

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Elaboración de un Plan de Mantenimiento Predictivo para las
Máquinas Rejilladoras del Área de Fundición en una Fábrica de
Baterías de Plomo-Ácido”

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
(PROYECTO DE GRADUACIÓN)**

Previo a la obtención de Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Sócrates Samuel Ramírez Torres

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2014

AGRADECIMIENTO

A Dios por estar siempre a mi lado, a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción por la educación de excelencia proporcionada, a mis padres, hermanas por su inmensurable apoyo y al Ing. Ernesto Martínez por su valiosa dirección en el desarrollo del presente proyecto de graduación.

DEDICATORIA

A mis padres, Alfonso Ramírez (+) y Esthela Torres (+) quienes me dieron la oportunidad de prepararme profesionalmente, a mis hermanas, Johanna y Karen por su incondicional apoyo y a mi tío Eloy por estar siempre junto a nosotros.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Dr. Kleber Barcia V., Ph.D.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR

Ing. Gonzalo Zabala O.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Trabajo Final de Graduación, me corresponde exclusivamente, y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Sócrates Samuel Ramírez Torres

RESUMEN

El presente trabajo se basó en la elaboración de un plan diario, semanal y mensual de mantenimiento predictivo para las máquinas rejilladoras del área de fundición en una fábrica de baterías plomo – ácido, para ello se realizó un análisis de la situación actual de funcionamiento de las máquinas y del servicio de mantenimiento que se ejerce en las mismas, y se tomó como datos el tiempo de producción programado, el tiempo muerto o de paro no programado y el número de fallas que se suscitan diariamente en las máquinas. A partir de esto se elaboró la planeación y programación de las actividades de mantenimiento que se deben realizar en los componentes principales de las máquinas que permitieron incrementar su confiabilidad, su mantenibilidad y mejorar la calidad de sus productos.

Para este estudio se utilizó los manuales de mantenimiento proporcionados por el fabricante de las máquinas, se hizo uso del conocimiento y experiencia que los operadores y técnicos de mantenimiento poseen respecto a la operación, condiciones de funcionamiento y tipos de fallas que se suscitan diariamente en las máquinas.

En primera instancia se realizó un análisis de la situación actual de las máquinas, respecto a la condición de funcionamiento de las mismas, y del

departamento de mantenimiento, con referencia al tipo de mantenimiento que se estaba aplicando en las máquinas, el personal, las herramientas y los equipos con los que cuenta para realizar las tareas de mantenimiento en las mismas. A partir de esto se determinó en las máquinas los componentes principales cuyo fallo implica la no disponibilidad para producción de las mismas y se calculó la confiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y el tiempo total diario que demandan las máquinas por servicio de mantenimiento.

Posteriormente se desarrolló las actividades de mantenimiento predictivo que se deben realizar en los componentes principales de las máquinas. Se utilizó la suavización exponencial como técnica de pronósticos para la carga diaria de mantenimiento de las máquinas y se usó el método del Tableau Heurístico como técnica determinística para la planeación de la capacidad de mantenimiento.

Donde se obtuvo como resultado que la carga diaria de mantenimiento de las 8 máquinas rejilladoras es de 41,7 horas para todos los días en un periodo de un año, y que se requieren 5 personas a tiempo regular y 1 persona a tiempo extra para satisfacer esta carga, la distribución del personal en los tres turnos de 8 horas de trabajo será de la siguiente forma: para el tiempo regular se requiere 2 personas en el primer turno, 2 personas en el segundo

turno y 1 persona en el tercer turno, para el tiempo extra se requiere 1 persona en el tercer turno por el lapso de tiempo de 1,7 horas.

Por último se procedió a realizar un análisis de los resultados obtenidos con la aplicación del plan de mantenimiento predictivo, donde se evidenció que el tiempo diario que demandan las máquinas por servicio de mantenimiento se ha reducido, en valores que van desde 1,2 a 4,6 horas. Por lo tanto se pudo evidenciar que la gestión del departamento de mantenimiento hacia las máquinas es más productiva con la aplicación del plan predictivo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	V
ABREVIATURAS.....	VIII
SIMBOLOGÍA.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE PLANOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. METODOLOGÍA.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Objetivos Generales.....	8
1.3. Objetivos Específicos.....	9
1.4. Justificación.....	9
CAPÍTULO 2	
2. MARCO TEÓRICO.....	13

2.1. Definición de Mantenimiento, su clasificación y rol en la Industria Moderna.....	13
2.2. Definición y objetivos del Mantenimiento Predictivo.....	24
2.3. Tipos y frecuencia de Inspecciones en el Mantenimiento Predictivo.....	26
2.4. Métodos y análisis para la Ejecución del Mantenimiento Predictivo.....	32
2.4.1. Métodos Visuales.....	33
2.4.2. Análisis de Vibraciones.....	34
2.4.3. Análisis de Lubricantes.....	49
2.4.4. Instrumentos Portátiles para medición de variables eléctricas.....	50

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE LAS MÁQUINAS REJILLADORAS.....	51
3.1. Descripción del proceso de producción de rejillas.....	51
3.2. Condiciones actuales del servicio de mantenimiento aplicado en las máquinas rejilladoras.....	87
3.2.1. Actividades de Mantenimiento Realizadas actualmente....	88
3.2.2. Índice de fiabilidad, tiempo productivo y de paro de las máquinas rejilladoras en la actualidad.....	95
3.2.3. Costos de Mantenimiento de las máquinas rejilladoras en	

la actualidad.....	99
--------------------	----

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	103
4.1. Detalle de las actividades de mantenimiento a realizar tomando como base los manuales técnicos de los fabricantes.....	103
4.2. Determinación del tipo y frecuencia de inspección a realizar en las máquinas rejilladoras.....	104
4.3. Elaboración del Plan de Mantenimiento Predictivo.....	109

CAPÍTULO 5.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	160
--------------------------------	-----

CAPÍTULO 6.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	172
--	-----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

cpm	Ciclos por minuto
Khz	Kilo Hertz
G	Aceleración de la gravedad
rev/s	Revoluciones por segundo
mm	Milímetros
rpm	Revoluciones por minuto
mm/s	Milímetros por segundo
W	Watt
Hz	Hertz
KW	Kilo watt
MW	Mega watt
K	Kilo
Fm	Frecuencia de engranaje en contacto
N	Número de dientes
Z	velocidad de operación del engrane, en Hertz
Ff	Frecuencia fundamental de rodamiento de bola, en Hertz
Fb	Frecuencia de giro de la bola de un rodamiento, en Hertz
Fex	Frecuencia del anillo externo de un rodamiento de bola, en hertz
Fin	Frecuencia del anillo interno de un rodamiento de bola, en hertz
M	Resistencia de aislamiento

°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
HP	Caballo de fuerza
RMS	Valor eficaz de la velocidad de vibración
Y(t)	Pronóstico del último periodo
X(t)	Observación real del último periodo
A	Factor de suavización

SIMBOLOGÍA

PB-CA	Aleación de plomo-calcio
PB-SB	Aleación de plomo antimonio
ISO	International Organization for Standardization
CCS	Sistema de refrigeración por circulación
MTBF	Tiempo medio entre fallas
A	Disponibilidad
D	Tiempo de paro de la máquina
MTTR	Tiempo medio por reparación
ON	Máquina en funcionamiento
OFF	Máquina apagada
D	Diario
S	Semanal
M	Mensual
BM	Bimensual
OP	Responsabilidad del operador
TM	Responsabilidad del técnico de mantenimiento
SEM	Responsabilidad del servicio externo de mantenimiento
IM	Informar a mantenimiento

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1	Esquema general del proceso de producción de rejillas	5
Figura 2.1	Sistema de mantenimiento general	14
Figura 2.2	Esquema general de los tipos de mantenimiento	22
Figura 2.3	Carta de Rathbone	40
Figura 3.1	Proceso de producción de rejillas	53
Figura 3.2	Crisol con exceso de escoria	56
Figura 3.3	Daño de impulsor de Bomba por contaminación de escoria	56
Figura 3.4	Taponamiento de tubos de alimentación	57
Figura 3.5	Daño de rodamiento por falta de lubricación	57
Figura 3.6	Canoa con goteo de plomo y molde contaminado	59
Figura 3.7	Molde con ductos taponados	60
Figura 3.8	Daño de botadores	62
Figura 3.9	Paso de rejilla por el sistema de corte	63
Figura 3.10	Máquina rejilladora modelo 40C	69
Figura 3.11	Bomba Centrifuga	71
Figura 3.12	Tubo de alimentación	73
Figura 3.13	Portavasos	75
Figura 3.14	Válvula de dosificación	75

Figura 3.15	Vaso	76
Figura 3.16	Bola cerámica	76
Figura 3.17	Pistón de dosificación	77
Figura 3.18	Reloj de dosificación	77
Figura 3.19	Canoa	79
Figura 3.20	Barra de sellado de canoa	79
Figura 3.21	Molde de rejilla, fijo y móvil.	81
Figura 3.22	Sistema de enfriamiento del molde (Chiller y CCS)	81
Figura 3.23	Motor eléctrico	82
Figura 3.34	Reductor y engranes	83
Figura 3.25	Banda transportadora de rejillas	84
Figura 3.26	Troquel	85
Figura 3.27	Banda transportadora de desperdicios	86
Figura 3.28	Apilador de rejillas	87
Figura 3.29	Organigrama del departamento de mantenimiento	90
Figura 3.30	Confiabilidad (MTBF) y Mantenibilidad (MTTR) de las máquinas	97
Figura 3.31	Tiempo de demanda por servicio de mantenimiento (t) y Disponibilidad (A) de las máquinas.	98
Figura 3.32	Tiempo de demanda por servicio de mantenimiento de las máquinas.	101

Figura 4.1	Suavización exponencial para el pronóstico de la carga diaria de mantenimiento.	146
Figura 5.1	Confiabilidad de las máquinas, sin mantenimiento predictivo y con mantenimiento predictivo	164
Figura 5.2	Mantenibilidad de las máquinas, sin mantenimiento predictivo y con mantenimiento predictivo.	166
Figura 5.3	Disponibilidad de las máquinas, sin mantenimiento predictivo y con mantenimiento predictivo.	168
Figura 5.4	Tiempo de demanda por servicio de mantenimiento, sin plan predictivo y con plan predictivo	170

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Clasificación de equipos en ISO 2372	42
Tabla 2 Severidad de la vibración en ISO 2372	43
Tabla 3 Clasificación de máquinas en ISO 10816	46
Tabla 4 Severidad de la vibración en ISO 10816	48
Tabla 5 Media diaria de confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y tiempo de demanda por servicio de mantenimiento de las máquinas.	96
Tabla 6 Evaluación de los costos de mantenimiento respecto al factor tiempo, media en horas al día.	100
Tabla 7 Planeación para la inspección de la bomba de dosificación	111
Tabla 8 Planeación para la inspección de motor de bomba de dosificación.	113
Tabla 9 Planeación para la inspección, desmontaje y montaje del tubo de alimentación	114
Tabla 10 Planeación para la inspección, desmontaje y montaje del sistema de dosificación	116

Tabla 11	Planeación para la inspección, desmontaje y montaje de la canoa	118
Tabla 12	Planeación para la inspección, desmontaje y montaje de molde	120
Tabla 13	Planeación para la inspección, desmontaje y montaje de motor eléctrico de máquina	123
Tabla 14	Planeación para la inspección, desmontaje y montaje de reductor de velocidad	125
Tabla 15	Planeación para la inspección, desmontaje y montaje de sistema de transmisión	126
Tabla 16	Planeación para la inspección, desmontaje y montajes de banda transportadora de rejillas	129
Tabla 17	Planeación para la inspección, desmontaje y montaje de banda transportadora de rebabas	131
Tabla 18	Planeación para la inspección, desmontaje y montaje del troquel de corte	133
Tabla 19	Planeación para la inspección, desmontaje y montaje del apilador de rejillas	135
Tabla 20	Planeación para la inspección del crisol	136

Tabla 21	Planeación para la inspección del sistema de refrigeración de molde	139
Tabla 22	Suavización exponencial para el pronóstico de la carga diaria de mantenimiento	143
Tabla 23	Método de Tableau heurístico para 3 periodos	148
Tabla 24	Método de Tableau heurístico para 3 periodos, con $n=5$	151
Tabla 25	Método de Tableau heurístico para 3 periodos, con $n=6$	152
Tabla 26	Ficha de mantenimiento	155
Tabla 27	Resultados obtenidos con aplicación del mantenimiento predictivo.	161
Tabla 28	Confiabilidad (MTBT) , sin mantenimiento predictivo y con mantenimiento predictivo	163
Tabla 29	Mantenibilidad (MTTR), sin mantenimiento predictivo y con mantenimiento predictivo	165
Tabla 30	Disponibilidad (A), sin mantenimiento predictivo y con mantenimiento predictivo	167
Tabla 31	Tiempo de demanda por servicio de mantenimiento (t), sin plan predictivo y con plan predictivo	169

ÍNDICE DE PLANOS

Ver plano en apéndices

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente Trabajo Final de Graduación abarca principalmente lo siguiente.

En el capítulo 1 se presenta la metodología para el desarrollo del presente estudio, se describe el planteamiento del problema, el objetivo general, los objetivos específicos y la justificación correspondiente a la presente investigación.

En el capítulo 2 se describe los fundamentos básicos de los sistemas de mantenimiento, su clasificación y el rol que desempeñan en la Industria. Se presenta la definición de mantenimiento predictivo, se describe sus objetivos y los métodos que se utilizan para su ejecución.

En el capítulo 3 se realizará un análisis de la situación actual de las máquinas, respecto a la condición de funcionamiento de las mismas, y del departamento de mantenimiento, respecto a la gestión que ha venido realizando en las máquinas. A partir de esto se determinará los componentes cuyo fallo implican la no disponibilidad para producción de las máquinas y se

calculará la confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y tiempo total diario que demandan las mismas por servicio de mantenimiento.

En el capítulo 4 se elaborará el plan de mantenimiento predictivo, en el cual se detallará las actividades de mantenimiento que se deben realizar en los componentes de las máquinas, para de esta forma conocer la condición real de funcionamiento de las mismas y así actuar oportunamente antes de que la falla ocurra. Se pronosticará la carga diaria de mantenimiento de las máquinas y se planeará la capacidad de mantenimiento necesaria para satisfacer dicha carga.

En el capítulo 5 se presentará un análisis de los resultados obtenidos con la aplicación del plan de mantenimiento predictivo, para esto se comparará la confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y tiempo diario que demandan las máquinas por servicio de mantenimiento antes y después de la aplicación del plan predictivo.

Finalmente en el capítulo 6 se presentarán las respectivas conclusiones y recomendaciones para la elaboración de un plan de mantenimiento predictivo.

