llevar registros generales. Con este tipo de equipos no es posible realizar diagnósticos. Los hay fijos y portátiles.

2. Analizadores de Vibración: Estos equipos proporcionan el espectro de vibración, con este equipo es posible realizar diagnósticos. Los hay fijos y portátiles.



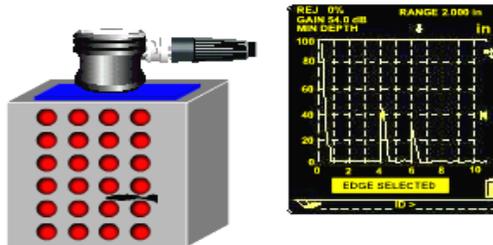
Fuente: Hugo Pereira, Conferencia Exhibición Reliability World, 2006

Figura 2-14 Equipos Medidores y Analizadores de Vibraciones

2.5.4 Inspección por Ultrasonido

El uso de la técnica ultrasonido en el mantenimiento de equipos ha sido utilizado desde hace aproximadamente 40 años. Hoy en día, instrumentos y herramientas portátiles que detectan el ultrasonido se usan comúnmente para detectar fugas en sistemas de aire o gas comprimido, comprobar el correcto funcionamiento de válvulas y trampas de vapor, encontrar descargas corona en equipos eléctricos, detectar fallas en rodamientos, efectuar pruebas de hermeticidad y detectar defectos en la soldadura.

La inspección por ultrasonido se realiza básicamente por el método en el cual la onda ultrasónica se transmite y se propaga dentro de una pieza hasta que es reflejada y regresa al transmisor proporcionando información de su recorrido.



Fuente: Inspeq Ingeniería Ltda. Ensayos No Destructivos, 2008

Figura 2-15 Principio de Técnica Ultrasónica

El **ultrasonido** se define como ondas de frecuencia que están por encima del límite de audición para el ser humano ó en exceso a los 20000 Hz de frecuencia. El sonido se propaga a través de ondas longitudinales, transversales y superficiales en medios como (agua, aire, vidrio, metal, etc.). Una **onda** no es más que una perturbación en movimiento que ocasiona que las partículas del medio sobre el cual se desplaza vibren.



Fuente: Inspeq Ingeniería Ltda. 2010

Figura 2-16 Inspección por Ultrasonido a un Cordón de Soldadura

El ultrasonido se utiliza también para complementar inspecciones termográficas en líneas de transmisión en donde, el efecto corona no incide en un incremento de temperatura del objetivo.



Fuente: Hugo Pereira, Conferencia Exhibición Reliability World, 2006

Figura 2-17 Inspección Ultrasónica y Termográficas de Líneas Eléctricas

Ventajas

1. Puede usarse en la mayoría de los materiales Muestra discontinuidades internas.
2. Permite el dimensionado preciso de las discontinuidades de forma directa
3. Es aceptado por variedad de códigos y estándares internacionales Puede automatizarse
4. Gran sensibilidad para pequeñas discontinuidades. Libre de riesgos para el operario y muy portátiles.
5. Puede cubrir espesores tan altos como metros de acero

Desventajas

1. Requiere personal altamente entrenado y con mucha experiencia
2. Relativamente difícil interpretación de los resultados
3. Requiere buenas condiciones superficiales en la pieza a inspeccionar
4. Restricciones al ensayar geometrías complejas
5. Equipos relativamente costosos.

Aplicaciones

El ultrasonido como técnica de ensayo no destructivo incluye entre sus aplicaciones la detección de fugas, monitoreo de la condición y lubricación basada en la acústica de rodamientos. Además, de monitoreo de trampas de vapor, pequeñas calderas, condensadores e intercambiadores de calor.



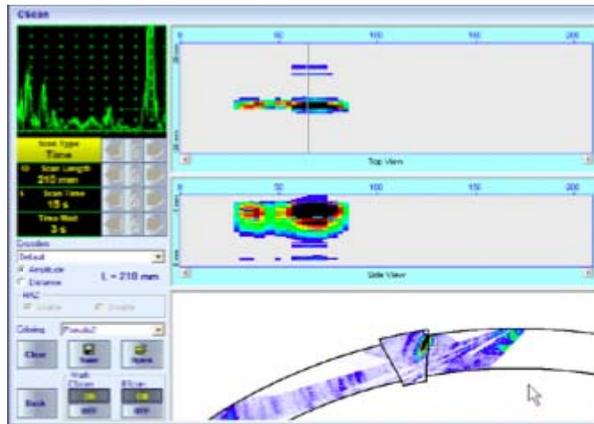
Fuente: Hugo Pereira, Conferencia Exhibición Reliability World, 2006

Figura 2-18 Inspección Ultrasonica de equipos Térmicos



Fuente: GE Inspection Technologies, 2010

Figura 2-19 Inspección Ultrasonica de una Brida



Fuente: Inspeq Ingeniería Ltda. 2010

Figura 2-20 Detección de Discontinuidades Internas en Soldadura a Tope

Análisis de rodamientos

Una vez definida la línea de referencia (decibeles para un funcionamiento normal) la tabla 2-9 muestra un análisis del comportamiento de los rodamientos y su acción para ejecutar en cuanto a mantenimiento se refiere.¹⁵

Tabla 2-9 Acciones a Ejecutar para Mantenimiento Predictivo de Rodamientos

Modo de falla del rodamiento	Decibeles sobre la referencia	Acción
Pre-falla o falta de lubricación	8 – 10 db	Lubricar y retomar las lecturas
Primeros síntomas o comienzo de la falla	10 – 12 db	Vigilar en el tiempo
Falla	16 db	Programar su reemplazo (próximo período conveniente)
Falla catastrófica	35 – 50 db	Remover y reemplazar de inmediato

¹⁵Ultrasonido: Una Técnica Predictiva muy Versátil en el Mantenimiento, Fernando Espinosa Fuentes, Universidad de Talca España

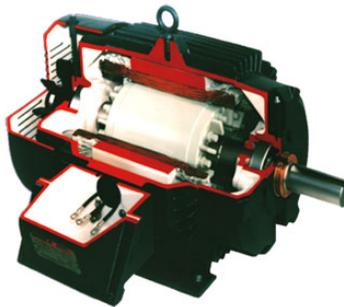
2.5.5 Inspección de Circuitos Eléctricos en Motores

El propósito de realizar y un análisis de circuitos eléctricos a los motores es suministrar un método de medición de las propiedades electromagnéticas de un motor, de manera que su condición sea determinada si se monitorea como un circuito eléctrico. Los parámetros a medir son¹⁶:

1. Resistencia, impedancia
2. Inductancia, ángulo de fase
3. Desbalance de fases
4. Relación corriente/frecuencia en función de la impedancia
5. Resistencia a tierra
6. Estado de las barras del rotor
7. Uniformidad del entrehierro

Un motor eléctrico tiene cinco zonas de fallas eléctricas:

1. Circuito de alimentación
2. Embobinado del estator
3. Rotor del motor (fallas de barras)
4. Aislamiento



Fuente: Vibratec S.A, Ecuador, 2007

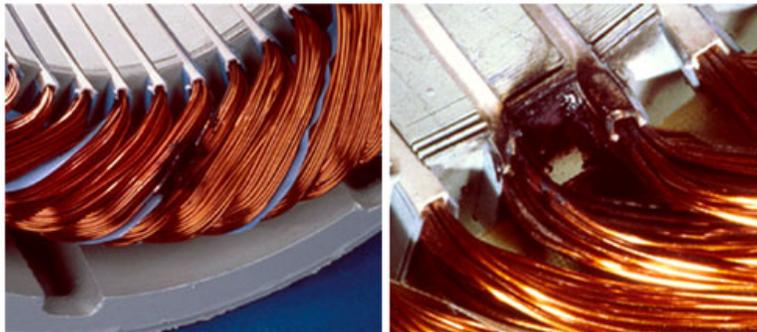
Figura 2-21 Partes de un Motor Eléctrico

¹⁶Vibratec S.A, Mantenimiento Predictivo, Análisis de Circuitos Eléctricos en Motores, Guayaquil-Ecuador, 2007

Estructura básica de un motor:

La inspección mediante el análisis de circuitos indica la existencia de entre otras las siguientes fallas:

1. Embobinado contaminado, grasa, polvo o humedad
2. Cortos en la espira, entre vueltas o entre fases
3. Desbalance de fases, desbalance de impedancias, lo que ejemplifica un incremento del consumo energético del motor y una disminución de su vida útil
4. Fallas en la conductividad en las bobinas
5. Fallas en el rotor, barras defectuosas, rotor excéntrico o incrustaciones en el núcleo
6. Fallas de aislamiento



Fuente: Vibratec S.A, Ecuador, 2007

Figura 2-22 Cortos en Espiras de una Bobina

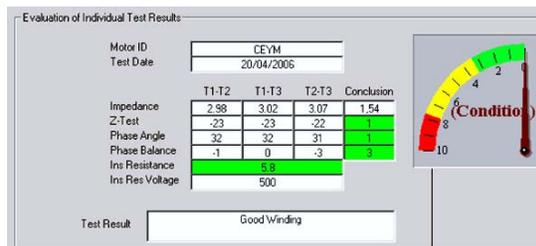
El análisis de circuitos eléctricos se realiza con el motor desenergizado, sin ningún riesgo para el técnico que efectúa el análisis ni del equipo que está siendo monitoreado. Los datos pueden ser almacenados desde la caja de conexiones del motor o desde el tablero de control.



Fuente: Vibrattec S.A, Ecuador, 2007

Figura2-23 Tableros de Control para Almacenamiento de Información

Una vez ingresados los datos de campo en el computador, un software especial entrega un reporte acerca de la condición eléctrica del motor.

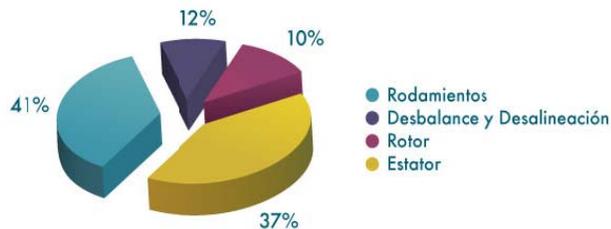


Fuente: Vibrattec S.A, Ecuador, 2007

Figura 2-24 Software para Reporte de Condición en Motores Eléctricos

Fallas características en motores Eléctricos

Algunos estudios muestran que más del 50% de las fallas en los motores eléctricos se presentan en los rodamientos, por desbalance y por desalineación. (Ver figura 2-25)



Fuente: Vibrattec S.A, Ecuador, 2007

Figura2-25 Principales Fallas en Motores Eléctricos

2.5.6 Inspección Termográficas

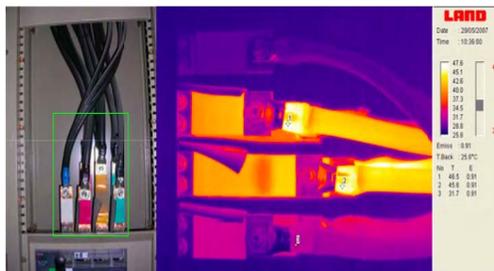
La Termografía es una técnica para medir temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a monitorear. Mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras termográficas, se puede convertir la energía radiada en información sobre temperatura del objeto estudiado, con fines de detectar puntos calientes o fríos que un futuro pudiese dar problemas.