CAPÍTULO 1

1 METODOLOGÍA

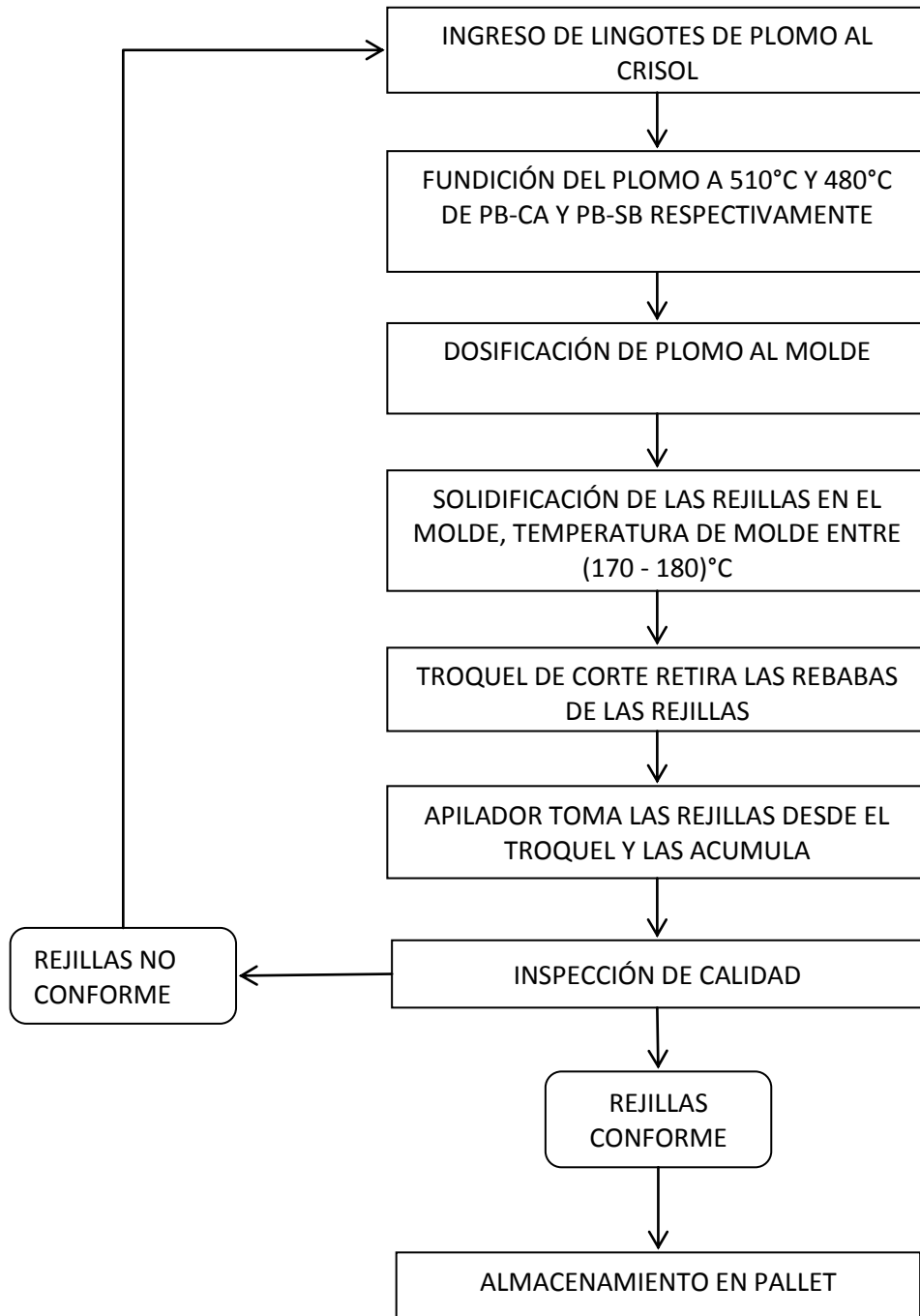
En el presente capítulo se describe el planteamiento del problema, el objetivo general, los objetivos específicos y la justificación correspondiente a la presente investigación.

1.1. Planteamiento del Problema

Las máquinas rejilladoras sobre las cuales se realiza este estudio se encuentran ubicadas en el área de fundición de rejillas la cual es fundamental en el proceso de producción de baterías debido a que es la etapa inicial del proceso en mención.

El proceso de fabricación de las rejillas se desarrolla de manera general de la siguiente forma, los lingotes de la aleación plomo-calcio o plomo antimonio se funden a 510 y 480 grados centígrados

respectivamente en los crisoles, luego desde el crisol se dosifica la aleación en mención a los respectivos moldes ubicados en las máquinas rejilladoras, las rejillas salen de los moldes ya solidificadas, luego pasan por un troquel en donde con una cuchilla se elimina la rebaba, para posteriormente ser apiladas y finalmente después de la inspección de calidad ser bajadas al pallet en donde se acumulan y luego se almacenan. En la Figura 1.1 se presenta el esquema general mencionado.



Autor: Sócrates Ramírez T.

FIGURA 1.1 ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE REJILLAS

Un incremento en los tiempos muertos de las máquinas afecta directamente la disponibilidad de las mismas, es decir la proporción de tiempo en que la máquina está disponible para la producción respecto al tiempo total programado, reduciéndola debido al incremento en la frecuencia de fallas, lo que se define como una baja confiabilidad de la máquina, y a un incremento en el tiempo de reparación de dichas fallas, lo que a su vez se define como una baja mantenibilidad.

Una baja disponibilidad de las máquinas para producción afecta directamente que se pueda cumplir con la producción mínima por máquina de 8000 rejillas en ocho horas, la cual es necesaria para cumplir con los despachos planificados nacionales e internacionales y el reabastecimiento de los stocks de seguridad. Estar en una situación de baja disponibilidad implica que la empresa esté en riesgo de que los despachos se retrasen debido a que el programa de producción no se puede cumplir, y a que no se cuenta con más máquinas y más tiempo.

El número de máquinas rejilladoras con el que cuenta el área de fundición es de 8, de las cuales 6 se utilizan para producir rejillas de aleación plomo-calcio y 2 para producir rejillas de aleación plomo –

antimonio, el estado de las máquinas es relativamente nuevo ya que se encuentran en la mitad del ciclo de vida para la cual fueron diseñadas.

La gestión de mantenimiento que en la actualidad se aplica en las máquinas es en una parte el correctivo, haciendo uso de los manuales de los fabricantes, pero en su mayor parte se realizan reparaciones, lo que ha reducido la disponibilidad de la máquina para producción.

El propósito del presente estudio es la elaboración de un plan diario, semanal y mensual de mantenimiento predictivo para las máquinas rejilladoras del área de fundición de rejillas que permita a través de las recomendaciones de los fabricantes, experiencia de operadores y personal técnico de mantenimiento, métodos visuales y análisis de vibraciones conocer la condición real de la máquina, de esta forma la necesidad de las acciones correctivas se basa en la condición actual de la máquina en lugar de una acción programada como se realiza en el mantenimiento planificado. El plan de mantenimiento predictivo permitirá realizar los cambios necesarios antes de que ocurra la falla imprevisible o catastrófica de la máquina, pero no tan a menudo como actualmente lo realiza el

departamento de mantenimiento al cambiar componentes de las máquinas que están potencialmente en riesgo pero que no han llegado al final de su ciclo de vida útil, ocasionando pérdida de tiempo y dinero que ello conlleva.

Los recursos a utilizar en el presente estudio son la experiencia de los operadores de las máquinas, el conocimiento técnico del personal del departamento de mantenimiento y como una guía se utilizará las recomendaciones de los fabricantes. Para de esta forma aplicar los métodos visuales del mantenimiento predictivo y la técnica del análisis de vibraciones.

1.2. Objetivo General

Elaborar un plan diario, semanal y mensual de mantenimiento predictivo en las máquinas rejilladoras del área de fundición de rejillas en una fábrica de baterías plomo-ácido, el cual será controlado por el operador de la máquina y el personal técnico del departamento de mantenimiento de la fábrica; basados en la experiencia de los operadores, el conocimiento técnico del personal de mantenimiento y como una guía los manuales de mantenimiento de los fabricantes, así como los métodos visuales predictivos y técnicos del análisis de vibraciones.

1.3. Objetivos Específicos.

- Recopilar información respecto a herramientas, tecnología y personal con el que el departamento de mantenimiento cuenta en la actualidad para la realización de sus actividades.
- Reunir información respecto a las rutinas de mantenimiento predictivo sugeridas por los fabricantes de las máquinas, personal técnico de mantenimiento y operadores; así como métodos visuales, análisis de vibraciones como técnicas predictivas desarrolladas en el mercado.
- Conocer las actividades de mantenimiento que se ejecutan sobre las máquinas rejilladoras actualmente.
- Identificar los componentes críticos en las máquinas rejilladoras, es decir aquellos cuyo fallo deja fuera de servicio a la máquina.
- Determinar el tipo y frecuencia de inspección a realizar sobre los componentes de las máquinas rejilladoras.

1.4. Justificación

El hecho de que el área de fundición provea los distintos tipos de rejillas para la producción de los diferentes tipos de baterías implica que se deba garantizar el normal funcionamiento de las máquinas rejilladoras, para de esta forma lograr la disponibilidad para

producción para las que fueron diseñadas y de esta manera evitar los paros no programados de producción en las siguientes etapas del proceso por falta de rejillas.

El tener implementado en la planta un programa de producción que establece ordenes de fabricación diarias y fija amortiguadores de seguridad para los productos semi elaborados y elaborados en base a la capacidad de la planta y a la demanda del mercado, es imperiosamente necesario contar con un plan de mantenimiento predictivo que permita conocer la condición real de las máquinas, para de esta forma actuar antes de que la falla ocurra, disminuyendo los tiempos muertos, garantizando la producción y los stocks de seguridad de rejillas fijados en el programa de producción.

La ejecución correcta de un plan de mantenimiento predictivo diario, semanal y mensual permitirá obtener los siguientes beneficios a la organización.

- Maximizar la productividad al obtener la máxima efectividad del equipo y de esta forma obtener el máximo de rentabilidad.
- Garantizar la calidad de los productos
- Garantizar la continuidad en los proceso de producción.

- Cumplir con el programa de producción y los despachos a los centros de distribución.

Una vez establecido el plan de mantenimiento predictivo la organización podrá corroborar a través del seguimiento del proceso los logros que esta gestión de mantenimiento permite alcanzar, siempre y cuando se aplique de manera correcta. A continuación se detallan estos logros:

- Minimizar las acciones correctivas sobre los equipos.
- Reducción de los costos de mantenimiento al optimizar los recursos utilizados para ello.
- Reduce la cantidad de repuestos en bodega, muchas partes pueden comprarse justo a tiempo para las reparaciones a realizarse durante las paradas programadas.
- Reduce horas extras generadas para recuperar la pérdida de producción debido a fallas inesperadas o pobre desempeño en los equipos.
- Mejora de la planeación y la gestión del mantenimiento.
- Reducción de los paros no programados de producción por fallas en los equipos.
- Identificación de fallas primarias y evitar fallas secundarias que podrían ser catastróficas.

- Alarga la vida útil de los equipos y de sus componentes.
- Alcanzar una calidad constante en el proceso y de esta forma minimizar los costos asociados por productos no conformes.
- Mejoramiento de la disponibilidad de los equipos para producción, al aumentar la confiabilidad y la mantenibilidad de los mismos.
- Planificar y programar las acciones correctivas en los equipos antes de que presenten fallas catastróficas.

El presente estudio le permitirá a la organización en su gestión de mantenimiento programar sus acciones correctivas en base a la condición actual del equipo, en lugar de una acción programada como se realiza en el mantenimiento preventivo. El programa predictivo efectivo, permite realizar las acciones correctivas antes de que ocurra un fallo imprevisible o catastrófico del equipo, pero en una menor frecuencia respecto a las que se realizarían cuando se intervienen equipos que están potencialmente en riesgo pero que aún no han llegado al final de su ciclo de vida útil, con la pérdida de tiempo y dinero que ello supone.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se detalla la base teórica necesaria para el desarrollo de la presente investigación, constituyéndose así, en la base sobre la cual se sustenta la elaboración del plan de mantenimiento predictivo.

2.1. Definición de Mantenimiento, su Clasificación y Rol en la Industria Moderna.

En base al análisis de las definiciones emitidas por distintos autores de libros, publicaciones en revistas científicas y trabajos de investigación respecto a este tema, se puede definir en términos generales al mantenimiento como se detalla a continuación.

Mantenimiento es el conjunto de técnicas, procedimientos, acciones o medidas que se deben realizar sobre una máquina o equipo de tal

forma que se pueda garantizar el normal funcionamiento de la misma dentro del ciclo de vida para el cual fue diseñada.

Se puede visualizar al mantenimiento como un sistema de entrada y salida, como se muestra en la Figura 2.1, las entradas corresponden a la mano de obra, herramientas, equipos, repuestos, etc., necesarios para realizar el servicio de mantenimiento y las salidas son el equipo funcionando normalmente en el ciclo de vida para el cual fue diseñado, es decir una máquina y equipo confiable que permita cumplir con las necesidades de producción de la planta.



Fuente: Sistema de mantenimiento, planeación y control.
 Autor: Duffuaa, Raouf y Dixon.

FIGURA 2.1 SISTEMA DE MANTENIMIENTO GENERAL.

Objetivos del servicio de mantenimiento

Con lo anteriormente mencionado se podrá citar los objetivos principales que persigue un sistema de mantenimiento:

- Reducir al mínimo el tiempo muerto de las máquinas, que implican pérdidas de producción por baja disponibilidad de las mismas.
- Prolongar al máximo el tiempo de vida útil de la máquina y todos sus componentes, para de esta forma garantizar el normal funcionamiento de la misma en el ciclo de vida para la cual fue diseñada, para evitar productos no conformes y evitar las pérdidas de tiempo y dinero que ello supone.
- Desarrollar mejoras en el diseño de la máquina con la finalidad de minimizar la probabilidad de fallas y crear métodos o procedimientos para optimizar el tiempo de reparación de las averías.

Tipos de mantenimiento.

El mantenimiento puede ser dividido en 3 grandes grupos:

- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento de reparación.

- Mantenimiento mejorativo.

Mantenimiento preventivo.

En el mantenimiento preventivo las acciones sobre la maquinaria se las realiza antes de que la falla ocurra o que el ciclo de vida de la máquina o de sus componentes llegue a su fin.

El mantenimiento preventivo empieza desde la instalación de la máquina, en lo que se llamará mantenimiento a priori, y continua durante el funcionamiento de la maquinaria dentro del ciclo de vida útil para la cual fue diseñada, a lo que se llamará a posteriori.

Tipos de mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo desde el punto de vista posterior a la instalación de la máquina puede ser clasificado de la siguiente forma.

- Mantenimiento planificado.
- Mantenimiento predictivo.

Mantenimiento planificado.

En el mantenimiento planificado, como su nombre lo indica, las acciones a realizar sobre la máquina se planifican en base a los siguientes 2 puntos:

- Información que el fabricante provee a través de sus libros o manuales de instrucción.
- La experiencia de los operadores en el uso de la maquinaria.

Por lo tanto en este tipo de mantenimiento se planificará la revisión, recambio, rectificación o reparación de los componentes de la maquinaria antes de que estos alcancen el punto estimado de falla, teniendo como base a la frecuencia de fallas obtenidas con los 2 puntos mencionados anteriormente.

No obstante, no siempre se puede realizar esto ya que dentro del ciclo de vida útil de toda máquina o equipo existe un número de fallas que no se pueden evitar, las cuales se llamará fallas al azar, y están asociadas al normal funcionamiento de la máquina.

El mantenimiento planificado, también es denominado por otros profesionales involucrados en este campo, como “mantenimiento planeado” o como “mantenimiento programado”.

Mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo se basa en el conocimiento de la condición real de funcionamiento de la máquina y consiste en la predicción física de fallas de un determinado componente o de la máquina o equipo en general, a causa:

- De las condiciones en que se está operando la máquina o equipo.
- De la vetustez o antigüedad que pueda tener la maquinaria o equipo lo cual condicionaría el desgaste o la falla por fatiga de uno o varios componentes.

Existen 2 tipos de diagnósticos que se utilizan en el mantenimiento predictivo:

- Diagnóstico de control de funcionamiento.
- Diagnóstico de control de condiciones técnicas.

Mantenimiento correctivo.

El mantenimiento correctivo como su nombre lo indica es aquel que se utiliza para reparar o corregir las averías sufridas por una máquina o equipo, lo que lo caracteriza es que se lo emplea

después de que ocurre la falla, esta característica es lo que implica que también se lo denomine como “mantenimiento de emergencia”.

Este tipo de mantenimiento se lo emplearía debido a la paralización parcial o total de la máquina o equipo producto de una falla o avería en algún componente de la misma, actuar después de que la falla ocurre, implica que la máquina o equipo se coloque en una situación de lucro cesante puesto que no está prestando el servicio para la cual fue diseñada en el tiempo programado, por lo que las acciones correctivas deben hacerse en el menor tiempo para disminuir al máximo esta situación, por lo tanto, el mantenimiento correctivo se lo puede dividir en mantenimiento de averías y mantenimiento de emergencia.

Mantenimiento de averías.

Es aquel en que las acciones correctivas a realizar se las planifican antes de que ocurra la falla por lo que los recursos de repuestos y personal de mantenimiento necesario para la aplicación de las mismas ya han sido programados con anterioridad.

Mantenimiento de emergencia.

Es aquel en que las acciones correctivas a realizar sobre el equipo no han sido programadas con anterioridad por lo que el grado de apremio es mayor ya que no se dispone de manera inmediata de los recursos necesarios, como el personal, herramientas, repuestos, etc., para la aplicación de estas acciones sobre la máquina o equipo.

Mantenimiento de Reparación

Es aquel en que la actividades de mantenimiento a realizar en una máquina o equipo no tienen una base de acciones preventivas, como es el caso del mantenimiento correctivo, es por esto que se lo denomina de reparación ya que no se ejecuta las actividades de mantenimiento preventivo que requiere la máquina o el equipo.

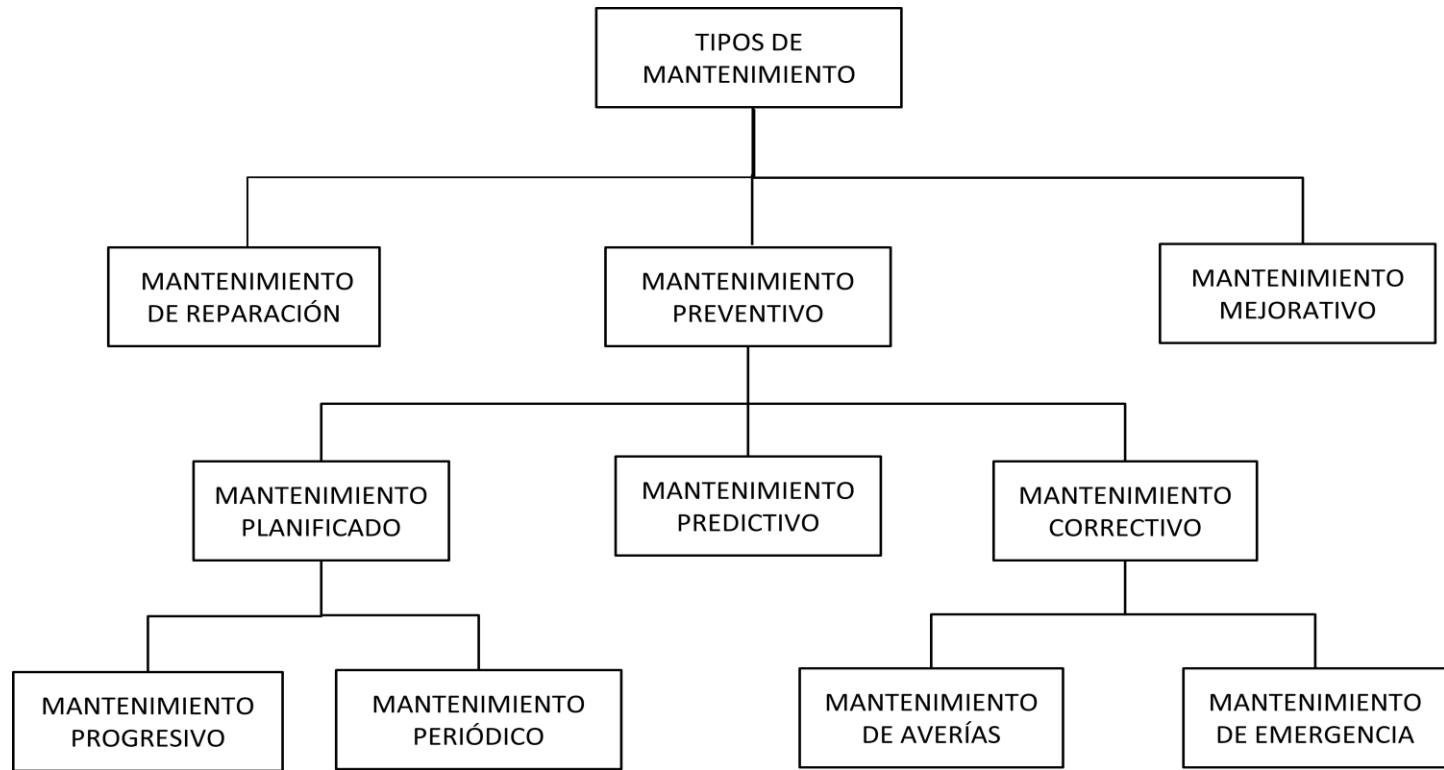
Mantenimiento mejorativo

El mantenimiento mejorativo es el conjunto de acciones que se realizan en una máquina o equipo que permiten mejorar las condiciones de diseño y de funcionamiento de los componentes de las mismas.

Además de las mejoras en las condiciones de diseño y de funcionamiento de los componentes de la máquina, también se puede incluir los siguientes puntos:

- Utilización de nuevos y mejores instrumentos en el control de funcionamiento de la máquina o equipo.
- Capacitación constante del personal operativo y de mantenimiento para maximizar su desempeño en sus labores.

En la Figura 2.2 se presenta el esquema general de los tipos de mantenimiento.



Fuente: Apuntes de cátedra de Instalaciones industriales.

Autor: Ing. Ernesto Martínez

FIGURA 2.2 ESQUEMA GENERAL DE LOS TIPOS DE MANTENIMIENTO

El rol del mantenimiento en la industria moderna.

En el proceso de funcionamiento de las máquinas o equipos, todos los componentes que las conforman se desgastan con el paso del tiempo por lo que es inminentemente necesario dar un servicio de mantenimiento para que la vida útil de los mismos sea la mayor posible y la máquina preste el servicio para la cual fue diseñada.

En la industria moderna no basta con obtener el máximo de rentabilidad con respecto a una inversión dada para permanecer competitivos en el mercado, es necesario lograr calidad en los productos que se ofrecen, por lo que el mantenimiento se convierte en una estrategia exitosa para lograr ese fin. Un mal funcionamiento de la máquina o equipo genera variabilidad del producto con respecto a los límites establecidos en el proceso de producción, por lo que se obtendría productos no conformes, acarreando la pérdida de tiempo y dinero que ello supone.

Por lo tanto las organizaciones deben practicar procedimientos o metodologías teniendo siempre presente que el progreso industrial no solo se alcanza con la innovación de nuevas instalaciones o equipos para la producción, sino que además es necesaria la

utilización eficiente de los mismos, por lo que se requiere establecer una gestión de mantenimiento eficiente, segura y económica.

2.2. Definición y Objetivos del Mantenimiento Predictivo.

En la sección 2.1 se indicó que el mantenimiento predictivo se deriva del mantenimiento preventivo y lo que lo caracteriza es que las tareas a realizarse en el equipo se basan en la condición del mismo, por lo tanto se lo puede definir de la siguiente manera:

El mantenimiento predictivo es el conjunto de tareas o acciones planeadas y programadas previamente con base en la condición del equipo, que se llevan a cabo para contrarrestar las causas conocidas de fallas potenciales de las funciones para las que fue diseñado una máquina o equipo.

Por lo tanto aplicar o practicar el mantenimiento predictivo en una maquinaria o equipo significa introducir en el servicio de mantenimiento la inspección sistemática de los componentes de máquinas o equipo.

Las tareas de mantenimiento basadas en las condiciones se centran en la medición de un parámetro que indique deterioro o

degradación en el rendimiento funcional de la maquinaria o equipo, el cual debe estar ligado estrechamente con las fallas de los mismos.

Los parámetros que se pueden medir haciendo uso del mantenimiento predictivo son muy diversificados y numerosos, a continuación se detalla los principales:

- Vibración
- Ruidos
- Temperaturas
- Presión
- Velocidad
- Estado del aceite lubricante
- Degradación mecánica
- Degradación corrosiva
- Desalineamiento
- Fugas de gases, combustibles, refrigerantes, aceites, etc.
- Variables eléctricas como amperaje, voltaje, etc.

Objetivos del mantenimiento predictivo

Los objetivos principales del mantenimiento predictivo se pueden detallar de la siguiente forma:

- Maximizar la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas o equipos.
- Minimizar los trabajos por mantenimiento correctivo.
- Prolongar la vida útil de las máquinas o equipos y cada uno de sus componentes.
- Detectar fallas primarias y evitar fallas secundarias que pueden ser catastróficas.
- Establecer cuando se lo requiera la reparación de un equipo que va a fallar.
- Reducir los costos de mantenimiento a largo plazo.

2.3. Tipos y Frecuencias de Inspecciones en el Mantenimiento Predictivo.

La determinación del tipo de inspección a utilizar en el mantenimiento predictivo se puede clasificar respecto a los siguientes puntos:

- Respecto al tipo de falla que se presente en la máquina o equipo
- Respecto al tiempo de operación de la máquina o equipo.
- Respecto al tipo de evaluación que se realice a la máquina o equipo.
- Respecto a los medios que existen disponibles para realizar la inspección, es decir la instrumentación con la que se cuenta para la medición de los parámetros.
- Respecto a la disponibilidad para la inspección que tenga la máquina o equipo sin afectar el cumplimiento del programa de producción.
- Respecto al grado de automatización que tenga la máquina o equipo.

Inspecciones respecto al tipo de falla que ocurre en la máquina o equipo.

Para determinar el tipo de inspección a realizar en el equipo según el tipo de falla que éste presente se debe considerar las fallas primarias, por azar y las catastróficas, con base en estas fallas las inspecciones son de dos tipos:

- Preventivas
- Correctivas

Las preventivas corresponden a observaciones que permiten verificar la operación del equipo antes de que ocurra una falla primaria.

Las correctivas corresponden a observaciones que permiten verificar la operación del equipo cuando una falla por azar ha provocado una falla catastrófica.

Inspecciones respecto al tiempo de operación de la máquina o equipo.

Respecto al tiempo en que las máquinas operan las inspecciones se pueden realizar con la siguiente periodicidad:

- Semanal
- Mensual
- Trimestral
- Semestral
- Anual

Realizar este tipo de inspección no significa que el operador de la máquina deje de lado el control horario o diario del equipo asignado para su operación.

Inspecciones respecto al tipo de evaluación que se realice a las máquinas

Este tipo de inspección se divide en inspecciones externas e internas.

Inspecciones externas

Este tipo de inspección se basa en observaciones respecto a las condiciones externas en que encuentran las máquinas o equipos, como por ejemplo: fugas o escapes de aceite, combustible, aire, vapor, etc., estados de corrosión y estados de seguridad.

Inspecciones Internas

En este tipo de inspección se revisara los componentes internos de la máquina o equipo y para ello deben estar fuera de servicio.

Inspecciones respecto a los medios disponibles para realizar la inspección

Para realizar este tipo de inspección se debe determinar cuáles son los instrumentos con los que el departamento de mantenimiento cuenta para controlar el parámetro establecido previamente.

En caso de que no se cuente con la instrumentación necesaria para realizar la inspección se debe hacer uso de los sentidos, el objetivo debe ser buscar una señal de una falla inminente de manera que las tareas de mantenimiento se puedan planear, programar y completar minimizando la pérdida de tiempo y dinero que ello conlleva, sin embargo se debe tener presente que este tipo de análisis es subjetivo ya que depende de la persona que lo realiza.

Inspecciones respecto a la disponibilidad para realizar la inspección

Este tipo de inspección se puede realizar de dos formas:

- Máquina en funcionamiento
- Máquina fuera de servicio

Inspecciones respecto al grado de automatización de la máquina

Con respecto al grado de automatización de las máquinas o equipos las inspecciones se simplifican y la acción de la mano de obra disminuye, ya que para realizar la inspección se utilizan métodos de simulación computarizados.

Frecuencias de las inspecciones en el mantenimiento predictivo

Para determinar la frecuencia de las inspecciones en el mantenimiento predictivo se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- Analizar las frecuencias de las inspecciones detalladas en el manual de mantenimiento elaborado por el fabricante del equipo, y determinar si las mismas aún son aplicables respecto a las condiciones de servicio en las que la máquina o equipo se encuentra actualmente.
- En caso de que no exista los manuales de los fabricantes, se debe determinar las frecuencias de las inspecciones con respecto a máquinas similares con las que la empresa cuente.

- Las frecuencias de las inspecciones pueden ser determinadas también con respecto al grado de criticidad que la máquina o equipo tenga en el proceso productivo. Con respecto a este criterio los equipos se pueden clasificar en críticos, semicríticos y no críticos.