Termografía significa “escritura en calor”, igual que fotografía significa “escritura con luz”. La imagen generada se denomina termograma o imagen térmica.

Sir William Herschel, alrededor del año 1800, accidentalmente descubrió la porción infrarroja del espectro electromagnético. Herschel concluyó de sus experimentos que adicional a los rayos visibles, el sol también emite rayos invisibles, el los identificó como “espectro termométrico”.

La termografía en equipos eléctricos tiene como objetivo detectar componentes con defectos basándose en la elevación de la temperatura como consecuencia de un aumento anormal de su resistencia óhmica. Entre las causas que originan estos defectos están:

- Conexiones afectadas por corrosión
- Suciedad en conexiones y/o en contactos
- Degradación de los materiales aislantes



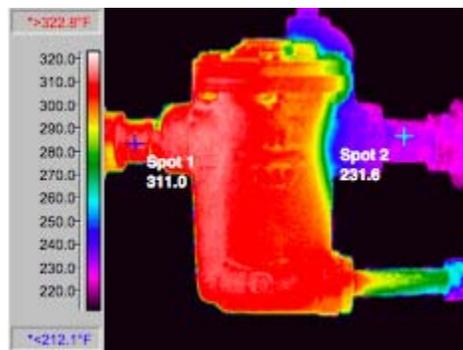
Fuente: Estudio Predictivo Mediante Termografía por Infrarrojos, 2010

Figura 2-26 Termografía para Conexiones Eléctricas

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

Guía de Mantenimiento para Termografía

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



Fuente: Hugo Pereira, Conferencia Exhibición Reliability World, 2006

Figura 2-27 Inspección Termográfica de Trampas de Vapor

Ventajas de la Termografía Infrarroja

- La inspección se realiza a distancia sin contacto físico con el elemento en condiciones normales de funcionamiento, lo cual nos permite medir, desde una distancia de seguridad, altas temperaturas o bien registrar las temperaturas de una línea de alta tensión sin tener que parar el equipo.
- Es aplicable a diferentes equipos eléctricos y mecánicos: bornes de transformadores, transformadores de intensidad, interruptores, cables y piezas o elementos de conexión, motores, reductores, acoplamientos, tuberías, aislamientos, etc.
- Los sensores presentan un tiempo de respuesta muy pequeño a la radiación térmica incidente, con lo cual la medida es prácticamente instantánea. Esto permite cuantificar la gravedad del defecto y la repercusión de las variaciones de carga sobre el mismo para posibilitar programar las necesidades de mantenimiento en el momento más oportuno.
- Capacidad limitada para la identificación de defectos internos si éstos no se manifiestan externamente en forma de temperatura.
- Los reflejos solares pueden enmascarar o confundir defectos. Debido a las interferencias solares, puede ser necesario realizar ciertas lecturas críticas durante la noche o en días nublados.
- El estado de carga del elemento bajo análisis puede influir en la determinación de las anomalías.

Características de una cámara Termográfica

Entre las principales características de una cámara termográfica a la hora de comparar entre diferentes modelos para elegir la más adecuada para una aplicación son las siguientes:

- Resolución: N° de pixeles o de puntos de medida
- Rangos de medida de temperatura
- Precisión
- Capacidad de diferenciación de los incrementos de temperatura
- Distancia a la que es capaz de medir
- Duración de la batería
- Tamaño de la pantalla
- Capacidad de almacenamiento y tipo de soporte en que lo almacena
- Tamaño, maniobrabilidad de la cámara y resistencia a caídas
- Posibilidad de toma simultánea de fotografías ópticas, para facilitar la emisión de informes
- Software que acompaña a la cámara



Fuente: Fluke Corporation, 2011

Figura 2-28 Cámaras Termográficas Infrarrojas

Proceso de inspección

Para el proceso de inspección termográfica se definen las siguientes etapas:

1. Planificación de la inspección en los períodos en los que las condiciones son más desfavorables (alta carga, máxima velocidad de giro, etc.)
2. Evaluación y clasificación de los calentamientos detectados.
3. Emisión de informes, con identificación de las fallas y el grado de urgencia para su reparación.
4. Seguimiento de la reparación.
5. Revisión termográfica para evaluar la efectividad del mantenimiento correctivo realizado.



Fuente: *Estudio Predictivo Mediante Termografía por Infrarrojos, 2010*

Figura 2-29 Inspección Termográfica de Equipos Rotativos



Fuente: *Estudio Predictivo Mediante Termografía por Infrarrojos, 2010*

Figura 2-30 Inspección Termográfica de Compresores

2.5.7 Inspección por Líquidos Penetrantes

La inspección mediante líquidos penetrantes es una técnica de inspección sencilla y económica, que permite detectar discontinuidades y defectos abiertos a la superficie, que no serían evidentes a simple vista.



Fuente: SGS Group, España 2003

Figura 2-31 Kit para Líquidos Penetrantes

La propiedad física que caracteriza los líquidos penetrantes es la **Acción Capilar** que es la tendencia de un líquido a penetrar en pequeñas holguras abiertas a la superficie. Esta es la principal responsable de la efectividad de los ensayos con tintes penetrantes.



Fuente: SGS Group, España 2003

Figura 2-32 Acción Capilar Penetrante en Bidas

Ventajas

- Aplicable a superficies extensas
- Entrenamiento y certificación relativamente rápida
- Aplicable a todo tipo de material no poroso
- Muy portátil y fácil de operar
- Alta sensibilidad

Desventajas

- Las discontinuidades deben ser abiertas a la superficie.
- Limitado cuando existe alta rugosidad superficial.
- Riesgos de daños al ambiente.
- Limitaciones de salud en espacios confinados.

Principio Básico

Se basa en el principio físico de la acción capilar o fuerza capilar, la cual a su vez depende de la tensión superficial, viscosidad del líquido y condiciones de la superficie (limpieza / rugosidad).

Preparación de la Superficie

- Crítica para la sensibilidad del ensayo
- Debe garantizar superficies libres de contaminantes.
- Mecánica (elimina la rugosidad) Esmerilado / chorro arena / mecanizado / pulido. Deformación plástica.
- Ataque químico o decapado Re-apertura de grieta.
- Desengrase / Detergentes

Tiempo de Penetración

El tiempo recomendado de penetración depende de factores como:

- Tipo de material a inspeccionar.
- Discontinuidades esperadas.
- Tipo y proceso de penetrante utilizado.
- Condiciones particulares de inspección.
- Temperatura de las piezas.

2.5.8 Inspección Mediante Partículas Magnéticas

El ensayo de partículas magnéticas es un Ensayo No Destructivo (*END*) que consiste en someter a la pieza a inspeccionar a una magnetización adecuada y espolvorear sobre la misma finas partículas de material ferromagnético. Así es posible detectar discontinuidades superficiales y sub-superficiales en materiales ferromagnéticos. Cuando un material ferromagnético se magnetiza, aplicando a dos partes cualesquiera del mismo los polos de un imán, se convierte en otro imán, con sus polos situados antagónicamente respecto del imán original. La formación del imán en la pieza a ensayar implica la creación en su interior de unas líneas de fuerza que van desde el polo del imán inductor al otro, pasando por una zona inerte denominada línea neutra. Estas líneas de fuerza forman un flujo magnético uniforme, si el material es uniforme.



Fuente: SGS Group, España 2003

Figura 2-33 Kit para Inspección de Partículas Magnéticas

Ventajas

- Puede revelar discontinuidades que no afloran a la superficie.
- Requiere de un menor grado de limpieza.
- Tiene una mayor cantidad de alternativas.
- No requiere condiciones de limpieza excesivamente rigurosas.
- Puede aplicarse a piezas de tamaño y forma variables.

Desventajas

- Sólo detectan discontinuidades perpendiculares al campo.
- Son aplicables sólo en materiales ferromagnéticos.
- No tienen gran capacidad de penetración.
- El manejo del equipo en campo puede ser caro y lento.



Fuente: SGS Group, España 2003

Figura 2-34 Yugo Magnético

Procedimiento para Inspección por Partículas Magnéticas

El procedimiento de inspección para las partículas magnéticas debe seguir una secuencia de operaciones básicas como se enumera a continuación:

1. Adecuación de la superficie de la pieza a ensayar: Consiste en la limpieza de la superficie a inspeccionar de forma que se eliminen las impurezas perjudiciales para el ensayo, permitiendo la interacción de las partículas con los campos de fuga, proporcionando un buen contraste entre partículas y superficie. Los métodos más empleados son:
 - Granalla de acero.
 - Cepillo de acero.
 - Disolvente.
 - Limpieza química.
2. Magnetización de la pieza usando las técnicas y equipos descritos en el apartado de técnicas de ensayo.
3. Aplicación de las partículas magnéticas por vía seca o por vía húmeda de manera uniforme a lo largo de la superficie y en la cantidad correcta.
4. Observación, interpretación y evaluación de las indicaciones, con la consiguiente obtención de registros.
5. Limpieza final y desmagnetización de la pieza, si procede.



Fuente: Inspeq Ingeniería Ltda. 2009

Figura 2-35 Inspección Mediante Partículas Magnéticas

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN - BOLSAS PLÁSTICAS DE KICO S.A

Con fines de obtener información técnica que permita identificar las funciones de cada activo de la línea de producción de extrusión – bolsas plásticas se desarrollaron los siguientes pasos:

- **Reconocimiento de la planta:** En este paso se realizaron inspecciones para conocer el funcionamiento de cada equipo que opera en la línea de producción y así tener una idea clara del proceso de extrusión – bolsas plásticas.
- **Elaboración del listado de equipos:** Se realizó un listado actualizado de los equipos que funcionan en la línea de producción.
- **Recolección de datos:** se caracterizó cada sistema de los equipos mediante los datos de placa de diseño del fabricante.

3.1 EXTRUSION – BOLSAS PLÁSTICAS

Para la fabricación de bolsas o empaques flexibles, KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A – KICO S.A., utiliza un proceso conocido como soplado extrusión de película, también llamado "Proceso de película tubular".

En este proceso el plástico es alimentado en forma de gránulos por medio de la tolva y es transportado hacia adelante con un tornillo de rotación dentro de un barril a alta temperatura, donde es ablandado por fricción y por el calor

suministrado. El plástico ablandado es forzado hacia arriba a través de un dado circular en forma de un tubo hueco.

Este es un proceso continuo en el que se amplía el tubo de la película con aire. Es primordial tener en cuenta el volumen de aire dentro de la burbuja, la velocidad de los rodillos y la tasa de salida de la película, ya que juega un papel importante determinando el grosor y el tamaño de la película. KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A – KICO S.A., posee varias Maquinas Extrusoras No. 6, No. 9, No. 10 y No. 11, las cuales son empleadas en la fabricación de película para bolsas.



Fuente: KICO S.A, 2011

Figura 3-1 Extrusoras de Bolsas Plásticas

3.2IMPRESIÓN

Dentro de la fabricación de bolsas o empaques flexibles se encuentra el proceso de impresión en el que los rollos del material proveniente de extrusión se introducen en un extremo de la Máquina de impresión o rotativa flexográfica, en esta se hace pasar la película plástica por unos rodillos y tinteros. La prensa de cilindro de impresión central o de tambor común sostiene todas las estaciones de color alrededor de un solo cilindro de impresión, que está montado en la estructura de la prensa. La bandeja de material está sustentada por el cilindro impresor, que asegura con este método un excelente registro hasta que llegan al otro extremo con la tinta seca.

Para este proceso KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A – KICO S.A, cuenta con una impresora flexográfica de tambor central de 4 colores.



Fuente: KICO S.A, 2011

Figura 3-2 Impresora

3.3SELLADO

El sellado es el último proceso a darse en la producción de bolsas. En KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A – KICO S.A., cuenta con una variedad de selladoras para diferentes tipos de sellos como son:

Maquina Selladora No.1, selle lateral y de fondo.

Maquina Selladora No. 2, selle lateral para bolsas de medida.

Maquina Selladora No. 3, selle camisilla.

Maquina Selladora No. 4, selle lateral en material de polipropileno.



Fuente: KICO S.A, 2011

Figura 3-3 Selladoras de Bolsas Plásticas

3.4 FICHA TÉCNICA DE LOS EQUIPOS DE EXTRUSION – BOLSA PLASTICA

A continuación se presentan las principales características técnicas de cada equipo y sus componentes ubicado en la línea de producción de Extrusión- Bolsas plásticas:

➤ **Selladora**

Para el proceso de sellado se encuentra 4 selladoras (Ver figura 3.3), a continuación se muestran los componentes básicos:

Tabla 3-1 Ficha Técnica de las Selladoras 1- 4

 <small>KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A</small>			
SELLADORA 1- 4			
Informacion General			
Marca	Leng Meng		
Modelo	TPA - 5005T		
Serial N°	930646		
Caracteristica			
Potencia	3 HP /2,4 KW	Fase	Trifasico
Voltaje	220 V	Kilowatt por hora	2,7 KW/h
Motor Principal			
Marca	Long Meng	Serial	2174
Tipo	AETF	Fases	Trifasico
Potencia	3 HP /2,2 KW	Velocidad (RPM)	1725
Amperio (A)	8,7 / 5,0	Voltaje (v)	220 /380
Motor Alimentador			
Potencia	1/2 HP	Velocidad (RPM)	1800
Voltaje (v)	180	Amperio (A)	2,5
Motor del Transportador - Tenazas Reductoras			
Marca	MOTOR	Serie	305011A
Tipo	ACBT -DF	Potencia	1/2 HP
Voltaje (v)	220/380	Velocidad (RPM)	1720
Amperio (A)	2 / 1,1	Frecuencia (Hz)	60
Resistencia			
Marca	OVELMA	Referencia	R98264
Potencia (Watts)	1200	Tipo	Plana (400 x496)mm

➤ **Extrusoras**

A continuacion se muestran los componentes de tres extrusoras (Ver figura 3.1)

Tabla 3-2 Ficha Técnica de las Extrusoras

 KICO S.A. <small>KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A</small>			
EXTRUSORA N°6,9,10			
Informacion General			
Marca	Lung Meng Machinery	Serial	930644
Modelo	LN /AH 55T	Potencia (HP)	40
Voltaje (v)	440		
Tratador			
Marca	PILLAR	Referencia	AB 500 -25/6
Modelo	P- 500	Potencia (KW)	2,5
Voltaje (v)	208	Amperio (A)	12,5
Motor			
Marca	TE	Tipo	200M
Potencia (HP)	40	Velocidad (RPM)	1760
Voltaje (v)	220/440	Amperio (A)	
Balinera	6316	Balinera	6212
Clutch Magnetico			
Velocidad (RPM)	140 a 1550	Balinera	631422
Frecuencia (Hz)	60	Balinera	621422
Motor Halador de Pelicula			
Marca	Cherng Shing	Tipo	ACVE
Fases	Trifasico	Velocidad (RPM)	1720
Voltaje (v)	220/380	Amperio	6,1 / 3,5
Motor Blower			
Marca	Simens	Tipo	ILA3 106 -2
Serie	VDC 0530 /72	Potencia (HP)	4,8
Velocidad (RPM)	3470	Voltaje (v)	220 /440
Amperio (A)	13 /6,5		
Motor de la Enrolladora			
Fase	Trifasico	Frecuencia (Hz)	60
Velocidad (RPM)	800	Amperios (A)	6
Voltaje (v)	220		
Blower Enfriamiento de Pelicula			
Modelo	930435	Tipo	LX- 5
Fase	Trifasico	Frecuencia (Hz)	60
Potencia (HP)	5	Velocidad (RPM)	3500
Voltaje (v)	220/440	Amperio (A)	13/7
Blower Enfriamiento de Cilindro			
Marca	Electric Blower	Tipo	LS - 702
Fase	Trifasico	Potencia (KW)	0,1
Velocidad (RPM)	2800 / 3300	Voltaje (v)	220
Amperio (A)	0,4	Frecuencia (Hz)	60

Tabla 3-3 Ficha Técnica de la Extrusora #11

 <small>KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A</small>			
EXTRUSORA N° 11 (Polipropileno)			
Informacion General			
Marca	CIOLA	Modelo	IF50
Motor Principal			
Marca	WEG	Modelo	13250092
Fase	Trifasico	Potencia (CV)	10
Velocidad (RPM)	1760	Voltios (v)	220/380
Amperios (A)	27/16	Frecuencia (Hz)	60
Motor Bomba de Circulacion de Agua			
Marca	Simens	Tipo	1LA3073 - 4V860
Potencia (HP)	0,6	Velocidad (RPM)	3600
Voltios (v)	220/440	Amperio (A)	2,3 / 1,15
Motor Halador Rodillo			
Marca	WEG	Modelo	63792
Potencia (CV)	0,25	Velocidad (RPM)	1720
Voltios (v)	220 / 380	Amperio (A)	1,3 / 0,75
Motor Enrollador Superior			
Marca	EBERLE	Modelo	580b4
Potencia (CV)	1,5	Velocidad (RPM)	1700
Voltios (v)	220/440	Amperio (A)	3,0 / 2,6
Motor Enrollador Inferior			
Marca	EB ERLE	Modelo	58064
Potencia (CV)	1,5	Velocidad (RPM)	1700
Voltios (v)	220/440	Amperio (A)	3
Tratador			
Marca	Sherm	Modelo	SST - 2000
Motor Extractor de Gases			
Marca	IBRAN	Modelo	VS 08 3120
Serie	3D 826	Potencia (CV)	1/2
Velocidad (RPM)	3400	Voltios (v)	220 / 380
Amperios (A)	0,4/ 0,24	Frecuencia (Hz)	60
Motor Alimentador de Material			
Marca	WEG	Modelo	8-1092
Potencia (CV)	1,5	Voltios (v)	220/380
Frecuencia	60	Amperio (A)	4,6/2,7
Balinera 1	6203 22	Balinera 2	6204 22
Blower Cabezal			
Marca	IBRAN	Modelo	I43206 SI
Potencia (CV)	1/6	Velocidad (RPM)	3400
Voltios (v)	220/380	Amperio (A)	0,69
Motor Blower			
Marca	IBRAN	Modelo	43206 SI
Potencia (CV)	1/6	Frecuencia (Hz)	60
Motor Giro de Cabezal			
Marca	WEG	Modelo	863- 792
Potencia (CV)	0,25	Velocidad (RPM)	1720
Voltios (v)	220/380	Amperio (A)	1,3 / 0,75
Frecuencia (Hz)	60		
Motor Blower Secador de Pelicula			
Marca	IBRRAM	Modelo	143206 SI
Potencia (CV)	1/6	Velocidad (RPM)	3400
Voltios (v)	220/380	Amperio (A)	0,69 /0,39

➤ **Impresora**

Se muestra las características de los diferentes componentes de la impresora. (Ver figura 3.2)

Tabla 3-4 Ficha Técnica de la Impresora

KICO S.A.			
<small>KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A</small>			
IMPRESORA			
Informacion General			
Marca	Lung Meng Machinery	Modelo	FP4060A
Fase	Trifasico	Serial N°	930645
Potencia (HP)	3	Voltios (v)	220/380
Motor Blower			
Tipo	LS - 65	Fase	Trifasico
Potencia (HP)	1/2	Velocidad (RPM)	2800
Voltio (v)	220/380	Amperio (A)	2/1
Motor de Rodillo			
Marca	Lung Meng Machinery	Serie N°	2176
Potencia (HP)	2,2	Velocidad (RPM)	1725
Voltio (v)	220/368	Amperio (A)	8,7/7,5
Blower			
Tipo	LS - 65	Potencia (HP)	1/2
Fase	Trifasico	Voltios (v)	220/380
Velocidad (RPM)	2800	Frecuencia (Hz)	50

4. ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA

Para realizar el análisis de modo y efecto de falla, se procedió como primer punto a calcular los indicadores de efectividad, luego se analizó la criticidad de los equipos, permitiendo priorizar los activos a los cuales se les aplica FMEA.

4.1 INDICADORES DE EFECTIVIDAD PARA ACTIVOS DE LA LINEA DE PRODUCCION EXTRUSION – BOLSAS PLASTICAS

Teniendo en cuenta información recopilada durante las visitas realizadas a la empresa KICO S.A se realizó el cálculo de los indicadores de efectividad para los equipos o activos que hacen parte de la línea de producción de Extrusión – Bolsas Plásticas con la finalidad de conocer la situación actual de estos en cuanto a su disponibilidad, eficiencia, índice de calidad y tasa de efectividad de mantenimiento.

Para efectos de extensión del presente capítulo se realizó el cálculo de efectividad modelo para cualquier activo en este caso se escogió la selladora #1 y los demás se presentan mediante tabulación.

Para el cálculo de estos indicadores se evaluó el mes de febrero del presente año (*ver anexo A - C*) debido a la información suministrada por la empresa Kalusin Importin Company S.A, de igual manera no se tuvo en cuenta la Selladora # 5 por su diseño, ya que supera el pronóstico de producción de la empresa, por tanto KICO S.A estima adecuarla con base a sus necesidades a nivel de producción.