2.4. Métodos y Análisis para la Ejecución del Mantenimiento Predictivo.

En la sección 2.2 se indicó que practicar mantenimiento predictivo significa introducir en el servicio de mantenimiento inspecciones sistemáticas de los componentes de la máquina o equipo y que la efectividad del mantenimiento predictivo dependerá de la validez del diagnóstico, el cual a su vez depende del método o equipo utilizado para el control del parámetro, a continuación se detallan tres métodos y análisis para la ejecución del mantenimiento predictivo.

- Métodos Visuales
- Análisis de vibraciones
- Análisis de lubricantes

2.4.1. Métodos Visuales

Los métodos visuales consisten en un examen visual u ocular de las condiciones externas de la máquina o equipo, entre las principales se detalla las siguientes:

- Fugas o escapes de aceite
- Fugas o escapes de agua
- Fuga o escape de combustible
- Fuga o escape de aire comprimido
- Estado de corrosión o falta de pintura anticorrosiva
- Bandas o correas en mal estado
- Desajuste de tuercas o pernos
- Falta de guardas de protección
- Componentes defectuosos o faltantes
- Discontinuidades superficiales en los materiales de que se encuentran constituidas los componentes de las máquinas o equipos.

Las discontinuidades se producen generalmente por: tensiones mecánicas, esfuerzos de dimensionamiento, cambios de temperatura e impacto, entre otros factores.

2.4.2. Análisis de Vibraciones

El análisis de vibraciones es una técnica predictiva cuyo objetivo es hallar las causas de posibles fallas para de esta forma anticiparse a la avería de la máquina o equipo.

Esta técnica predictiva se centra en medir la vibración de la maquinaria industrial para de esta forma determinar si la misma está en un correcto estado de operación.

En el análisis de vibraciones se utilizan dos principios básicos, los cuales se detallan a continuación:

- Toda máquina en correcto estado de operación tiene un nivel de vibraciones y ruido asociados, el cual se lo considera como un patrón de referencia de la misma.
- Todo defecto mecánico que aparece en la máquina genera un incremento en el nivel de vibraciones asociado a la misma, por lo tanto al detectar este incremento de vibración se determina que la máquina no está operando correctamente.

Las vibraciones se generan en una máquina debido a tres causas.

- Causas inherentes a la operación de la máquina

- Defectos mecánicos
- Fuentes externas

Causas inherentes a la operación de la máquina

Estas causas corresponden al diseño propio de la máquina, es decir desbalance permitido y fuerzas inerciales desequilibradas permitidas.

Defectos mecánicos

Entre los defectos mecánicos más comunes se tiene los siguientes:

- El desbalanceamiento, es decir el desequilibrio de los elementos rotatorios
- Cojinetes en mal estado, en especial los de tipo antifricción, es decir, los rodamientos.
- El desalineamiento de los acoplamientos y cojinetes.
- Los engranajes en mal estado, debido a dientes que producen impacto, suciedad, interferencia y excentricidad en los mismos.

- Desajustes, fricciones y resonancia debido a pernos sueltos.
- Ejes torcidos.
- Bandas (correas) y cadenas de accionamiento en estado defectuoso.

Equipos en los que se utiliza el Análisis de Vibraciones

La técnica del análisis de vibraciones se utiliza para vigilar el rendimiento funcional de los equipos mecánicos que giran, realizan movimiento recíprocante o tienen otras acciones dinámicas, a continuación se detalla los principales:

- Cajas de engranes
- Rodamientos
- Motores
- Bombas
- Ventiladores
- Turbinas
- Transmisiones de banda o cadena
- Compresores

- Generadores
- Transportadores
- Máquinas reciprocantes
- Máquinas indexadoras

Severidad, Gravedad o Peligrosidad de una Vibración

La severidad de la vibración está determinada por las características de la vibración, es decir la frecuencia, desplazamiento, aceleración y el spike energy.

La severidad de la vibración indica o comunica que tan grave es un defecto mecánico en la máquina, por lo tanto se podrá planear y programar las acciones correctivas para evitar que una avería ocurra.

El análisis de la severidad de la vibración se puede realizar de dos formas:

- A partir de un histórico de datos
- A partir de gráficas de severidad de vibración

Histórico de datos

A partir de un histórico de datos de las características de la vibración, para cada uno de los elementos de la máquina que se estudia, se determina el valor medio, el cual refleja la normalidad de funcionamiento de los mismos. Por tanto desviaciones continuas o excesivas indicaran posibles fallos.

Gráficas de severidad de vibración

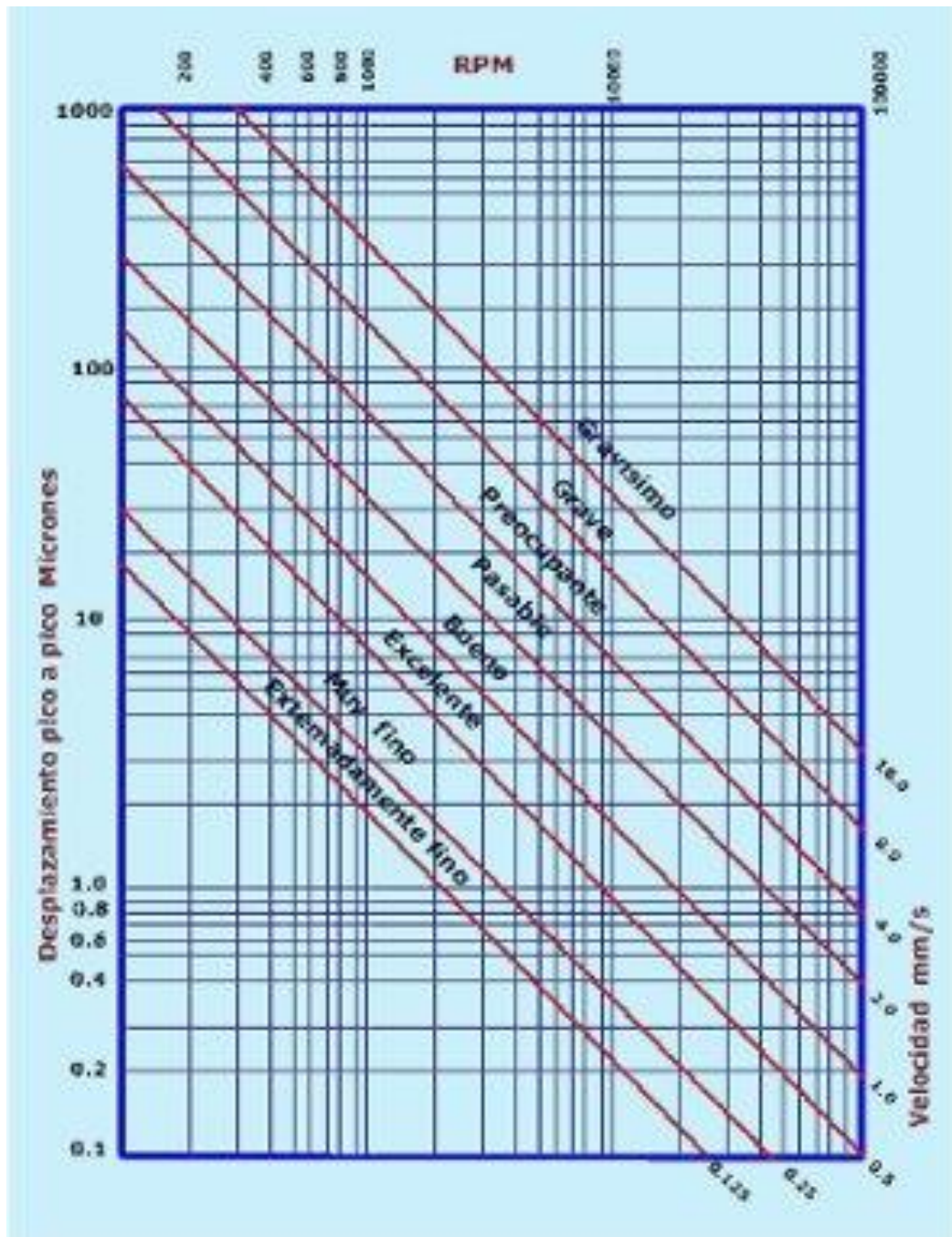
Cuando no se posee un histórico de datos para una máquina, se han utilizado determinados estudios para el análisis de la severidad de la vibración, a continuación se detalla los principales con el paso del tiempo.

- Carta de Rathbone
- Norma ISO 2372/2373 - 1974. Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operación entre 100 y 200 rev/s. La ISO 2373 constituye una adaptación especial de la ISO 2372 para motores eléctricos, y se aplica a motores de corriente alterna trifásica y a motores de corriente continua con alturas de eje entre 80 y 400 mm.
- Norma ISO 10816 – 1995. Vibración mecánica – Evaluación de la vibración en una máquina mediante

medidas en partes no rotativas. Reemplaza a la ISO 2372 e ISO 3945.

Carta de Rathbone

Es una guía, no es una norma, es de amplia aceptación industrial, se la desarrolló en los años 30. Se puede visualizar en la carta, como se muestra en la Figura 2.3, una escala logarítmica frecuencial en hercios o rpm y de una logarítmica de amplitudes en desplazamientos (pico o pico-pico) y en velocidad, mediante las cuales se puede determinar directamente la severidad de la vibración.



Fuente: Organización del mantenimiento industrial. Autor: Ing. Ángel Vargas.

FIGURA 2.3 CARTA DE RATHBONE

Limitaciones de la carta de rathbone

- No tiene en cuenta el tipo de máquina, la potencia y la rigidez de los anclajes.
- Solo se aplica a equipos rotativos, no a los alternativos u otros sistemas industriales.
- Fue creada para máquinas de baja velocidad y en la actualidad se encuentra obsoleta.

Norma ISO 2372. Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operación entre 100 y 200 rev/s.

Las características más relevantes de la norma ISO 2372 son:

- Se aplica a equipos rotativos cuya velocidad de giro está entre 600 – 12000 rpm.
- Los datos que se necesitan para su aplicación son el nivel global de vibración en velocidad, valor eficaz RMS en un rango de frecuencia entre 10 y 1000 Hz, para los que se distingue varias clases de equipos rotativo, como se observa en la Tabla 1.

TABLA 1
CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS EN ISO 2372

Clase	Descripción
Clase I	Equipos pequeños hasta 15 KW
Clase II	Equipos medios, de 15 a 75 KW, o hasta 300 KW con cimentación especial
Clase III	Equipos grandes, por encima de 75 KW con cimentación rígida o hasta 300 KW con cimentación especial
Clase IV	Turbo maquinaria, equipos con rpm mayor a la velocidad crítica

Fuente: Norma ISO 2372 Autor: ISO

Para utilizar la norma ISO 2372 se debe clasificar la máquina de estudio en base a la Tabla 1, posteriormente se debe medir la característica de la vibración, correspondiente para frecuencias entre 600 y 60000 CPM, es decir la velocidad, una vez obtenido este valor se determina, según la Tabla 2, la severidad de la vibración.

TABLA 2
SEVERIDAD DE LA VIBRACIÓN EN ISO 2372

Velocidad (mm/s, rms)	Tipos de máquinas			
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
0,18 a 0,28	A			
0,28 a 0,45				
0,45 a 0,71				
0,71 a 1,12				
1,12 a 1,8	B		D	
1,8 a 2,8				
2,8 a 4,5	C			
4,5 a 7,1				
7,1 a 11,2	D			
11,2 a 18				
18 a 28	D			

A	Buena	C	Inatisfactoria
B	Satisfactoria	D	Inaceptable

Fuente: Norma ISO 2372 Autor: ISO

Norma ISO 10816. Vibración mecánica – Evaluación de la vibración en una máquina mediante medidas en partes no rotativas. Reemplaza a la ISO 2372 e ISO 3945.

Esta norma establece condiciones y procedimientos generales para medir y evaluar la vibración, para ello realiza mediciones en partes no rotativas de la máquina.

La norma consta de las siguientes 5 partes:

- Parte 1: Indicaciones generales

- Parte 2: Turbinas de vapor y generadores que superen los 50 MW, con velocidades típicas de trabajo de 1500, 1800, 3000 y 3600 RPM.
- Parte 3: Maquinaria industrial con potencia nominal por encima de 15 KW y velocidades entre 120 y 15000 RPM.
- Parte 4: Conjuntos movidos por turbinas de gas excluyendo las utilizadas en aeronáuticas.
- Parte 5: Conjunto de máquinas en plantas de hidrogenación y bombeo.

Las características relevantes de la norma ISO 10816

- Evalúa la severidad de la vibración de maquinaria rotativa a través de mediciones efectuadas en partes no giratorias de la misma.
- Solo se aplica a vibraciones producidas por la misma máquina, y no para vibraciones que se transmiten a la máquina desde fuentes externas.
- Se aplican a un conjunto de máquinas con potencia superior a los 15 KW y velocidad entre los 120 y 15000 RPM.

- El valor eficaz (RMS) de la velocidad de la vibración se usa para determinar la condición de la máquina.
- Engloba y amplía los estándares de la ISO 2372 e ISO 3945.

La severidad de la vibración de acuerdo a ISO 10816

Se clasifica en base a los siguientes parámetros:

- Tipo de máquina
- Potencia o altura de eje
- Flexibilidad de soporte

Clasificación de acuerdo al tipo de máquina, potencia o altura del eje

Las importantes diferencias en el diseño, tipo de descanso y estructura de soporte de las máquinas, implican la necesidad de una clasificación en grupos. Las máquinas según estos grupos pueden tener eje horizontal, vertical o inclinado y adicional pueden estar montados en soportes flexibles o rígidos, en la Tabla 3 se presenta esta clasificación.

TABLA 3
CLASIFICACIÓN DE MÁQUINAS EN ISO 10816

Grupo 1	Máquinas rotatorias grandes con potencia superior 300 Kw, máquinas eléctricas con altura de eje $H \geq 315$ mm.
Grupo 2	Máquinas rotatorias medianas con potencia entre 15 y 300 Kw, máquinas eléctricas con altura de eje $160 \leq H \leq 315$ mm.
Grupo 3	Bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor separado (flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia superior a 15 Kw
Grupo 4	Bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor integrado (flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia superior a 15 Kw

Fuente: Norma ISO 10186 Autor: ISO

Clasificación según la flexibilidad del soporte

Los sistemas soportes pueden ser rígidos o flexibles, a continuación se detalla las características que los definen:

- Un sistema soporte se considera rígido cuando la primera frecuencia natural del sistema máquina – soporte en la dirección de la medición es mayor que su frecuencia principal de excitación (en la mayoría de los casos es la frecuencia de rotación) en al menos un 25%.