4.1.1 Calculo del Indice de Disponibilidad para la Linea de Extrusion- Bolsa

La ecuacion (2.2) del capitulo 2.4.1 permite calcular la disponibilidad para los diferentes equipos de la linea, a continuacion se realiza el calculo modelo:

➤ Selladora

Teniendo en cuenta las 48 horas trabajadas por semana equivalentes a 192 horas por mes y el *Listado de Estadistica de paradas*(ver anexo C), donde se determinó el tiempo de inactividad por falla, de acuerdo a estos datos se obtuvo:

$$Disponibilidad = (TP - TI) / TP$$

$$Disponibilidad_{selladora\#1} = \frac{(192 - 14)Hr}{192Hr}$$

$$Disponibilidad_{selladora\#1} = 0,926$$

Tabla 4-1 Indicador de Disponibilidad para Selladoras

Equipo	TP (Hr)	TI (Hr)	Disponibilidad
Selladora 2	192	32	0,8333
Selladora 3	192	62	0,6771
Selladora 4	192	19	0,9010

➤ Extrusora

$$Disponibilidad_{Extrusora\#6} = \frac{(192 - 36)Hr}{192Hr}$$

$$Disponibilidad_{Extrusora\#6} = 0,814$$

Tabla 4-2 Índice de Disponibilidad Extrusora

Equipo	TP (Hr)	TI (Hr)	Disponibilidad
Extrusora # 9	192	0	1,000
Extrusora # 10	192	73	0,619
Extrusora # 11	192	19	0,901

4.1. 2 Calculo del Indice de Eficiencia para la Linea de Extrusion- Bolsa

La ecuacion (2.3) del capitulo 2.4.2 permite calcular la Eficiencia para los diferentes activos de la linea, por tanto:

➤ **Selladora**

$$Eficiencia = Te/Tr$$

De acuerdo con los datos recopilados se tiene:

$$Eficiencia_{selladora \#1} = \frac{234 Hr}{300Hr}$$

$$Eficiencia_{selladora \#1} = 0,780$$

Se realiza la misma operación para los demas activos y se obtiene:

Tabla 4-3 Eficiencia para Selladoras

Equipo	Te	Tr	Eficiencia
Selladora 2	348	275	0,7902
Selladora 3	960	820	0,8542
Selladora 4	300	236	0,7867

➤ **Extrusora**

$$Eficiencia_{Extrusora \#6} = \frac{38 Hr}{43 Hr}$$

$$Eficiencia_{Extrusora \#6} = 0,8883$$

Tabla 4-4 Índice de Eficiencia Extrusoras

Equipo	CP	D	Índice de Calidad
Extrusora # 9	147	3	0,978
Extrusora # 10	9.375	11	0,999
Extrusora # 11	3.573	4	0,999

4.1.3 Calculo de Índice de Calidad para Línea de Extrusión- Bolsa

➤ Selladora

La ecuación (2.4) del capítulo 2.4.3 permite calcular el Índice de Calidad para los diferentes equipos de la línea, por tanto:

$$\text{Índice de calidad} = (CP - D) / CP$$

$$\text{Índice de calidad}_{\text{Extrusora \# 6}} = \left(\frac{262.816 - 5.049}{262.816} \right)$$

$$\text{Índice de calidad}_{\text{Extrusora \# 6}} = 0,9808$$

Se aplicó el mismo concepto para los demás equipos y se obtiene:

Tabla 4-5 Índice de Calidad Selladoras

Equipo	CP	D	Índice de Calidad
Selladora 2	1400520	58385	0,9583
Selladora 3	1170691	27372	0,9766
Selladora 4	580700	18429	0,9683

➤ Extrusora

$$\text{Índice de calidad}_{\text{Extrusora \# 6}} = \left(\frac{1.149 - 1}{1.149} \right)$$

$$\text{Índice de calidad}_{\text{Extrusora \# 6}} = 0,999$$

Tabla 4-6 Índice de Calidad Extrusoras

Equipo	CP	D	Índice de Calidad
Extrusora # 9	147	3	0,978
Extrusora # 10	9.375	11	0,999
Extrusora # 11	3.573	4	0,999

4.1.4 Calculo de Tasa de Efectividad de Mantenimiento para la Linea de Extrusion – Bolsas Plasticas

La ecuacion (2.5) del capitulo 2.4.4 permite calcular la Tasa de Efectividad de Mantenimiento para los diferentes equipos de la linea de Extrusion – Bolsas Plasticas, por tanto:

➤ Selladora

$$Tasa\ de\ efectividad = disponibilidad \times eficiencia \times índice\ de\ calidad$$

$$Tasa\ de\ efectividad_{\text{Selladora \#1}} = 0,926 \times 0,7800 \times 0,9808$$

$$Tasa\ de\ efectividad_{\text{Selladora \#1}} = 0,708$$

De igual manera se realizó para las demas selladoras

Tabla 4-7 Tasa de Efectividad de las Selladoras

Equipo	Disponibilidad	Eficiencia	Indice de Calidad	Tasa de Efectividad
Selladora 2	0,8333	0,7902	0,9583	0,6311
Selladora 3	0,6771	0,8542	0,9766	0,5648
Selladora 4	0,9010	0,7867	0,9683	0,6863

➤ Extrusora

$$Tasa\ de\ efectividad_{\text{Extrusora \#6}} = 0,813 \times 0,888 \times 0,999$$

$$Tasa\ de\ efectividad_{\text{Extrusora \#6}} = 0,7224$$

Tabla 4-8 Tasa de Efectividad de Extrusora

Equipo	Disponibilidad	Eficiencia	Índice de Calidad	Tasa de Efectividad
Extrusora # 9	1,0000	0,9207	0,9777	0,9002
Extrusora # 10	0,6194	0,7955	0,9988	0,4922
Extrusora # 11	0,9009	0,8537	0,9990	0,7683

De acuerdo con la escala establecida en el capítulo 2.4.4 donde se ubican los rangos de criticidad medidos porcentualmente, se concluye:

Tabla 4-9 Rango de Efectividad de la Línea de Extrusión - Bolsas

Equipo	Tasa de Efectividad de Mantenimiento	Rango
Selladora #1	70.8	Bueno
Selladora #2	63.11	Regular
Selladora #3	56.48	Regular
Selladora # 4	68.63	Regular
Extrusora #6	72.2	Bueno
Extrusora #9	90.02	Bueno
Extrusora #10	49.22	Mal
Extrusora # 11	76.83	Bueno

4.2 ANALISIS DE CRITICIDAD

Para establecer la condición ideal de un análisis de criticidad se dispone de datos estadísticos precisos de los equipos a evaluar, esto permite cálculos exactos. Sin embargo desde el punto de vista práctico, pocas veces se dispone de una data histórica de excelente calidad, el análisis de criticidad permite trabajar en rangos, es decir, establecer cuál es la condición más favorable, así como la condición menos favorable de cada criterio a evaluar.

Como primera medida se formó un equipo de trabajo para recopilar la información requerida integrado por el ingeniero de producción y personal de las diferentes dependencia en la empresa como lo son mantenimiento, mecánica y electricidad.

Después de conformado el equipo de trabajo se preparó una lista de los equipos que forman parte del análisis de criticidad. El método es sencillo y se basó exclusivamente en el conocimiento del personal que integra la empresa KICO S.A, el cual se plasmó en una encuesta.

Al personal entrevistado se le realizó una presentación completa del proyecto donde se explicó la metodología, los alcances y la importancia de los resultados. Se dieron instrucciones sobre cómo diligenciar el formato de encuesta. Además se puntualizó en el compromiso que se debe tener para que el estudio arroje los mejores resultados.

La encuesta que se entregó al personal entrevistado, se muestra en la tabla 4.10 Tal encuesta se encuentra constituida por 7 preguntas y cada una tiene una serie de respuesta con una ponderación distinta. Esta ponderación se muestra en la tabla 4.11 y se le asignó un valor específico a cada uno teniendo en cuenta los diferentes parámetros.

Después de haber realizado la encuesta los resultados se clasificaron en una hoja de cálculo con la finalidad de obtener el valor de criticidad para cada activo por cada persona entrevistada y finalmente se realizó un promedio con los resultados.

Cabe destacar que el formato de encuesta, la tabla de ponderación y la ecuación de criticidad fueron adaptados por el autor del presente trabajo de grado tomando como base el análisis hecho por PDVSA¹⁷, aunque para aplicarla a una industria específica como es el caso de plásticos se debe adecuar la matriz debido a que los factores de ponderación ya están estandarizados y su formulación depende de un estudio profundo de criterios de ingeniería.

¹⁷ PDVSA, Petróleos de Venezuela S.A. E & P Occidente.

ANALISIS DE CRITICIDAD EMPRESA KICO S. A
UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR

Nombre: _____ Fecha: _____ Cargo: _____

Equipo: _____ Línea de Producción: _____

<p>1. Frecuencia de falla del equipo</p> <ul style="list-style-type: none">a. No más de 1 vez por añob. Entre 2 y 10 veces por añoc. Entre 11 y 17 veces por añod. Entre 18 y 25 veces por añoe. Más de 25 veces por año	<p>2. Cuál es el tiempo promedio para reparar el equipo</p> <ul style="list-style-type: none">a. Menos de 2 horasb. Entre 2 y 4 horasc. Entre 4 y 8 horasd. Entre 8 y 24 horase. Más de 24 horas
<p>3. Impacto que genera sobre la producción</p> <ul style="list-style-type: none">a. No afecta la producciónb. Un 25% de impactoc. Un 50% de impactod. Un 75% de impactoe. La afecta en su totalidad	<p>4. Costo de reparación de la falla (Pesos)</p> <ul style="list-style-type: none">a. Menos de un millónb. Entre 1 y 5 millonesc. Entre 5 y 7 millonesd. Entre 7 y 10 millonese. Más de 10 millones
<p>5. Impacto ambiental</p> <ul style="list-style-type: none">a. No origina ningún impacto ambientalb. Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta solo en la línea de producciónc. Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la plantad. Contaminación ambiental alta, quejas de la comunidad	<p>6. Impacto en salud y seguridad personal</p> <ul style="list-style-type: none">a. No origina heridas y lesionesb. Ocasiona lesiones graves con incapacidad parcialc. Ocasiona lesiones con incapacidad permanente
<p>7. Impacto en satisfacción del cliente</p> <ul style="list-style-type: none">a. No ocasiona pérdidas económicas en las otras áreas de la plantab. Puede ocasionar pérdidas económicas hasta 3 SMMLVc. Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 3 y 4 SMMLVd. Puede ocasionar pérdidas económicas de 5 y 10 SMMLV	

Tabla 4-10 Formato de Encuesta para Análisis de Criticidad

Para obtener la puntuación adecuada en el presente estudio, el equipo de trabajo consideró la criticidad como un indicador de “*Magnitud del Problema*” que ocasiona la falla de un equipo, tomando como referencia la ponderación de PDVSA, partiendo de allí se realizaron reuniones en la empresa KICO S.A, acordando valoraciones cuantificadas de riesgos para los siete parámetros a partir de experiencias operativas e impacto en costos el cual evalúan la situación actual de la misma y teniendo en cuenta:

Frecuencia de fallo: Se realizó con base a información conseguida del comportamiento histórico que han tenido los activos. De acuerdo a estos datos el equipo de trabajo pondero de 1 a 5, indicando la incidencia de fallas, siendo 1 mínima y 5 máxima.

TPPR: Por medio de este índice que se calcula como parte de la gestión habitual, se ponderó de 1 a 5, teniendo en cuenta la rutina diaria de operación se obtuvo:

- 1: Tiempo requiero para obtener repuestos existente en Stock
- 2: Tiempo requerido para obtener repuestos de corto plazo de entrega.
- 3: Tiempo requerido para mantenimiento disponible en el área.
- 4: Tiempo requerido para mantenimiento especializado, no disponible en el área, con contrato vigente.
- 5: Tiempo requerido para mantenimiento especializado, no disponible en el área, sin contrato vigente

Impacto que Genera sobre la Producción por Número de Falla: Para este parámetro el grupo de trabajo considero que la producción de la línea extrusión bolsas plásticas es muy buena teniendo en cuenta el numero de fallas que se registran en los diferentes activos que pueden provocar parada parcial o *stand by* del equipo. Por tal razón se acordó y cuantifico de 0,05 como puntaje de menor incidencia a 1 como mayor.

Costo de Reparación de una Falla: Para el presente año se registra el aumento de fallas repentinas en la producción, asociadas a deficiencias por mantenimiento programado y por tal razón se decidió otorgar rangos más amplios de puntuación que permitan cubrir diferentes situaciones por costos de falla. Teniendo en cuenta como referencia la ponderación de PDVSA se obtiene una escala de 2, 4, 6, 12 y 16.

Impacto Ambiental: En KICO S.A prima el cuidado del medio ambiente, contemplado como un objetivo fundamental en su política empresarial. Demostrado en la compatibilidad de los productos con el medio ambiente, debido a que se reciclan para utilizarlos más tarde en la manufacturación de otro de sus productos. Teniendo en cuenta, la objetividad de la empresa se decidió colocar una ponderación amplia 0 (*menor impacto*) a 12 (*mayor impacto*).

Impacto a la Salud y Seguridad Personal: La empresa está encaminada hacia la protección y el bienestar del personal operativo, promoviendo el uso adecuado de los elementos de protección personal y a su vez identificando los riesgos. De acuerdo con la integración del sistema de seguridad de la compañía permitió obtener una lista jerarquizada de 0 (*menor impacto*) a 10 (*mayor impacto*).

Impacto en Satisfacción Cliente (Interno): La empresa KICO S.A desarrolló una cultura de servicio interno, con el fin de agilizar los procesos en pro de mejorar la calidad del servicio que brinda. Con base a esto, el grupo acordó designar valores de 0 (de menor impacto) a 12 (mayor impacto)

Tabla 4-11 Ponderación de los Parámetros de Análisis de Criticidad¹⁸

 KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A Ponderacion de los Parametros de Analisis de Criticidad de Equipos	
1. Frecuencia de falla del equipo (Toda tipo de falla)	Puntaje
No mas de una vez por año	1
Entre 2 y 10 veces por año	2
Entre 11 y 17 veces por año	3
Entre 18 y 25 veces por año	4
Mas de 25 veces por año	5
2. Cual es el tiempo promedio para reparar el equipo	Puntaje
Menos de 2 horas	1
Entre 2 y 4 horas	2
Entre 5 y 8 horas	3
Entre 9 y 24 horas	4
Mas de 24 horas	5
3. Impacto que genera sobre la produccion por numero de falla	Puntaje
Afecta la produccion	0,05F
Un 25% de impacto	0,3F
Un 50% de impacto	0,5F
Un 75% de impacto	0,8F
La afecta en su totalidad	1
4. Costo de Reparacion de la falla (Pesos)	Puntaje
Menos de un millón	2
Entre 1 y 5 millones	4
Entre 5 y 7 millones	8
Entre 7 y 10 millones	12
Mas de 10 millones	16
5. Impacto ambiental	puntaje
No origina ningun impacto ambiental	0
Contaminacion ambiental baja, el impacto se manifiesta solo en la linea de produccion	3
Contaminacion ambiental moderada, no rebasa los limites de la planta	6
Contaminacion ambiental alta, quejas de la comunidad	12
6. Impacto en salud y seguridad personal	Puntaje
No origina heridas ni lesiones	0
Puede ocasionar lesiones graves con incapacidad parcial	5
Ocasiona lesiones con incapacidad permanente	10
7. Impacto en satisfaccion del cliente (Cliente interno)	Puntaje
No ocasiona pérdidas económicas en las otras areas de la planta	0
Puede ocasionar pérdidas económicas hasta 3 SMMLV	3
SMMLV	6
Puede ocasionar pérdidas económicas de 5 y 10 SMMLV	12

¹⁸Adaptación de PDVSA, Petróleos de Venezuela S.A. E & P Occidente

4.2.1 Resultados Análisis de Criticidad

A continuación se presentan los resultados de análisis de criticidad teniendo en cuenta la información suministrada por las personas entrevistadas.

Para efectos de extensión del presente capítulo se escoge un equipo cualquiera (*Selladora #1*) como base de cálculo modelo de análisis de criticidad estableciendo los puntajes de los parámetros por personas entrevistadas por ejemplo un mecánico de la línea de producción para extrusión y bolsas plásticas obtuvo los siguientes puntajes a partir de sus respuestas como se muestra así:

Tabla 4-12 Respuestas y Ponderaciones Realizadas a un Mecánico de la Línea de Producción

Diligenciada por	Mecánico	
Parámetro	Respuesta	Puntaje
Frecuencia de Falla	Entre 2 y 4 veces por año	2
MTTR	Entre 2 y 4 horas	2
Impacto en la Producción	Un 25 % de impacto	0,3F
Costos de Reparación	Menos de un millón	2
Impacto Ambiental	No origina ningún impacto ambiental	0
Impacto Seguridad y Salud	No origina herida y lesiones	0
Impacto satisfacción Cliente	No ocasiona pérdidas económicas	0

Después se promediaron los puntajes correspondientes a cada persona entrevistada en la empresa KICO S.A para el equipo evaluado.

Tabla 4-13 Promedios Finales para Selladora # 1

Parametro	Jefe de Produccion	Jefe de Mtto	Electricista	Mecanico	Promedio
Frecuencia de Falla	2	1	3	2	2
MTTR	2	3	2	2	2,25
Impacto en la Produccion	1,5	2,5	5	1,5	2,625
Costos de Reparacion	2	2	2	2	2
Impacto Ambiental	0	0	6	0	1,5
Impacto Salud Personal	0	0	0	0	0
Impacto satisfaccion Cliente	0	0	0	0	0

Nota: F es N° de fallas al año equivalente a 5

El capítulo 2.3 denota la ecuación numérica (2.1) para calcular la Criticidad de Selladora # 1, por tanto:

$$\text{Criticidad} = (2) \times [(2 + 0 + 1,5 + 0) + (2,625 \times 2,25)]$$

$$\text{Criticidad} = 18,812$$

Los anteriores procedimientos se realizaron para cada equipo perteneciente a la línea de producción Extrusión – Bolsas Plásticas. En las siguientes tablas se muestran las ponderaciones para cada respuesta contestada por persona en los diferentes activos y se concluye con los promedios finales de tales ponderaciones y el cálculo de la criticidad.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA LA LÍNEA DE EXTRUSIÓN- BOLSAS PLÁSTICAS

Los valores que se muestran en rojo representan el ponderado de cada uno de los parámetros utilizados y F equivale al número de veces que falla el equipo por año. La última columna corresponde a la criticidad, donde se basó en una fórmula que relaciona la frecuencia de falla por su consecuencia, permitiendo estimar un valor para cada sistema.

➤ Selladoras

Tabla 4-14 Criticidad para la Selladora N° 2

RESULTADOS ENCUESTA Y PONDERACION		CRITICIDAD SELLADORA # 2						CRITICIDAD
PERSONA ENTREVISTADA	1. FRECUENCIA DE FALLA	2. MTTR	3. IMPACTO PRODUCCION	4. COSTO REPARACION	5. IMPACTO AMBIENTAL	6. IMPACTO SEGURIDAD Y SALUD	7. IMPACTO SATISFACCION CLIENTE	
Jefe de Produccion	2	2	0,3F	2	0	5	3	25,175
Jefe de Mantenimiento	1	3	0,5F	2	0	0	0	
Tecnico en Mecanica Industrial	2	2	0,3F	2	0	0	0	
Tecnico en Electricidad Industrial	3	2	1F	2	6	0	0	
RESULTADOS PROMEDIADOS	2	2,25	3,15	2	1,5	1,25	0,75	

Nota: N° de falla equivale a 6

Tabla 4-15 Criticidad para la Selladora N° 3

RESULTADOS ENCUESTA Y PONDERACION		CRITICIDAD SELLADORA # 3						CRITICIDAD
PERSONA ENTREVISTADA	1. FRECUENCIA DE FALLA	2. MTTR	3. IMPACTO PRODUCCION	4. COSTO REPARACION	5. IMPACTO AMBIENTAL	6. IMPACTO SEGURIDAD Y SALUD	7. IMPACTO SATISFACCION CLIENTE	
Jefe de Produccion	3	3	0,3F	2	0	5	3	26,825
Jefe de Mantenimiento	1	3	0,5F	2	0	0	0	
Tecnico en Mecanica Industrial	2	2	0,3F	2	0	0	0	
Tecnico en Electricidad Industrial	3	2	1F	2	6	0	0	
RESULTADOS PROMEDIADOS	2,25	2,5	5,78	2	1,5	1,25	0,75	

Nota: N° de falla equivale a 11

Tabla 4-16 Criticidad para la Selladora N° 4

RESULTADOS ENCUESTA Y PONDERACION		CRITICIDAD SELLADORA # 4						
PERSONA ENTREVISTADA	1. FRECUENCIA DE FALLA	2. MTTR	3. IMPACTO PRODUCCION	4. COSTO REPARACION	5. IMPACTO AMBIENTAL	6. IMPACTO SEGURIDAD Y SALUD	7. IMPACTO SATISFACCION CLIENTE	CRITICIDAD
Jefe de Produccion	2	1	0,3F	2	0	5	3	15,2
Jefe de Mantenimiento	1	3	0,5F	2	0	0	0	
Tecnico en Mecanica Industrial	2	2	0,3F	2	0	0	0	
Tecnico en Electricidad Industrial	3	2	1F	2	6	0	0	
RESULTADOS PROMEDIADOS	2	2	2,1	2	1,5	1,25	0,75	