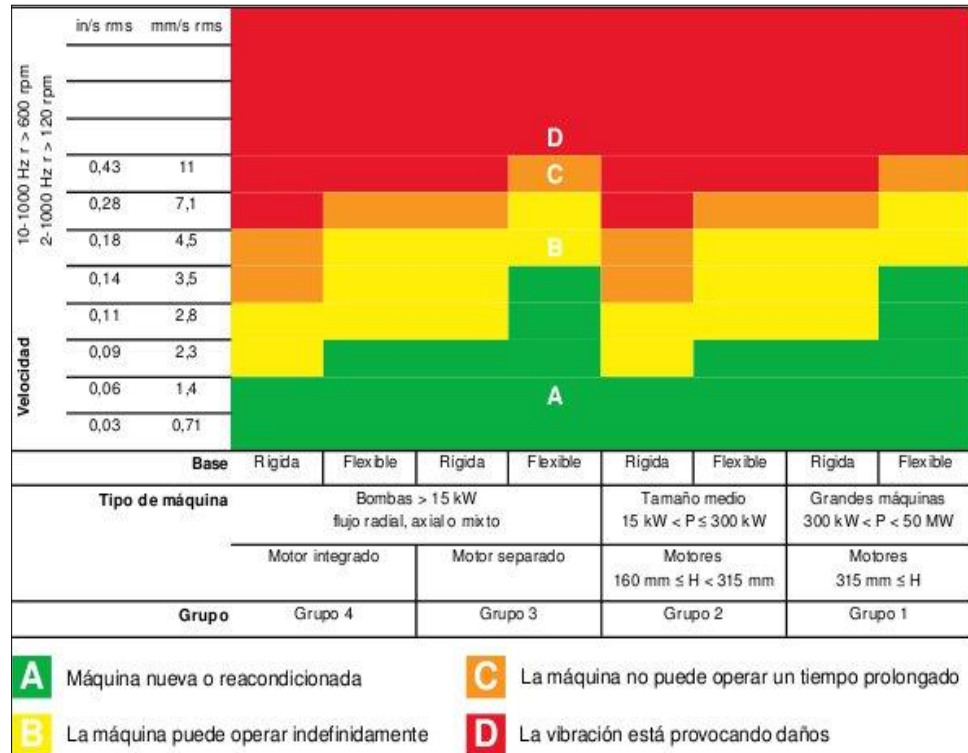
- Los sistemas soporte se consideran flexibles cuando no se considera rígido.

Evaluación de la severidad de la vibración en ISO 10816

- **Zona A:** Valores de vibración de máquinas recién puestas en funcionamiento o reacondicionadas.
- **Zona B:** Máquinas que pueden funcionar indefinidamente sin restricciones.
- **Zona C:** La condición de la máquina no es adecuada para una operación continua, sino solamente para un período de tiempo limitado. Se deberían llevar a cabo medidas correctivas en la siguiente parada programada.
- **Zona D:** Los valores de vibración son peligrosos, la máquina puede sufrir daños.

Para utilizar la norma ISO 2372 se debe clasificar la máquina de estudio en base a los grupos detallados en la Tabla 3 y a la flexibilidad del soporte, posteriormente se mide la velocidad de la vibración, una vez obtenido este valor se determina según la Tabla 4 la severidad de la vibración.

TABLA 4
SEVERIDAD DE LA VIBRACIÓN EN ISO 10816



Fuente: Norma ISO 10186

Autor: ISO

2.4.3. Análisis de lubricantes

El análisis de lubricante como técnica predictiva permite detectar lo siguiente:

- Pérdida de las propiedades del lubricante
- Existencia de partículas metálicas en el lubricante

Por tanto se puede decir que existen dos tipos de análisis:

- Análisis general, donde se revisan las propiedades de la viscosidad, punto de inflamación, número de neutralización, etc.
- Análisis espectrográfico, el cual permite determinar si existen partículas metálicas de desgaste en el lubricante.

Con el conocimiento del material con el que están fabricadas las piezas internas de una máquina, se puede determinar cuales se están desgastando en caso de que haya presencia de partículas metálicas en el lubricante, detectadas por el análisis espectrográfico.

2.4.4. Instrumentos Portátiles para la Medición de Variables Eléctricas

Este tipo de instrumentos sirven por lo general para detectar fallas, comprobarlas o predecirlas.

En la operación industrial es un hecho la utilización de máquinas que de una u otra forma son impulsadas por motores eléctricos, por tanto se hace imperiosamente necesario contar con los siguientes instrumentos para la medición de variables eléctricas

- Megóhmetros

- Multímetros
- Instrumentos de gancho, amperímetro.
- Instrumentos de corriente alterna de multi-rango

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE LAS MÁQUINAS REJILLADORAS

En el presente capítulo se analiza la condición de cada uno de los componentes principales de las máquinas y la gestión de mantenimiento sobre las mismas.

3.1. Descripción del proceso de producción de rejillas.

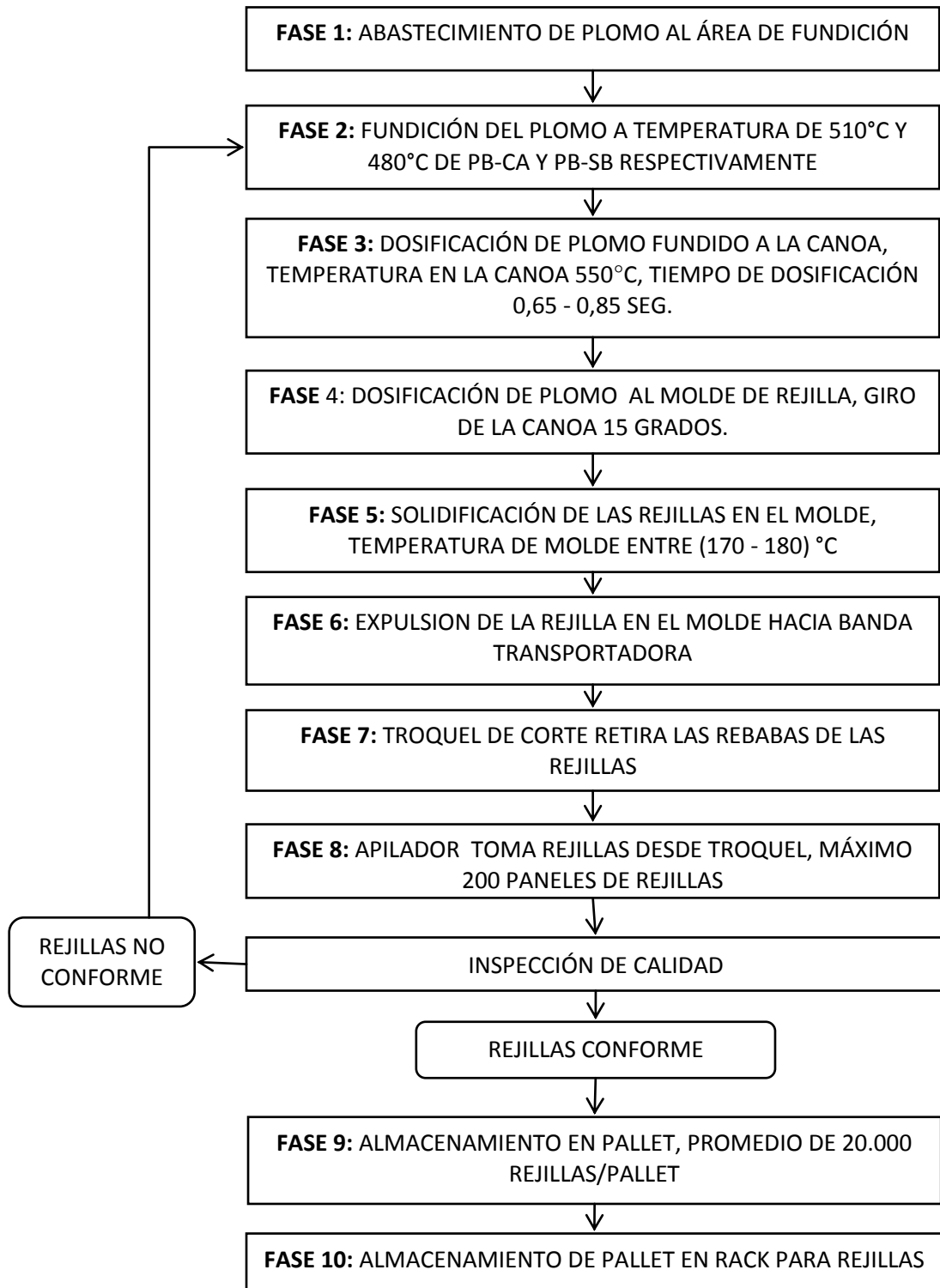
El área de fundición de rejillas donde se encuentran ubicadas las máquinas rejilladoras inyectoras ha sufrido cambios con el paso del tiempo, por lo que la misma luce diferente a lo que fue en sus comienzos, entre los principales se encuentran la adición de nuevas máquinas y adecuación de las instalaciones para las mismas, todo esto debido al incremento en la demanda a lo largo de los años.

La adición de las máquinas rejilladoras con el paso del tiempo ha implicado que el área de fundición se expanda, debido a, que para

el funcionamiento de las mismas se debió instalar un crisol para la fundición del plomo, un chiller para el enfriamiento de los moldes en las máquinas, un sistema de extracción de gases de combustión, entre los principales equipos que por su estructura ocupan un espacio mayor e implican la expansión del área.

El área de fundición se encuentra ubicada en el extremo de la fábrica, tiene 2 puertas de ingreso, una que permite el ingreso de los montacargas para el abastecimiento de los lingotes de plomo a los crisoles de fundición desde la bodega de materiales ubicada en el patio y la otra para el ingreso del personal operativo.

El proceso de producción de rejillas en el área de fundición puede ser descrito en diez fases, tal como se presenta en la Figura 3.1.



Autor: Sócrates Ramírez T.

FIGURA 3.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE REJILLAS

A continuación se detalla cada una de las 10 fases en el proceso de producción de rejillas.

Primera fase

Consiste en el abastecimiento de los lingotes de plomo al área de fundición.

Un montacargas debe llevar desde la bodega de materiales los lingotes de plomo de la aleación que corresponda y ubicarlos en mesas de abastecimiento colocadas junto al crisol.

Segunda fase

Consiste en el ingreso de los lingotes de plomo al crisol.

El operador de las máquinas debe ingresar al crisol los lingotes de plomo, manualmente a través de un riel, desde la mesa de abastecimiento, la cantidad de lingotes de plomo que se debe ingresar dependerá de la percepción del operador con respecto al nivel de plomo en el crisol, la fundición de los lingotes de plomo ocurre a una temperatura de 510°C y 480°C para las aleaciones pb-ca y pb-sb respectivamente.

Tercera fase

Consiste en la dosificación del plomo fundido en el crisol hacia un recipiente de abastecimiento de plomo que se le conoce como canoa, ubicado en la máquina rejilladora.

A través de una bomba, ubicada a una altura media del crisol e impulsada por un motor eléctrico a través de un sistema de banda, se debe dosificar el plomo fundido a la canoa. La dosificación del plomo a la canoa depende de un sistema de leva, el cual a través de un microswitch activa el pistón de dosificación que abre el paso desde los tubos de alimentación de plomo hacia la canoa. El tiempo que permanece abierto el paso de plomo es controlado por un dispositivo eléctrico llamado reloj de dosificación, el rango de trabajo es de 0.65 – 0,85 segundos.

El sistema de leva es impulsado por un motor eléctrico a través de una caja reductora y engranes, los cuales están ubicados en la parte inferior de la máquina rejilladora.

La falta de limpieza de la escoria en el crisol, generada por la fundición del plomo, implica que la misma ingrese a la bomba, dañándola, lo que conlleva que se produzca rejillas no conformes ya

que el plomo dosificado al molde está contaminado, generando porosidad en la rejilla lo que la vuelve frágil y quebradiza y taponamiento de los tubos de alimentación de la bomba a la canoa. En las Figuras 3.2, 3.3 y 3.4 se puede observar el crisol con exceso de escoria, el daño de una bomba y el taponamiento de los tubos de alimentación respectivamente.



FIGURA 3.2 CRISOL CON EXCESO DE ESCORIA



FIGURA 3.3 DAÑO DE IMPULSOR DE BOMBA POR CONTAMINACIÓN DE ESCORIA



FIGURA 3.4 TAPONAMIENTO DE TUBOS DE ALIMENTACIÓN

La falta de lubricación de los rodamientos de la bomba implica que se dañen con una mayor frecuencia, en la Figura 3.5 se presenta esta situación, actualmente se están cambiando 1 por mes, el tiempo de vida útil es de 3 meses aproximadamente.



FIGURA 3.5 DAÑO DE RODAMIENTO POR FALTA DE LUBRICACIÓN

Cuarta fase

Consiste en la dosificación de plomo desde la canoa hacia el molde de rejilla ubicado en la máquina rejilladora inyectora.

La canoa gira 15 grados y dosifica el plomo al molde, el giro de la canoa está determinado por un sistema de leva que activa un mecanismo de resorte para realizar el giro de la canoa, la leva es impulsada por el motor eléctrico de la máquina a través de un reductor y engranes, ubicados en la parte inferior de la misma.

En esta fase existe generalmente goteo de plomo desde la canoa hacia el molde lo que provoca que los hilos de la rejilla no se formen completamente debido que el molde está contaminado por el goteo. El goteo ocurre debido a que la canoa y la barra que sella la dosificación de plomo se deforma por lo que se debe rectificarlas actualmente de 1 a 2 veces por semana. En la Figura 3.6 se puede observar el problema de goteo.

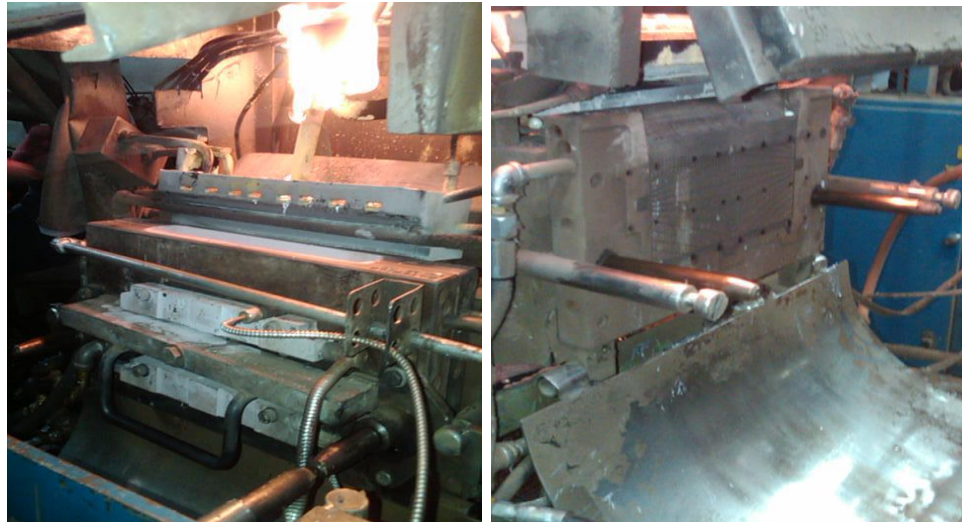


FIGURA 3.6 CANOA CON GOTEO DE PLOMO Y MOLDE CONTAMINADO.