Nota: N° de falla equivale a 4

➤ **Extrusoras**

Tabla 4-17 Criticidad para la Extrusora N° 6

RESULTADOS ENCUESTA Y PONDERACION		CRITICIDAD EXTRUSORA # 6						
PERSONA ENTREVISTADA	1. FRECUENCIA DE FALLA	2. MTTR	3. IMPACTO PRODUCCION	4. COSTO REPARACION	5. IMPACTO AMBIENTAL	6. IMPACTO SEGURIDAD Y SALUD	7. IMPACTO SATISFACCION CLIENTE	CRITICIDAD
Jefe de Produccion	2	2	0,3F	2	0	5	3	25,2
Jefe de Mantenimiento	1	3	0,5F	2	0	0	0	
Tecnico en Mecanica Industrial	2	5	0,8F	4	0	0	3	
Tecnico en Electricidad Industrial	3	2	1F	2	6	0	0	
RESULTADOS PROMEDIADOS	2	3	3,9	2,5	1,5	1,25	1,5	

Nota: N° de falla equivale a 6

Tabla 4-18 Criticidad para la Extrusora N°9

RESULTADOS ENCUESTA Y PONDERACION		CRITICIDAD EXTRUSORA # 9						
PERSONA ENTREVISTADA	1. FRECUENCIA DE FALLA	2. MTTR	3. IMPACTO PRODUCCION	4. COSTO REPARACION	5. IMPACTO AMBIENTAL	6. IMPACTO SEGURIDAD Y SALUD	7. IMPACTO SATISFACCION CLIENTE	CRITICIDAD
Jefe de Produccion	2	3	0,3F	2	0	5	3	26,213
Jefe de Mantenimiento	1	3	0,5F	2	0	0	0	
Tecnico en Mecanica Industrial	2	5	0,5F	4	3	0	3	
Tecnico en Electricidad Industrial	3	2	1F	2	6	0	0	
RESULTADOS PROMEDIADOS	2	3,25	3,45	2,5	2,25	1,25	1,5	

Nota: N° de falla equivale a 7

Tabla 4-19 Criticidad para la Extrusora N°10

RESULTADOS ENCUESTA Y PONDERACION		CRITICIDAD EXTRUSORA # 10						
PERSONA ENTREVISTADA	1. FRECUENCIA DE FALLA	2. MTTR	3. IMPACTO PRODUCCION	4. COSTO REPARACION	5. IMPACTO AMBIENTAL	6. IMPACTO SEGURIDAD Y SALUD	7. IMPACTO SATISFACCION CLIENTE	CRITICIDAD
Jefe de Produccion	3	2	0,3F	2	0	3	0	45,625
Jefe de Mantenimiento	1	3	0,5F	2	0	0	0	
Tecnico en Mecanica Industrial	3	3	1F	4	0	0	12	
Tecnico en Electricidad Industrial	3	2	1F	2	6	0	0	
RESULTADOS PROMEDIADOS	2,5	2,5	10,5	2,5	1,5	0,75	3	

Nota: N° de falla equivale a 15

Tabla 4-20 Criticidad para la Extrusora N°11

RESULTADOS ENCUESTA Y PONDERACION		CRITICIDAD EXTRUSORA # 11						
PERSONA ENTREVISTADA	1. FRECUENCIA DE FALLA	2. MTTR	3. IMPACTO PRODUCCION	4. COSTO REPARACION	5. IMPACTO AMBIENTAL	6. IMPACTO SEGURIDAD Y SALUD	7. IMPACTO SATISFACCION CLIENTE	CRITICIDAD
Jefe de Produccion	2	3	0,3F	2	0	5	0	45,863
Jefe de Mantenimiento	1	3	0,5F	2	0	0	0	
Tecnico en Mecanica Industrial	3	5	1F	4	0	0	12	
Tecnico en Electricidad Industrial	3	2	1F	2	6	0	0	
RESULTADOS PROMEDIADOS	2,25	3,25	8,4	2,5	1,5	1,25	3	

Nota: N° de falla equivale a 12

Tabla 4-21 Criticidad para la Impresora

RESULTADOS ENCUESTA Y PONDERACION		CRITICIDAD IMPRESORA						
PERSONA ENTREVISTADA	1. FRECUENCIA DE FALLA	2. MTTR	3. IMPACTO PRODUCCION	4. COSTO REPARACION	5. IMPACTO AMBIENTAL	6. IMPACTO SEGURIDAD Y SALUD	7. IMPACTO SATISFACCION CLIENTE	CRITICIDAD
Jefe de Produccion	2	2	0,3F	2	0	5	0	20,7
Jefe de Mantenimiento	1	3	0,5F	2	0	0	0	
Tecnico en Mecanica Industrial	2	4	1F	4	3	0	2	
Tecnico en Electricidad Industrial	3	2	1F	2	6	0	0	
RESULTADOS PROMEDIADOS	2	2,75	2,8	2,5	2,25	1,25	0,5	

Nota: N° de falla equivale a 4

Teniendo en cuenta la tabla 2.1 se categoriza la criticidad obtenida para cada uno de los equipos de la línea de producción Extrusión- Bolsas plásticas, como se muestra a continuación:

Tabla 4-22 Categorización de Criticidad de los Equipos Extrusión - Bolsas Plásticas

Equipo	Criticidad	Efecto
Selladora # 1	18,81	Moderada
Selladora # 2	25,175	Moderada
Selladora # 3	26,825	Alerta Peligrosa
Selladora # 4	15,2	Moderada
Extrusora # 6	25,2	Moderada
Extrusora # 9	26,213	Moderada
Extrusora #10	45,625	Alerta Peligrosa
Extrusora # 11	45,8625	Alerta Peligrosa
Impresora	20,7	Moderada

4.3 ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA

En pro de elegir la técnica de mantenimiento predictivo, se procede a realizar un análisis de modo y efecto de falla a los equipos con mayor criticidad presentes en la línea de producción, identificando así las fallas funcionales para cada uno de los componentes. Con base a estos datos y teniendo en cuenta el modo de falla se determinó la técnica de mantenimiento adecuada.

Tabla 4-23 FMEA de la Selladora N° 3

ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA				
KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A				
EQUIPO	Selladora # 3			
COMPONENTE	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
Motor Principal	Convertir energia electrica en energia mecanica, con una velocidad de 1725RPM	Incapaz de convertir energia electrica en energia mecanica	Terminal de conexión del cable eléctrico de alimentación defectuoso.	El motor no energiza el equipo, por tanto, no es posible mover la banda transportador, cuchilla
Servomotor	Convertir energia electrica en energia mecanica, con una velocidad de 1800 RPM	Perdida de la capacidad de convertir energia electrica en energia mecanica, con una velocidad de 1800 RPM	Fallo de alimentación del motor (no recibe corriente eléctrica)	Impide el desplazamiento de la pelicula para llegar a la cuchilla
Motor del Transportador (Tenazas Reductoros)	Convertir energia electrica en energia mecanica permitiendo que la banda transportadora desplace la bolsa plastica	Perdida de la capacidad de convertir energia electrica en energia mecanica impidiendo que la banda transportadora desplace la bolsa plastica	Terminal defectuoso Humedad	Impide el desplazamiento de la bolsa sobre la cinta transportadora
Resistencia	Calentar la plancha permitiendo realizar el corte a la bolsa plastica	Incapacidad de calentar la plancha impidiendo un adecuado corte de la bolsa plastica	Humedad Alto voltaje	Impedimento para cortar la bolsa plastica

Tabla 4-24 FMEA Extrusora N° 10

ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA				
KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A				
EQUIPO	Extrusora # 10			
COMPONENTE	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
Motor Principal	Convertir energia electrica en energia mecanica, con una velocidad de 1760 RPM	Incapaz de convertir energia electrica en energia mecanica	Corto circuito Fallo de alimentaci3n del motor (no recibe corriente el3ctrica) Rodamientos en mal estado	El motor no energiza el equipo, por tanto, no es posible mover los sistemas mecanicos
Clutch Magnetico	Variar la velocidad del tornillo del cilindro	Perdida de la capacidad de variacion de velocidad para tornillo del cilindro	Corto Circuito Eje bloqueado por rodamientos da1ados	El tornillo no permite desplazar el material hacia el molde
Motor Halador de Pelicula	Trasmitir potencia hacia el eje del rodillo, permitiendo el desplazamiento de la pelicula del material	Incapaz de transmitir potencia al eje de los rodillos que permita el deslizamiento de la pelicula	Corto circuito Humedad Rodamientos en mal estado	El motor no energiza el equipo, por tanto, no es capaz de desplazar la pelicula de polipropileno mediante los rodillos
Motor del Blower	Transformar la energia electrica en energia mecanica, para encender los ventiladores	Perdida de la capacidad de transformar la energia electrica en energia mecanica, logrando encender los ventiladores	Corto circuito Humedad Bobinado roto o quemado	No energiza el motor del equipo (Blower)
Blower de Enfriamiento de Pelicula	Ventilar aire y disipar calor de la pelicula	Perdida de la capacidad de ventilar aire y disipar calor de la pelicula	Acumulacion de Polvo Limpieza de filtros	Se produce recalentamiento de la pelicula respectivamente
Blower de Enfriamiento de Cilindro	Ventilar aire y disipar calor en el cilindro de almacenamiento de material	Incapaz de ventilar aire y disipar calor en el cilindro de almacenamiento de material	Acumulacion de Polvo Limpieza de filtros	Se produce obstruccion, impidiendo el paso del flujo del aire y a su vez se recalentamiento del cilindro
Motor Enrolladora	Convertir energia electrica en energia mecanica, para transmitir potencia al eje de enrollamiento	Perdida de la capacidad de convertir la energia electrica en energia mecanica, para transmitir potencia al eje de enrollamiento	Corto circuito Humedad	No permite enrollar la pelicula de polipropileno

Tabla 4-25 FMEA Extrusora N° 11

ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA				
KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A				
EQUIPO	Extrusora # 11			Hoja 1/2
COMPONENTE	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
Motor Principal	Convertir energia electrica en energia mecanica, con una velocidad de 1760 RPM	Incapaz de convertir energia electrica en energia mecanica	Corto circuito Bobinado roto o quemado Terminal de conexión del cable eléctrico de alimentación defectuoso	El motor no energiza el equipo, por tanto, no es posible iniciar el proceso
Motor Bomba Circulacion de Agua	Convertir energia electrica en energia mecanica, para transmitir potencia hacia el eje de la bomba	Incapaz de convertir energia electrica en energia mecanica, impidiendo la transmision de potencia hacia el eje de la bomba	Fallo de alimentación del motor (no recibe corriente eléctrica) Eje bloqueado por rodamientos dañados	No permite la circulacion de agua hacia la pelicula
Motor Rodillo Halador	Convertir energia electrica en energia mecanica, para halar la pelicula por medio de los rodillos	Perdida de la capacidad para convertir energia electrica en energia mecanica, impidiendo el desplazamiento de la pelicula por medio de los rodillos	Bobinado roto o quemado Rodamientos en mal estado Manipulacion de operadores	Impide el desplazamiento de la pelicula de polietileno
Motor Enrollador Superior e Inferior	Convertir energia electrica en energia mecanica, para enrollar la pelicula por medio de los rodillos	Incapaz de convertir la energia electrica en energia mecanica, impidiendo el enrollamiento de la pelicula por medio de los rodillos	Manipulacion del operador Humedad Suciedad - Polvo Corto circuito	No permite el enrollamiento de la pelicula en los rodillos superiores e inferiores
Tratador	Aumentar la tensión superficial para una adecuada aplicación de tintas	Incapacidad de aumentar la tensión superficial impidiendo la adecuada aplicación de tintas	Manipulacion del operador Suciedad - Polvo	Impedimento que la bolsa no quede apta para la impresión

Tabla 4-26 FMEA de la Extrusora N° 11

ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA				
KALUSIN IMPORTING COMPANY S.A				
EQUIPO	Extrusora # 11		Hoja 2/2	
Motor Extractor de Gases	Convertir energia electrica en energia mecanica, para extraer gases provenientes del tratador	Incapaz de convertir la energia electrica en energia mecanica, impidiendo extraer gases provenientes del tratador.	Manipulacion del operador Humedad Suciedad - Polvo Corto circuito	No permite extraer gases provenientes del tratador
Motor de Blower	Transformar la energia electrica en energia mecanica, para encender los ventiladores	Perdida de la capacidad de transformar la energia electrica en energia mecanica, logrando encender los ventiladores	Corto circuito Humedad Manipulacion de operadores	No energiza el motor del equipo (Blower)
Motor Giro de Cabezal	Transformar la energia electrica en energia mecanica, permitiendo la distribucion uniforme del material dentro del molde	Perdida de la capacidad de transformar la energia electrica en energia mecanica, impidiendo la distribucion uniforme del material dentro del molde	Manipulacion del operador Rodamientos en mal estado	Impide la distribucion uniforme de la pelicula de polietileno dentro del molde
Motor blower Secador de Pelicula	Transformar la energia electrica en energia mecanica, permitiendo secar la pelicula de polietileno en la salida del molde	Perdida de la capacidad de transformar la energia electrica en energia mecanica, dejando de secar la pelicula de polietileno en la salida del molde	Rodamientos en mal estado Acoplamiento dañado Manipulacion de operadores	Impide el secado de la pelicula de polietileno en la salida del molde

5. SELECCION DE TÉCNICA Y PERIODO DE EJECUCIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El diseño de un plan de mantenimiento predictivo para la línea de producción de Extrusión - Bolsas Plásticas considera medidas periódicas que pueden seguir en detalle el estado de funcionamiento de un equipo específicamente. Cabe destacar que las técnicas predictivas pueden detectar el nacimiento de irregularidades y seguir su desarrollo. Además, esas medidas se pueden extrapolar para predecir cuándo se alcanzarán niveles de operación inaceptables y cuando se debe revisar la máquina.

5.1 SELECCIÓN DE TECNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Teniendo en cuenta los indicadores de efectividad, el análisis de modo - efecto de falla y calculo de criticidad efectuados a los diferentes equipos (*Selladoras, Extrusoras e Impresora*) de la línea de producción de Extrusión – Bolsas plásticas se destaca que los componentes con mayor riesgo a fallar son los Motores Eléctricos, Servomotores, Resistencias y Blowers pertenecientes a los diferentes sistemas del equipo los cuales representan un impacto anormal en la planta minimizando la producción.

Por tanto se seleccionan las técnicas para mantenimiento predictivo de análisis de vibraciones en los diferentes componentes y termografía infrarroja.

5.2 PERIODOS DE MONITOREO

5.2.1 Monitoreo Análisis de Vibraciones

El periodo de monitoreo para análisis de vibraciones en Motores Eléctricos de los diferentes sistemas y Servomotores depende de sus horas de operación, de su historial de operación y las condiciones de diseño presentadas por el fabricante. Los criterios en los que se basa el establecimiento de periodos de monitoreo son:

Monitoreo Diario o semanal: Equipos sometidos a condiciones de operación severa, defectos de diseño o falta de información en su historial de operación.

Monitoreo Mensual: Equipos con defectos de diseño mínimos o despreciables. Como es el caso de los activos de la línea de producción Extrusión – Bolsas plásticas de la empresa KICO S.A.

Monitoreo Anual: Todos los equipos con criticidad mínima o para los que su fabricante garantiza larga vida.

Aparte de mencionar que todo equipo a medida que incrementa sus horas de operación, será necesario reducir los intervalos de monitoreo hasta su reparación para evitar fallas.

Los intervalos de monitoreo periódico se manifiestan en el tiempo medio ordinario de trabajo entre fallas de un equipo. Es necesario programar un mínimo de seis medidas en ese periodo para orientar una razonable capacidad de predicción. Con máquinas nuevas, para las que no se dispone de orientación dada por el fabricante, se debe realizar un control más frecuente, por ejemplo cada uno o dos meses, según el ciclo de trabajo, hasta que se normalice.

➤ **Monitoreo continuo general**

Este monitoreo se debe aplicar de forma continua a los motores eléctricos y servomotores mediante la colocación permanente de transductores (acelerómetros), quedando así controlada en todo momento. Se emplea básicamente para tener un aviso inmediato de todo cambio brusco que se pueda producir en el equipo, cuyo funcionamiento continuo es vital para la producción. Las fallas se detectan inmediatamente, o a los pocos minutos, y disparan señales de alerta o alarma.

➤ **Monitoreo continuo de frecuencias**

El monitoreo continuo de frecuencias está diseñado para monitorear de forma permanente los elementos principales de un equipo, como chumaceras, engranajes y otros elementos de transmisión de potencia. Una de las formas como se puede tener un constante monitoreo, es a través de sensores de frecuencia, el cual registra las diferentes señales de vibración a distinta frecuencia, para luego determinar las causas de dichas señales.

➤ **Monitoreo periódico**

Para este monitoreo se usa un analizador digital (FFT). Para equipos en los cuales resulta muy elevado el costo de realizar un monitoreo continuo, se aplica con frecuencia este tipo de monitoreo. Aunque presenta la desventaja de que si la falla se presenta en forma rápida es imposible poder predecirla con cierta anticipación. Otra desventaja que presenta el método es que si se quiere hacer una medición puntual que varía con la carga mecánica, es muy difícil realizar dicha medición. Siempre que se realice un paro de mantenimiento se recomienda llevar a cabo un monitoreo periódico antes y después de dicho mantenimiento.

5.2.2 Monitoreo Mediante Termografía Infrarroja

El monitoreo mediante Termografía infrarroja se debe realizar periódicamente, con la finalidad de predecir y localizar posibles desperfectos y corregirlos antes de que éstos produzcan una parada imprevista.

Por otro lado, mientras más frecuente se realicen los monitoreos, más eficiente será el control de mantenimiento predictivo. Un intervalo normal para mediciones termográficas es cada 6 meses, pero depende de la instalación, la complejidad de los equipos en cuestión y la probabilidad de falla. Cabe anotar que existen equipos que ameritan un chequeo más frecuente debido a su importancia dentro del proceso de producción.

Una forma de definir los intervalos de inspección en cuanto a termografía se refiere es determinando el grado de criticidad del equipo, es decir cuantificar el daño que ocasiona la parada de una máquina o la salida de servicio de algún equipo.

La experiencia indica que para máquinas o equipos muy críticos como pueden ser los equipos de una subestación transformadora, resulta conveniente inspeccionar los cada cuatro meses y para equipos no tan críticos se recomienda una inspección cada seis meses.

6. RESULTADOS

- El cálculo de los indicadores de efectividad permitió evaluar el estado del mantenimiento actual proporcionado a los diferentes activos que componen la línea de producción Extrusión – Bolsa plástica de la empresa KICO S.A, concluyendo que la selladora # 3 posee menor índice de disponibilidad en comparación a los otros equipos, lo que representa una mínima probabilidad de encontrarse apta para la ejecución de sus funciones en cuanto se requiera, por otro lado, el tipo de sellado que realiza dicho activo es el de mayor demanda por parte del cliente, lo que indica que es el equipo con mayor tiempo de operación para fabricar productos satisfactorios de acuerdo a los estándares de calidad.

De igual manera, la evaluación de los indicadores para la selladora 1, 2 y 4 arrojó una tasa de efectividad de mantenimiento con valores que oscilan entre 70% y 63% identificándolos como equipos regulares; mientras que para la selladora # 3 se cuantifica un 56.48% lo cual refleja prioridad en cuanto a mantenimiento oportuno.

Para la extrusora numero 9 se encontró un índice de disponibilidad del 100%, debido a que el equipo se utiliza con poca frecuencia y sumado a esto existe una baja demanda del producto que procesa, induciendo al activo a periodos de *stand by*.

- El análisis de criticidad realizado para los equipos de la línea de producción Extrusión – Bolsas Plásticas permitió jerarquizar los activos, para llevar a cabo un programa de mantenimiento predictivo priorizando aquellos que

- registran mayor frecuencia de fallas imprevistas, tiempos promedios para reparar, impacto en la producción, costos de reparación, impactos en la seguridad personal, impactos ambientales e impacto de satisfacción al cliente.

De acuerdo a lo mencionado en el anterior párrafo se dedujo que para el grupo de selladoras, la número 3 obtuvo un ponderado de **26,825**; mientras que en el conjunto de extrusoras se encontraron valores cercanos a los **46** puntos, como consecuencia del impacto que representa la producción que se deja de obtener (Bolsas Plásticas) por fallas ocurridas. Estos resultados indican que se presentan tres equipos críticos dentro de línea nombrando así la selladora 3 la extrusora 10 y la N° 11.

- Luego de conocer los equipos con mayor criticidad, se realizó FMEA donde se determinó que para componentes básicos como son motores y blowers el modo de falla más frecuente está relacionado con las vibraciones mecánicas ocasionadas por el desbalance dinámico y el desalineamiento de ejes; Por otro lado, existe recalentamiento producto de la elevación de temperatura como consecuencia de un aumento anormal de su resistencia óhmica.
- Por último, se seleccionaron las técnicas de análisis de vibraciones y termografía de acuerdo a los modos de fallas más frecuentes establecidos en FMEA.
- Se desarrolló una guía para proporcionar información sobre FMEA y análisis de criticidad como método de mantenimiento predictivo. Permitiendo instruir al personal de la empresa KICO S.A para su implementación.

- Se elaboró un paper acerca del diseño de un plan de mantenimiento predictivo con la finalidad de dar a conocer la metodología implementada en el presente trabajo de grado.