Quinta fase

Consiste en la solidificación del plomo en el molde de rejilla.

El molde de rejilla está formado por dos caras, una fija y la otra móvil, al unirse ambas caras se vierte el plomo desde la canoa hacia el molde. En la parte superior e inferior de cada cara del molde están ubicadas dos resistencias, las cuales mantienen al molde en una temperatura media de 175°C. El molde tiene un sistema de enfriamiento en su parte interna, el cual utiliza un chiller que envía agua hacia el molde para extraer el calor y solidificar el plomo vertido en el mismo y así fabricar la rejilla.

En esta fase ocurre principalmente taponamiento en los ductos de enfriamiento al interior del molde, debido a la dureza del agua utilizada en el enfriamiento de los mismos, esto provoca que los hilos en la rejilla no se formen completamente ya que la transferencia de calor no ocurre de manera eficiente por el taponamiento de los ductos. En la Figura 3.7 se muestra un molde con ductos taponados.



FIGURA 3.7 MOLDE CON DUCTOS TAPONADOS

Sexta fase

Consiste en la salida de la rejilla del molde hacia una banda transportadora ubicada en la máquina rejilladora inyectora.

La rejilla solidificada es impulsada por unos dispositivos denominados botadores para luego caer por gravedad a la banda transportadora. Los botadores están ubicados en la parte interna del molde fijo y son activados por una electroválvula la cual deja pasar aire comprimido para activar un pistón que impulsa los botadores, la electroválvula y el pistón están ubicados en la parte posterior del molde fijo.

La electroválvula al mismo tiempo que activa el pistón de los botadores, activa otro pistón que impulsa la parte móvil del molde, el cual se abre para que la rejilla pueda caer por gravedad a la banda transportadora una vez activado los botadores.

En esta fase ocurre generalmente el daño de los botadores del molde debido a la falta de limpieza y lubricación, lo que implica que la rejilla no sea expulsada correctamente del molde. En la Figura 3.8 se presenta el daño de botadores.



FIGURA 3.8 DAÑO DE BOTADORES

Séptima fase

Esta fase consiste en el paso de la rejilla desde la banda transportadora hacia el sistema de corte.

La rejilla al salir del molde no sale con la forma original puesto que tiene exceso de plomo en el marco de la misma, producto del proceso de solidificación en el interior del molde. Por tanto la rejilla debe pasar un por un sistema de corte con cuchilla, ubicado en la parte delantera de la máquina, el cual elimina el exceso de plomo en el marco y le da la forma final.

El sistema de corte es activado por una electroválvula que permite el paso de aire comprimido hacia un pistón que mueve la cuchilla para realizar el respectivo corte.

En esta fase ocurre el enredamiento de las rejillas siempre que las mismas lleguen viradas desde la banda transportadora, los botadores en mal estado es causa directa de este problema. En la Figura 3.9 se puede evidenciar el paso de la rejilla por el sistema de corte.



FIGURA 3.9 PASO DE REJILLA POR EL SISTEMA DE CORTE

Octava fase

Consiste en el paso de la rejilla desde el sistema de corte hacia un plato receptor de rejillas.

Al plato recibidor llegan las rejillas desde el sistema de corte a través de unas uñas abatibles que toman las rejillas y las colocan en el plato recibidor de manera vertical en donde se acumulan hasta un total de 200 rejillas.

Las uñas abatibles del plato recibidor funcionan con un sistema de engrane el cual esta acoplado a través de un reductor al motor eléctrico de la máquina.

Las rejillas acumuladas en el plato recibidor se les debe realizar un control de calidad en donde se determina si las mismas están quebradizas, en caso de que se quiebren con facilidad se las rechaza, también se las debe pesar y comparar con el formato de control de peso de la rejilla para determinar si se encuentra dentro de los límites permitidos, en caso de que presente sobrepeso también se las debe rechazar. Los controles de calidad los realiza el operador de la máquina en conjunto con el inspector de calidad de la fábrica.

Esta fase generalmente se ve afectada por la situación de enredamiento de rejillas en el sistema de corte, ya que no se pueden pasar al plato recibidor, como se mencionó en la fase

anterior la causa directa es un mal estado de los botadores en el molde fijo.

Novena Fase

Consiste en el paso de las rejillas desde el plato receptor hacia un pallet.

Las rejillas en el plato receptor que hayan pasado los controles de calidad son colocadas por el operador en un pallet, ubicado en el piso en la parte frontal de la máquina, la cantidad de rejillas que se colocan es de 20,000 rejillas en promedio, lo cual depende del tipo de rejilla a fabricar, el pallet está formado por cuatro pisos los cuales están divididos por planchas de plywood.

Décima fase

Consiste en el paso del pallet de rejillas desde el área de fundición hasta los racks de stocks de rejillas.

Una vez se ha completado la cantidad de rejillas en el pallet un montacargas lo recoge y lo coloca en los racks de stocks para que pueden ser utilizadas en la siguiente etapa del proceso de producción de baterías.

Reutilización de producto no conforme

Es importante mencionar la reutilización del producto no conforme y desperdicios que genera el proceso, a continuación se detalla.

En la fase donde la rejilla pasa por el sistema de corte de la máquina, se genera desperdicio producto del corte que elimina el exceso de plomo en el marco de la rejilla, este desperdicio cae por gravedad a una banda transportadora, que se denomina banda de desperdicio, que lo lleva de regreso al crisol para ser reutilizado.

En la fase de enredamiento de rejillas en el plato receptor, las mismas caen a una bandeja en donde se las acumula y el operador las coloca manualmente en la banda de desperdicios para que regresen al crisol y puedan ser reutilizadas.

De la misma forma las rejillas que no pasan los controles de calidad son colocadas manualmente en la banda de desperdicios para que regresen al crisol y se puedan reutilizar.

Descripción de la máquina rejilladora

Para el presente estudio se utilizó la máquina rejilladora modelo 40C, cuyo fabricante es la Wirtz Manufacturing Company, Inc.

Definición

La rejilladora es una máquina inyectora que produce rejillas, a través del proceso de fundición de aleaciones de plomo – calcio y plomo – antimonio.

Especificaciones generales

Las especificaciones generales de la máquina rejilladora son las siguientes:

- Variador de velocidad de 8 a 18 ciclos por minuto.
- Capacidad para la producción de paneles de rejillas desde 108 mm hasta 161 mm en lo alto y 187 mm hasta 346 mm en lo ancho.
- Sistema eléctrico estándar de 240 voltios, 3 fases, 60 Hertz.
- Panel de control eléctrico de 60 amps., contactores magnéticos y circuito de control de 110 voltios.
- Consola de control eléctrico con pulsador y controles selectores, luces de marcha, controladores de temperatura y temporizador para dosificación de plomo.
- Control electrónico de la electroválvula para la dosificación de plomo desde la válvula de dosificación hacia la canoa y desde la canoa hacia el molde.
- Filtro de aire, regulador y lubricador para el sistema de aire.
- Tubería interna para gas, aire y agua.

- Banda transportadora para chatarra.
- Contador de rejillas.

Requerimientos de energía

Los requerimientos de energía de la máquina rejilladora son los siguientes:

- Para el agua de refrigeración, la temperatura de la fuente debe ser máximo 24 grados centígrados, volumen de 225 litros/hora, presión mínima de 20 psi, presión máxima de 80 psi.
- Para el sistema de aire, el volumen óptimo es de 14 CFM y un máximo de 48 CFM, presión mínima de 80 psi, presión máxima de 100 psi.
- Para el combustible, presión mínima 5" WC, presión máxima 14" WC, gas natural 1000 BTU/CuFt y volumen 25 CFH, propano 2500 BTU/CuFt y volumen 10 CFH.
- Ventilación 760 CFM.
- Para la energía eléctrica, 460 voltios, 60 Hertz y 3 fases

En la Figura 3.10 se puede observar la máquina rejilladora modelo 40C.

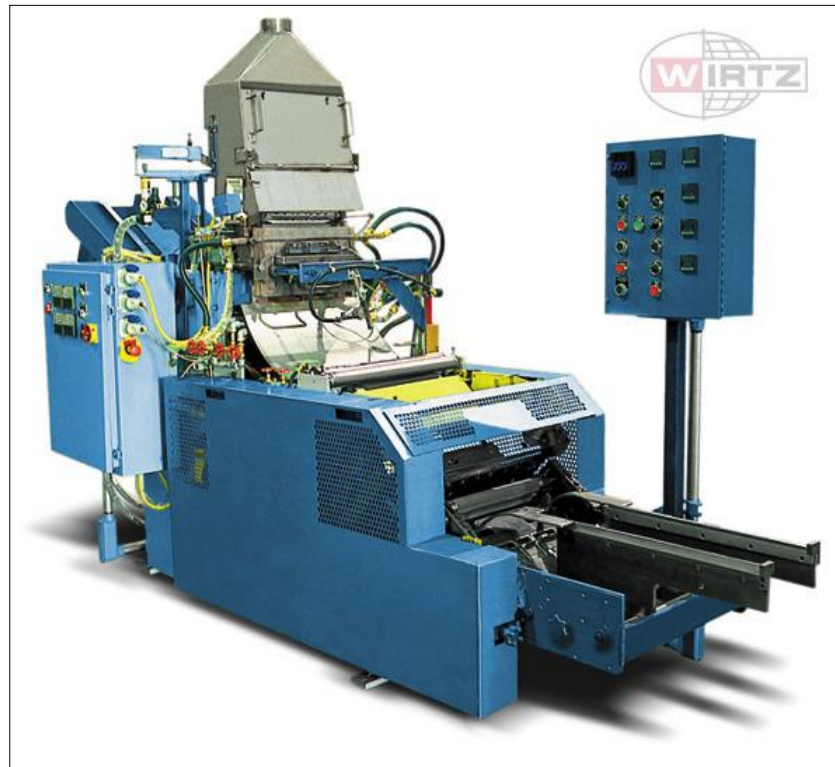


FIGURA 3.10 MÁQUINA REJILLADORA INYECTORA MODELO 40C

Componentes principales

Los componentes principales en una máquina rejilladora inyectora se detallan a continuación:

- Bomba centrífuga
- Línea de alimentación
- Sistema de dosificación
- Canoa
- Molde de rejilla

- Motor eléctrico
- Sistema de Transmisión
- Banda transportadora de rejillas
- Sistema de corte
- Banda transportadora de desperdicios
- Apilador de Rejillas

Bomba centrífuga

Las características principales son las siguientes:

- Potencia: 1 HP
- Velocidad de giro: 3600 rpm
- Diámetro de eje: 7/8 pulgadas
- Sumergible

La bomba está sumergida en el interior del crisol, el motor esta fuera del crisol, y la potencia eléctrica del motor se transmite al eje de la bomba por medio de una banda y polea, para controlar los esfuerzos radiales y axiales se coloca un rodamiento en el eje de la bomba. En la Figura 3.11 se presenta la bomba centrífuga.



FIGURA 3.11 BOMBA CENTRIFUGA

Línea de alimentación

- Diámetro de la tubería: $\frac{1}{2}$ pulgada
- Sistema de calentamiento: 3 Resistencias, 1 en la parte posterior con potencia de 4000 W y 2 en la parte delantera con potencia de 3000 W y 1500 W respectivamente, cada una con su respectiva termocupla.
- Temperatura: 540°C
- Aislante: fibra de vidrio

A través de la línea de alimentación se bombea el plomo desde el crisol hasta la canoa, la temperatura en el crisol es de 510°C y la temperatura en la línea de alimentación generada por las resistencias debe ser 540°C , puesto que través de la línea hay pérdidas de energía.

Para censar la temperatura en la línea de alimentación se coloca termocuplas junto con las resistencias, la temperatura censada se la visualiza en el tablero de control de la máquina.

La línea de alimentación tiene un tramo vertical, el cual sale del crisol, y un tramo horizontal el cual llega al sistema de dosificación, en el tramo vertical se coloca una resistencia de potencia igual a 3000 W y en el tramo horizontal se colocan las otras dos, con potencia de 4000 W y 1500 W respectivamente. En la Figura 3.12 se puede observar la línea de alimentación.



FIGURA 3.12 LINEA DE ALIMENTACIÓN

Sistema de dosificación

Está formado por las siguientes partes:

- Portavaso
- Válvula
- Vaso
- Bola cerámica
- Pistón de dosificación
- Reloj dosificador

El portavaso y el vaso son de acero inoxidable 310, la bola como su nombre lo indica es de cerámica y va dentro del vaso. En las

Figuras 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17 y 3.18 se pueden observar las partes del sistema de dosificación.

El portavaso recubre el vaso, para evitar que se genere escoria en el mismo, dentro del vaso se coloca la bola cerámica la cual permite la salida de plomo del vaso.

Una leva en el sistema de transmisión acciona la dosificación de plomo, lo hace al activar un pistón de dosificación que desplaza verticalmente el vaso lo que provoca que la bola cerámica se desplace y permita la salida de plomo a la canoa.

El tiempo que dura la dosificación de plomo a la canoa se controla con un dispositivo eléctrico denominado reloj dosificador, el cual es fijado dependiendo el tipo de rejilla que se está produciendo, el rango del tiempo que se fija en el reloj se encuentra entre 0.65 – 0.85 segundos.



FIGURA 3.13 PORTAVASO



FIGURA 3.14 VÁLVULA DE DOSIFICACIÓN



FIGURA 3.15 VASO



FIGURA 3.16 BOLA CERÁMICA



FIGURA 3.17 PISTÓN DE DOSIFICACIÓN



FIGURA 3.18 RELOJ DE DOSIFICACIÓN

Canoa

- Material: Acero inoxidable 310
- Sistema de calentamiento: 1 resistencia sumergible de potencia igual a 3500 W, con su respectiva termocupla.
- Temperatura: 550°C

La canoa mantiene un nivel de plomo en su interior, dentro de la canoa se coloca una resistencia la cual mantiene el plomo a una temperatura 550°C, junto con la resistencia se coloca una termocupla la cual densa y controla la temperatura.

La canoa en la parte superior es abierta al ambiente, por lo que la escoria que se genera en la misma debe ser retirada dos veces cada 8 horas de operación de la máquina.

La canoa vierte el plomo al molde por medio del accionamiento de un sistema de resorte el cual la gira 15 grados permitiendo que el plomo se vierta en el molde, el resorte es activado por una leva la cual esta acoplado al sistema de engrane de la máquina. En las

Figuras 3.19 y 3.20 se puede observar la canoa y la barra de sellado.