7. RECOMENDACIONES

Finalizado el presente trabajo de grado es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Implementar el diseño de plan de mantenimiento predictivo para la línea de producción extrusión - bolsas plásticas en la empresa Kalusin Importing Company (KICO S.A) en aras de adoptar una política de mantenimiento que se anticipe a las fallas y monitoreo de variables que puedan afectar el correcto funcionamiento de un activo.
- Luego de la implementación del plan de mantenimiento predictivo se recomienda hacer uso de la metodología de estudio como indicadores de efectividad, análisis de criticidad y FMEA con la finalidad de cuantificar los beneficios obtenidos por las técnicas de monitoreo seleccionadas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cristian Harold Ostermann Wagner. Desarrollo y Aplicación de un método de Análisis Cuantitativo y Cualitativo de Fallas de la Maquinaria Minera. Master's thesis, Departamento de Ingeniería Mecánica, 1998.
- [2] Dr. Ing. Rodrigo Pascual J. Gestión Moderna del Mantenimiento. Dpto. Ing. Mecánica, Universidad de Chile, 2002.
- [3] WEG Exportadora, Motor & Drivers. Manual de Instalación y Mantenimiento de Motores Eléctricos. Jaragua Do Sul- Brasil. 2005.
- [4] Ing. Raúl R. Prando. Gestión del Mantenimiento a la Medida. Montevideo Uruguay. 1996.
- [5] Antonio Ordoñez Guerrero. Introducción al Mantenimiento Predictivo. Universidad de Sevilla. 2006.
- [6] Melvin Castellanos Torres, Max Sánchez Miranda. Programa de Mantenimiento Predictivo por Análisis de Vibraciones en Equipos Críticos de la Industria Azucarera. 2005.
- [7] Ing. Sandra Liliana Gómez L. Identificación del Análisis de Aceites Lubricantes como Elemento del Mantenimiento Predictivo. Universidad Nacional de Colombia. 2003.

ANEXOS

	Promedio de BOLSAS POR HORA	Promedio de KILOS POR HORA	Suma de DESPERDICIO DE PROCESO EN KILOS	Suma de SELLADAS EN UNIDADES	Suma de KILOS SELLADOS	Suma de UNIDADES NO CONFORME
2011	3.458	20	2.506,30	6.374.116	35.467	183.436
SELLADORA No 01	1.501	16	17,06	393.601	3.490	7.600
ENERO	1.054	15	5,43	111.705	1.335	2.551
FEBRERO	1.839	17	11,63	262.816	2.059	5.049
MARZO	1.512	8	0,00	19.080	96	0
SELLADORA No 02	8.587	8	0,00	2.546.920	2.491	88.166
ENERO	9.008	10	0,00	1.146.400	1.194	29.779
FEBRERO	8.239	7	0,00	1.400.520	1.297	58.387
SELLADORA No 03	2.389	27	2.446,94	2.206.195	24.335	47.305
ENERO	2.192	26	1.122,30	895.250	10.295	17.585
FEBRERO	2.554	28	1.141,85	1.170.595	12.284	27.371
MARZO	2.443	30	182,79	140.350	1.756	2.349
SELLADORA No 04	3.249	14	42,30	1.227.400	5.151	40.365
ENERO	3.113	13	2,32	496.900	2.018	19.208
FEBRERO	3.249	14	26,41	580.700	2.327	18.429
MARZO	3.701	20	13,57	149.800	806	2.728
Total general	3.432	22	32.588,11	68.912.862	433.610	2.245.538

Anexos A Variables para el Cálculo de Índice de Selladoras

Rótulos de fila	Suma de KILOS PROGRAMADOS	Suma de KILOS PRODUCIDOS	Suma de DESPERDICIO O GRAMOS	Suma de HORAS PROGRAMADAS	Suma de TIEMPO TRABAJADO HORAS
EXTRUSORA No 06	55.244	55.044	199.208	1.841	2.245
2008	6.669	6.613	55.205	222	263
2009	17.050	16.993	56.639	568	718
2010	22.826	22.761	65.027	761	915
2011	8.699	8.677	22.337	290	349
EXTRUSORA No 09	9.860	9.798	62.546	152	205
2.008	3.365	3.345	20.432	52	61
2.009	3.777	3.752	25.599	58	93
2.010	1.994	1.986	7.580	31	38
2.011	724	715	8.935	11	12
EXTRUSORA No 10	459.486	458.974	511.990	10.940	13.300
2.008	123.944	123.815	129.397	2.951	3.612
2.009	138.975	138.823	152.026	3.309	4.027
2.010	136.391	136.218	173.186	3.247	3.947
2.011	60.175	60.118	57.382	1.433	1.714
EXTRUSORA No 11	73.135	73.068	67.277	4.302	4.940
2.008	5.036	5.025	11.238	296	362
2.009	19.049	19.032	16.798	1.121	1.295
2.010	38.089	38.060	29.080	2.241	2.548
2.011	10.961	10.951	10.161	645	736
Total general	597.725	596.883	841.021	17.235	20.689

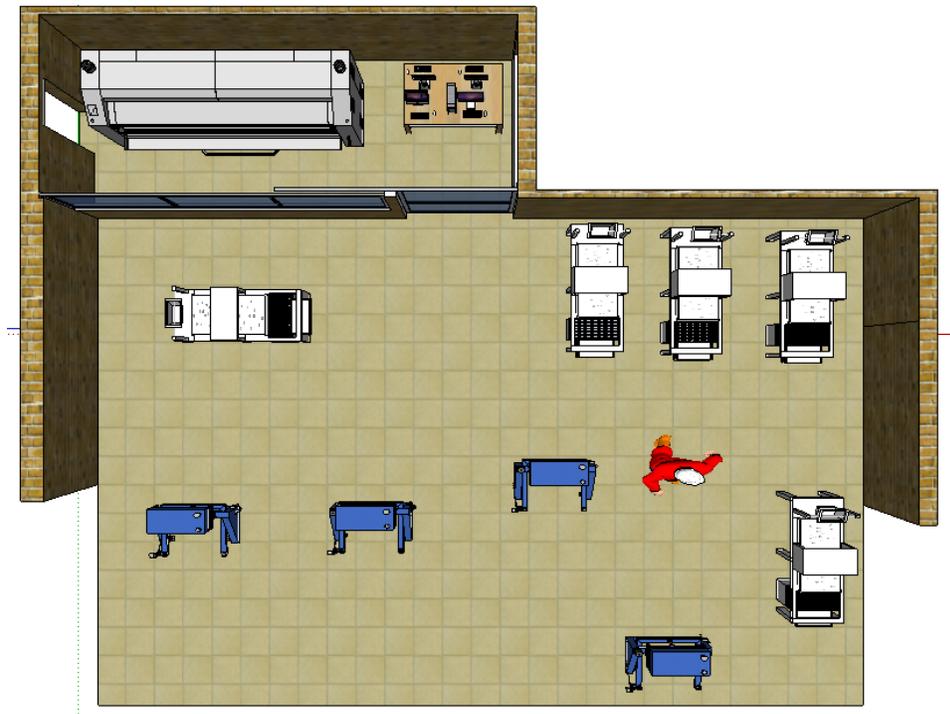
Anexos B Variables para el cálculo de Índices en Extrusoras

Rótulos de fila	Suma de TIEMPO PARADAS HORAS
SELLADORA No 01	
2009	102,37
2010	286,42
2011	26,42
ENERO	12,25
FEBRERO	14,17
SELLADORA No 02	
2009	90,50
2010	265,55
2011	48,00
ENERO	15,75
FEBRERO	32,25
SELLADORA No 03	
2009	271,22
2010	869,38
2011	121,23
ENERO	58,00
FEBRERO	62,40
MARZO	0,83
SELLADORA No 04	
2009	133,08
2010	351,82
2011	44,52
ENERO	25,00
FEBRERO	19,02
MARZO	0,50

Anexos C Tiempo de Parada de las Selladoras

Rótulos de fila	Suma de TIEMPO PARADAS HORAS
⊕ 2009	617,65
⊕ 2010	1.775,08
⊖ 2011	240,17
⊖ ENERO	111,00
EXTRUSORA No 06	13,67
EXTRUSORA No 10	72,33
EXTRUSORA No 11	25,00
⊖ FEBRERO	127,83
EXTRUSORA No 06	35,75
EXTRUSORA No 10	73,07
EXTRUSORA No 11	19,02
⊖ MARZO	1,33
EXTRUSORA No 10	0,83
EXTRUSORA No 11	0,50
Total general	2.632,90

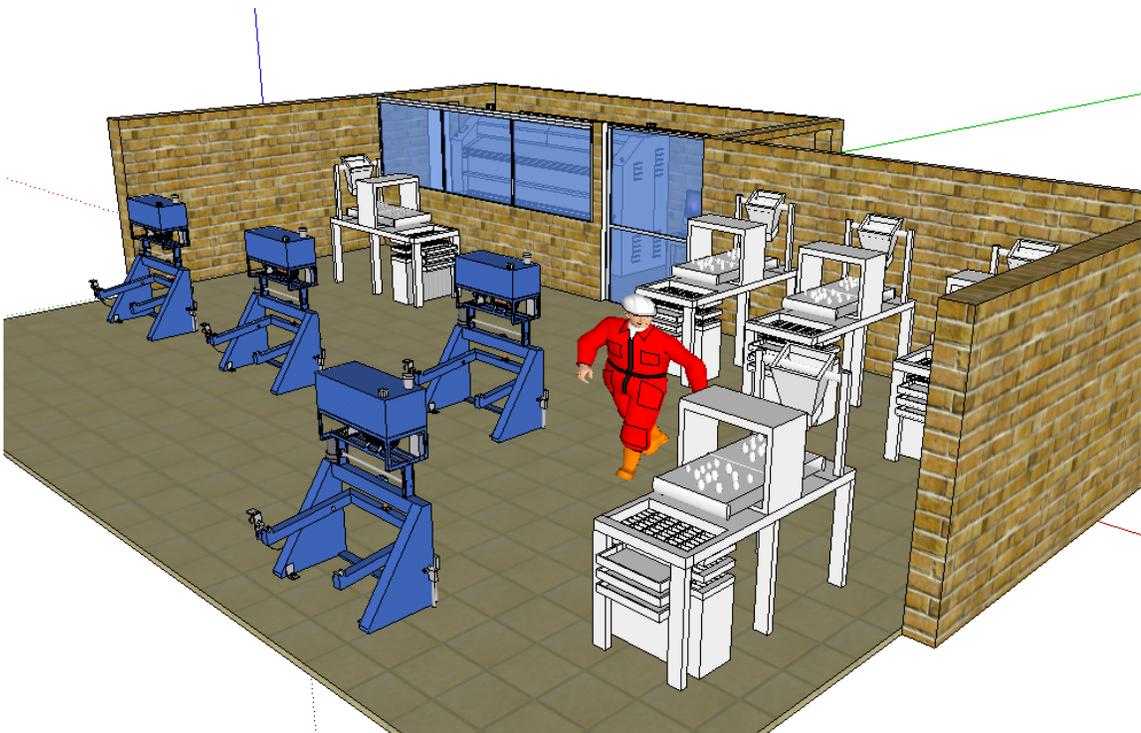
Anexos D Tiempo de Parada de las Extrusoras



Anexos E Vista en Planta de Línea de Producción Extrusión - Bolsas Plásticas



Anexos F Vista Frontal Línea de Producción Extrusión – Bolsas Plásticas



Anexos G Vista Isométrica de Línea de Producción Extrusión – Bolsas Plásticas



Fuente: KICO S.A, 2011
Anexos H Artículos de la Línea Hogar



Fuente: KICO S.A, 2011
Anexos I Juguetería