FIGURA 3.19 CANOA



FIGURA 3.20 BARRA DE SELLADO DE CANOA

Molde de rejilla

Está formado por dos partes, una fija y otra móvil, al juntarse las dos forman el molde de la rejilla.

El sistema de calentamiento del molde está formado por cuatro resistencias de potencia igual a 1380 W, una en el segmento superior e inferior de cada parte del molde, con su respectiva termocupla. La temperatura en las resistencias debe estar entre 170 - 180°C.

El sistema de enfriamiento del molde está formado por un chiller, el sistema de control de enfriamiento, denotado en inglés como cooling control system y representado por las letras CCS y una bomba. El chiller enfría el agua a 8°C, el CCS controla la temperatura interna del molde y la bomba hace circular el agua a través de las ranuras en el interior del molde para mantener este a una temperatura entre 30 - 35°C durante la operación de la máquina, luego el ciclo de repite constantemente. En las Figuras 3.21 y 3.22 se puede observar el molde y el sistema de enfriamiento respectivamente.



FIGURA 3.21 MOLDE DE REJILLA, FIJO (A) Y MÓVIL (B)



**FIGURA 3.22 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL MOLDE
(CHILLER Y CCS)**

Motor eléctrico

- Potencia: 1 HP
- Velocidad de giro: 1750 rpm

En la Figura 3.23 se presenta el motor eléctrico.



FIGURA 3.23 MOTOR ELÉCTRICO

Sistema de transmisión

- Motor reductor: relación de velocidad 1/30.
- Engranés

El sistema de transmisión de engranes permite el accionamiento de las bandas, las levas, los rodillos, el sistema de corte y el apilador de rejillas.

En la Figura 3.24 se presenta el reductor y el sistema de engranes.



FIGURA 3.24 REDUCTOR Y ENGRANES

Banda transportadora de rejillas

La banda transportadora de rejillas es impulsada por el sistema de engranes a través de los rodillos en la misma.

En la Figura 3.25 se muestra la banda transportadora.



FIGURA 3.25 BANDA TRANSPORTADORA DE REJILLAS

Sistema de corte

El sistema de corte es un troquel, el cual corta con una cuchilla el exceso de plomo en el marco de la rejilla, este es accionado por el sistema de engranes de la máquina. En la Figura 3.26 se puede observar el troquel.

La cuchilla del troquel debe estar en constante enfriamiento, por lo que el chiller hace circular agua a 8°C para el enfriamiento de la misma.



FIGURA 3.26 TROQUEL

Banda transportadora de desperdicios

La banda transportadora de desperdicios es impulsada, al igual que la banda para las rejillas, por el sistema de engranes a través de unos rodillos en la misma. En la Figura 3.27 se puede observar la banda transportadora de desperdicios

Los desperdicios que se generan en el corte son enviados al crisol para ser reutilizados.



FIGURA 3.27 BANDA TRANSPORTADORA DE DESPERDICIOS

Apilador de rejillas

El apilador de rejillas es un mecanismo que está formado por unas uñas y un receptor, las uñas se abaten 45 grados para tomar las rejillas del sistema de corte las cuales son colocadas de manera vertical en el receptor de rejillas.

El apilador es accionado por el sistema de engrane de la máquina.

En la Figura 3.28 se muestra el apilador de rejillas.



FIGURA 3.28 APILADOR DE REJILLAS

3.2. Condiciones Actuales del Servicio de Mantenimiento Aplicado en las Máquinas Rejilladoras.

La gestión del departamento de mantenimiento en las máquinas rejilladoras está dividida de la siguiente forma, servicio eléctrico y mecánico, los cuales son realizados por el personal propio del departamento. En caso de que la situación lo amerite, es decir cuando la falla no puede ser corregida, debido a la complejidad o falta de personal, se contrata el servicio externo de compañías especializadas en mantenimiento industrial.

El mantenimiento que actualmente se realiza en las máquinas rejilladoras es en una parte correctivo, pero en una mayor parte lo

que se realiza son reparaciones. Por tal razón la jefatura de mantenimiento quiere dar un nuevo enfoque a la gestión de mantenimiento, dando inicio a los procedimientos de mantenimiento preventivo y predictivo.

3.2.1. Actividades de Mantenimiento Realizadas Actualmente

En la actualidad las actividades de mantenimiento que se realizan sobre las máquinas rejilladoras son de lubricación y limpieza, se realizan también en parte actividades correctivas, pero en su mayor parte son reparaciones.

Cuando se realizan actividades correctivas o de reparaciones, no hay un control, seguimiento y registro de las mismas en una bitácora del departamento de mantenimiento, por lo que el personal del turno siguiente desconoce oficialmente cuales han sido las acciones realizadas para corregir o reparar la avería. Lo que se utiliza es una comunicación verbal entre el personal de mantenimiento en el cambio de turno y vía mail entre el departamento de producción y de mantenimiento, en donde los supervisores de producción indican los tiempos de paro de la máquinas reportados por el operador de la misma.

En el caso de la comunicación verbal en el cambio de turno, la información que se transmite entre el personal es proporcionada de manera general y no detallada, lo que no permite que las actividades se realicen de manera continua, lo que implica aumento del tiempo en que la máquina no está disponible para producción, ya que el personal del turno entrante debe realizar revisiones y tareas que ya fueron realizadas anteriormente hasta que se conozca y entienda de manera detallada el tipo de falla que ha incurrido la máquina.

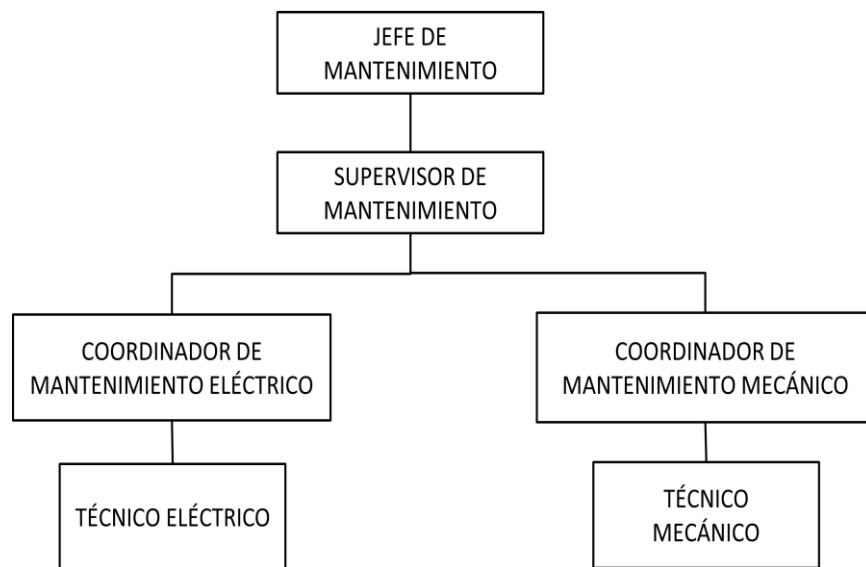
En el caso de la comunicación vía mail entre el departamento de producción y mantenimiento, ocurre también un traspaso de información genérico ya que no se detalla el tipo de falla y las actividades de corrección o de reparaciones realizadas para solucionar la avería, al igual que en el caso anterior esto implica reproceso y retrabajos hasta conocer y comprender la falla en que la máquina ha incurrido, disminuyendo la disponibilidad para producción de la máquina.

Las actividades de mantenimiento en su mayor parte se las realiza el día domingo junto con el personal operativo y de mantenimiento que se registren para laborar sobre tiempo, esto no garantiza que el personal más capacitado y de mayor

experiencia en la operación de la máquina asista ese día, por lo que las actividades de mantenimiento a realizar no se hacen de manera correcta, lo que implica que la falla vuelva a presentarse nuevamente.

Departamento de mantenimiento

En la Figura 3.29 se presenta el organigrama del departamento de mantenimiento.



Autor: Sócrates Ramírez

FIGURA 3.29 ORGANIGRAMA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

A continuación se describe las funciones para cada uno de los cargos en el organigrama.

Jefe de mantenimiento

- Velar por el normal funcionamiento de las máquinas e instalaciones, para lograr la máxima disponibilidad de las mismas para producción, en el ciclo de vida para el cual fueron diseñadas.
- Planificación de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo en el corto y largo plazo, con respecto a la disponibilidad de las máquinas.
- Formulación y evaluación de proyectos para mejoras en las máquinas e instalaciones de la fábrica.
- Contratación de personal externo para la realización de trabajos que por complejidad o magnitud no pueden ser realizados con los recursos propios del departamento.

Supervisor de mantenimiento

- Asegurar el cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo y correctivo.
- Coordinar con el departamento de materiales la adquisición de repuestos, herramientas e insumos necesarios para la ejecución de las actividades de mantenimiento.

- Controlar, registrar y dar seguimiento a las actividades realizadas por los contratistas y velar por el cumplimiento de los tiempos de entrega para cada uno de los trabajos.
- Atender los requerimientos y problemas del departamento de producción.

Coordinador de mantenimiento

- Organizar el personal técnico para la ejecución de las actividades de mantenimiento preventivo, correctivo y de reparaciones en las máquinas e instalaciones.
- Supervisar al personal técnico para el cumplimiento de las tareas de mantenimiento asignadas, en el tiempo planificado.

Técnico eléctrico y mecánico

- Realizar las actividades de mantenimiento preventivo, correctivo y de reparaciones en las máquinas e instalaciones del proceso productivo.

Con respecto a los técnicos eléctrico y mecánico ninguno tiene preparación profesional, lo que poseen es experiencia laboral en las distintas empresas en las que han trabajado, así mismo algunos tienen muchos años de experiencia en la propia empresa.

Horario de trabajo

La fábrica labora 3 turnos de 8 horas, 00h00 – 08h00, 08h00 – 16h00 y 16h00 – 24h00, de lunes a sábado. El día domingo no se programa producción, sin embargo se realiza también actividades de mantenimiento de 08h00 – 14h00.

El jefe de mantenimiento, el supervisor y los coordinadores solo permanecen en el turno de 08h00 – 16h00, mientras que los técnicos se distribuyen entre los 3 turnos y asisten los domingos.

Equipos y herramientas

El departamento de mantenimiento cuenta con los siguientes equipos principales para la ejecución de su servicio de mantenimiento:

- Dos tornos
- Dos fresadoras
- Una rectificadora
- Un esmeril
- Un taladro de pedestal
- Una sierra eléctrica
- Un equipo para realizar la soldadura autógena
- Los técnicos eléctricos cuentan con multímetro y amperímetro de gancho, junto con los elementos básicos para realizar una revisión y corrección eléctrica.
- Los técnicos mecánicos cuentan con una caja de herramientas junto con todos los elementos básicos para la revisión y corrección de las máquinas.

Contratistas

En la fábrica existen dos tipos de contratistas los que permanecen realizando sus actividades dentro de las instalaciones de la misma, y los que asisten de manera específica a realizar determinadas tareas, las cuales no

pueden ser solucionadas con los recursos propios del departamento.

3.2.2. Índice de Fiabilidad, Tiempo Productivo y de Paro de las Máquinas.

Para el cálculo de la fiabilidad, tiempo productivo y de paro de las máquinas se hizo uso de los datos diarios que se han venido registrando desde el inicio de la presente investigación, los datos recolectados de las máquinas son:

- Tiempo programado para producción (S)
- Número de fallas (f)
- Tiempo muerto (d)

En el Apéndice 1 se presentan los datos recolectados en las máquinas.

A partir de los cuales se calculó el tiempo medio entre fallas (MTBF), el tiempo medio para la reparación (MTTR), disponibilidad (A) y tiempo de demanda por servicio de mantenimiento (t) de las máquinas.

En la Tabla 5 se muestra el promedio diario de esos índices para cada una de las máquinas.

TABLA 5
MEDIA DIARIA DE CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD,
DISPONIBILIDAD Y TIEMPO DE DEMANDA POR SERVICIO
DE MANTENIMIENTO DE LAS MÁQUINAS

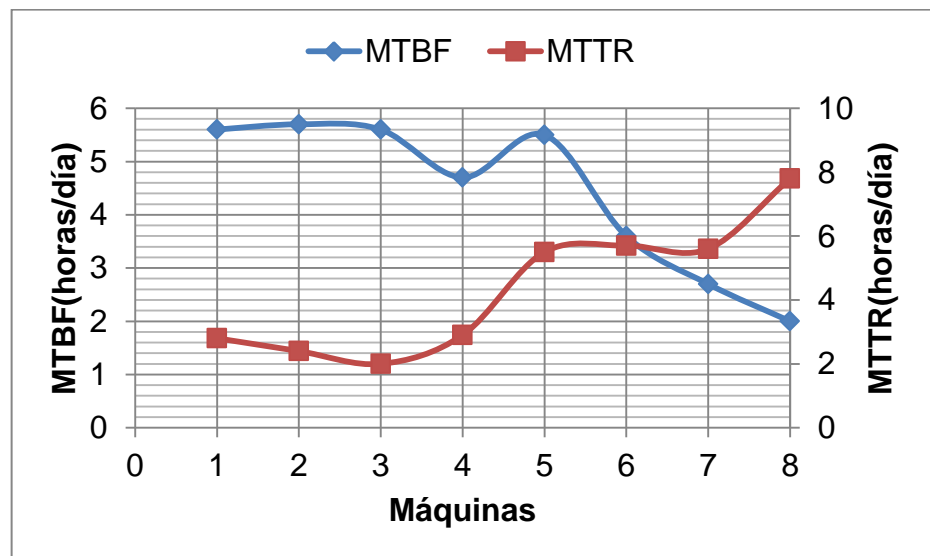
Máquina	MTBF (horas/día)	MTTR (horas/día)	A (%)	t (horas/día)
1	5.6	2.8	63	8.5
2	5.7	2.4	68	6.9
3	5.6	2	74	5.4
4	4.7	2.9	60	8.1
5	5.5	5.5	54	9.9
6	3.6	5.7	50	10.4
7	2.7	5.6	41	10.9
8	2	7.8	30	12.3

Autor: Sócrates Ramírez T.

Como interpretación del cuadro anterior se toma la máquina 4, en la cual se puede observar que el tiempo medio entre fallas es de 4,7 horas al día, es decir que existe una falla cada 4,7 horas, el tiempo medio por reparación es de 2,9 horas por día, es decir que el tiempo que toma reparar una falla de esta máquina es de 2,9 horas, la disponibilidad es del 60% al día, es decir que respecto al 100% del tiempo programado para producción de la máquina esta solo ha

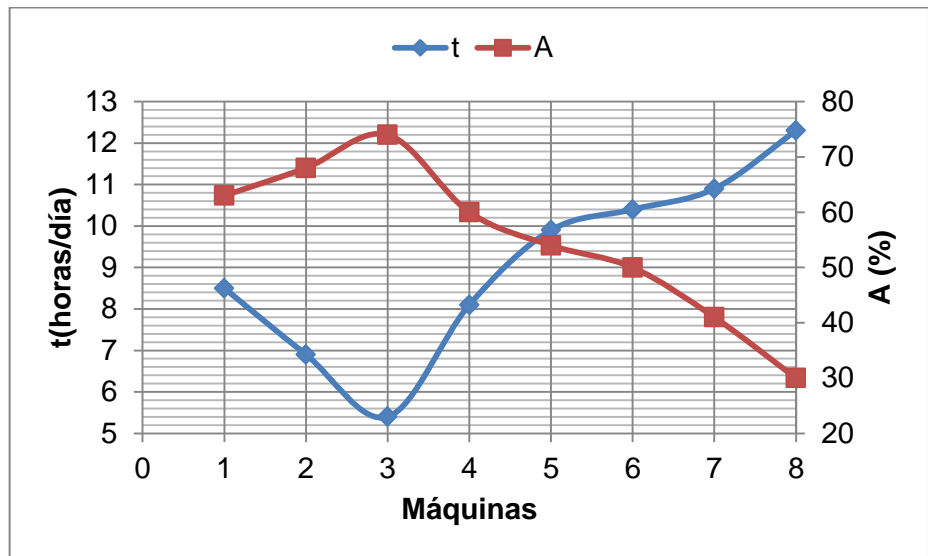
estado disponible para producción el 60% del tiempo, y el tiempo que demanda la máquina por servicio de mantenimiento es de 8,1 horas al día, donde 1 hora corresponde al mantenimiento planificado y las 7,1 horas corresponde al mantenimiento por reparación.

En la Figura 3.30 se puede observar la confiabilidad y mantenibilidad de las máquinas, mientras que en la Figura 3.31 se puede visualizar la disponibilidad y tiempo de demanda por servicio de mantenimiento de las mismas.



Autor: Sócrates Ramírez T.

Figura 3.30 Confiabilidad (MTBF) y Mantenibilidad (MTTR) de las Máquinas.



Autor: Sócrates Ramírez T.

Figura 3.31 Tiempo de demanda por servicio de mantenimiento (t) y Disponibilidad (A) de las Máquinas.

En la Figura 3.30 y 3.31 se puede observar una tendencia desfavorable en el funcionamiento de las máquinas 5, 6, 7 y 8, debido a la disminución de la confiabilidad y al aumento del tiempo por servicio de mantenimiento que demandan las mismas, lo que implica directamente menor disponibilidad para producción de las máquinas

3.2.3. Costos de Mantenimiento de la Máquinas

Una de las formas de evaluar los costos de mantenimiento y de reparación es contabilizando el tiempo, por tanto los parámetros que se requieren son

- La cantidad de tiempo dedicado a mantenimiento preventivo
- La cantidad de tiempo dedicado a reparaciones.
- El tiempo de demanda por servicio de mantenimiento.

Haciendo uso de los datos históricos que se han venido registrando desde el inicio de la presente investigación se presenta a través de la tabla 6 una evaluación de los costos de mantenimiento respecto al factor tiempo, en donde se muestra la cantidad de tiempo dedicado al mantenimiento preventivo, la cantidad de tiempo muerto y la cantidad total de tiempo de demanda por servicio de mantenimiento de las máquinas.

TABLA 6
EVALUACIÓN DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO RESPECTO
AL FACTOR TIEMPO, MEDIA EN HORAS POR DÍA.

	MANTENIMIENTO PREVENTIVO (horas)	d (horas)	TIEMPO DE DEMANDA POR SERVICIO DE MANTENIMIENTO (horas)
1	1	7,5	8,5
2	1	5,9	6,9
3	1	4,4	5,4
4	1	7,1	8,1
5	1	8,9	9,9
6	1	9,4	10,4
7	1	9,9	10,9
8	1	11,3	12,3

Autor: Sócrates Ramírez T.

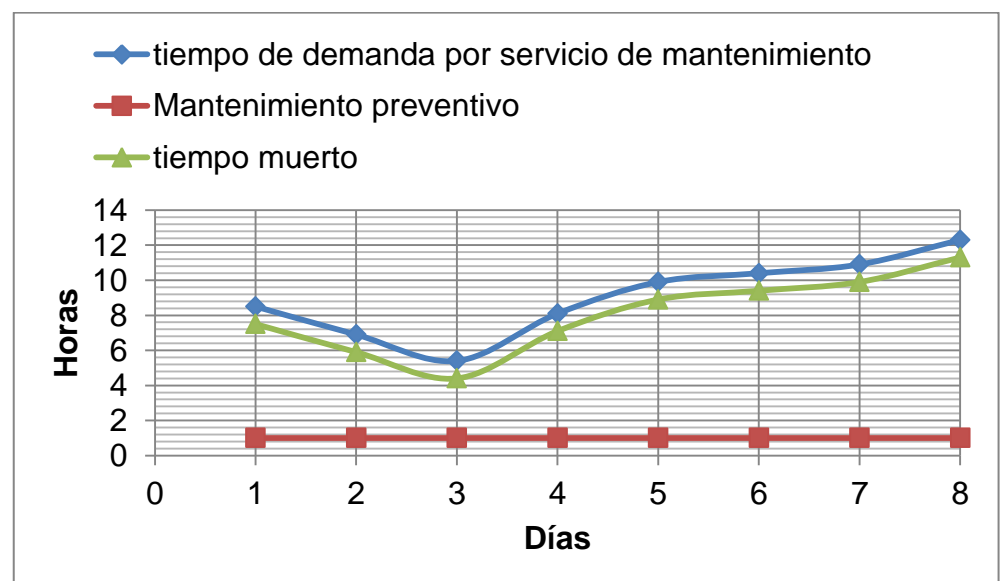
Dónde:

- Mantenimiento preventivo: media diaria de tiempo dedicado a mantenimiento preventivo, en horas.
- d: media diaria del tiempo muerto, en horas.
- t: tiempo de demanda por servicio de mantenimiento, en horas.

Como interpretación del cuadro anterior se toma la máquina 4 la cual presenta un media diario total por concepto de intervenciones del departamento de mantenimiento igual a

8.1 horas, en otras palabras es la media de tiempo diario invertido por el departamento de mantenimiento actualmente en la rejilladora 4. Este valor se lo obtuvo al sumar los tiempos medios diarios por mantenimiento preventivo y el tiempo muerto.

En la Figura 3.32 se puede observar el tiempo por mantenimiento preventivo, el tiempo muerto y el tiempo total por servicio de mantenimiento de las máquinas.



Autor: Sócrates Ramírez T.

Figura 3.32 Tiempo de demanda por servicio de mantenimiento de las máquinas

En la Figura 3.32 se puede observar que las máquinas 5, 6, 7 y 8 demandan más de 9,9 horas al día por servicio de mantenimiento, mientras que el resto de máquina está por debajo de ese valor.

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

En el presente capítulo se desarrolla la planeación del mantenimiento predictivo, se utiliza técnicas de pronósticos para la carga de mantenimiento, se determinan tiempos estándar confiables para los trabajos y se hace uso de técnicas determinísticas para la planeación de la capacidad de mantenimiento.

4.1. Detalles de las Actividades de Mantenimiento a Realizar Tomando como Base los Manuales Técnicos de los Fabricantes.

En esta sección se detalla las principales recomendaciones sugeridas por el fabricante con respecto al mantenimiento de la máquina.

Es preciso recalcar que las recomendaciones sugeridas por el fabricante no han sido seguidas fielmente por el departamento de mantenimiento durante la vida útil de las máquinas.

Lo que se ha realizado en su remplazo son tareas de mantenimiento, basadas en reparaciones o inspecciones informales no programadas, por el personal técnico del departamento de mantenimiento.

En el Apéndice 2 se detallan los principales procedimientos de mantenimiento que se debe aplicar a cada uno de los componentes principales de la máquina en base a las recomendaciones del fabricante.

4.2. Determinación del Tipo y Frecuencia de Inspección a Realizar en las Máquinas Rejilladoras.

Para la determinación del tipo y frecuencia de la inspección y mantenimiento a realizar en las máquinas rejilladoras es necesario primero establecer si las recomendaciones de los fabricantes, detalladas en el apéndice 2, aún son aplicables respecto a las condiciones de operación y el servicio de mantenimiento que las máquinas han recibido y reciben actualmente, o a su vez modificar y/o ajustar los tipos y frecuencias de inspección y mantenimiento

con la finalidad de garantizar el normal funcionamiento de la máquina y la sostenibilidad en el tiempo del proceso de producción.

Para determinar si los tipos y frecuencias de inspección y mantenimiento recomendado por los fabricantes son aún aplicables en las máquinas rejilladoras se debe analizar los siguientes criterios.

a) Situación actual de los equipos.

Los tipos y frecuencias de inspección y mantenimiento recomendado por los fabricantes se mantendrán si las máquinas o equipos se encuentran operativos y en las condiciones originales de fabricación.

b) Condiciones de operación.

Los tipos y frecuencias de inspección y mantenimiento recomendado por los fabricantes se mantendrán si las máquinas o equipos fueron compradas nuevas, si aún se conservan los elementos para el control del funcionamiento y si la instalación fue realizada de acuerdo a lo establecido por el fabricante.

c) Histórico de los mantenimientos.

Los tipos y frecuencias de inspección y mantenimiento recomendado por los fabricantes se mantendrán si en la vida

útil de la máquina el servicio de mantenimiento que los técnicos les han dado han sido el establecido en los manuales de los fabricantes y si se posee un registro confiable de estas intervenciones.

d) Modificaciones o adaptaciones realizadas.

Los tipos y frecuencias de inspección y mantenimiento recomendado por los fabricantes se mantendrán si en la vida útil de la máquina esta no ha sufrido modificación en alguno de sus componentes respecto al recomendado por el fabricante.

Entonces, respecto al análisis de los criterios anteriores y de las máquinas rejilladoras realizado en el capítulo 3, se puede determinar que los tipos y frecuencias de inspecciones y de mantenimiento recomendadas por los fabricantes se deben ajustar y por lo tanto no se deben seguir de manera puntual.

Para ajustar los tipos y frecuencias de inspección se hace uso de datos disponibilidad, tiempos muertos y número de fallas por máquina, recopilados desde el inicio de la presente investigación. Como una guía se utiliza también la experiencia de los operadores, técnicos de mantenimiento y aquellas recomendaciones de los fabricantes que se ajusten a la realidad de funcionamiento de las

mismas. Estos tipos y frecuencias de inspecciones están detallados en el plan de mantenimiento predictivo que se detalla en la sección 4.3.

En la sección 4.3 del presente trabajo se ha establecido de manera general los tipos y frecuencias de inspección y mantenimiento a realizar en los componentes principales de la máquina rejilladora, los cuales han sido seleccionados respecto a su incidencia directa en el proceso de producción de rejillas. Las actividades a realizar en el plan de mantenimiento se han dividido en los siguientes cuatro grupos:

- Inspección
- Limpieza y lubricación
- Reemplazo
- Mantenimiento General

Inspección

Aplicar o practicar el mantenimiento predictivo significa añadir en el servicio de mantenimiento las inspecciones sistemáticas de los componentes de las máquinas o equipos, debido a que las mismas permiten conocer el estado real de los componentes y establecer actividades necesarias sobre estos, para evitar que se produzcan

fallas o deterioros en la máquina que generen tiempos muertos que paralizan el proceso de producción.

Limpieza y lubricación

Las condiciones de polvo en el ambiente de operación de las máquinas, debido a las partículas de plomo que se derivan propiamente del proceso productivo, implica que sea necesario establecer limpiezas y lubricación periódica en los componentes de las máquinas, para de esta forma cumplan con el ciclo de vida para el cual fueron diseñados, evitando así que se produzcan fallas recurrentes en la operación diaria de las mismas que afecten el proceso de producción.

Reemplazo

Las actividades de reemplazo se determinarán en base a las inspecciones que realice el personal técnico de mantenimiento, ya que una mala manipulación de las máquinas por parte de los operadores o por malas condiciones de funcionamiento de las máquinas inciden directamente en acelerar el desgaste normal de sus componentes, por lo que se deberán reemplazar para de esta forma evitar que las mismas causen daños mayores en otros componentes de la máquina y paros en el proceso de producción.

Mantenimiento general

En el mantenimiento general se incluye el desmontaje de cada una de las partes o piezas de la máquina para realizar el correspondiente remplazo, rectificación, calibración o reparación, respecto a la condición en las que se encuentran al momento de la revisión. Este tipo de mantenimiento se lo realizará con una frecuencia de 1 vez por año, tomando como base en las actividades de mantenimiento predictivo programadas para de esta forma acortar o alargar la periodicidad de las actividades del mantenimiento general.

Las actividades detalladas anteriormente serán realizadas por los operadores de las máquinas y/o los técnicos de mantenimiento, sin embargo habrá mantenimientos que serán realizados por personal externo a la empresa que cuentan con el personal y equipos especializados para las actividades de revisión.

4.3. Elaboración del plan de mantenimiento predictivo

Para una planeación eficaz del mantenimiento predictivo se seguirán los siguientes 10 pasos:

1. Determinar el contenido de los trabajos.
2. Desarrollar una secuencia de actividades para el trabajo.

3. Establecer el tamaño de la cuadrilla para el trabajo.
4. Determinar las partes (refacciones) y materiales necesarios para el trabajo.
5. Determinar los equipos y herramientas necesarias para el trabajo.
6. Asignar el personal con las destrezas apropiadas.
7. Determinar los equipos de protección personal para el trabajo.
8. Determinar prioridades para los trabajos (urgente, rutina o programado).
9. Determinar estándares de tiempos para los trabajos.
10. Predecir la carga de mantenimiento de las máquinas utilizando una técnica eficaz de pronósticos.

A continuación se elabora la planeación del mantenimiento predictivo de los principales componentes de las máquinas, los cuales afectan directamente la disponibilidad de las mismas.

Bomba de dosificación

En la Tabla 7 se detalla la planeación para la inspección de la bomba de dosificación de plomo.

TABLA 7
PLANEACIÓN PARA LA INSPECCIÓN DE LA BOMBA DE
DOSIFICACIÓN

1	Descripción del trabajo Inspección, desmontaje y montaje de la bomba de dosificación de plomo
2	Secuencia del trabajo
2.1	Detener funcionamiento de la máquina y bomba de dosificación
2.2	Elevar la bomba de dosificación por encima del nivel del crisol
2.3	Desconectar el tubo de alimentación de plomo de la bomba
2.4	Desconectar la entrada de voltaje al motor eléctrico y desmontarlo del soporte de la bomba
2.5	Retirar la bomba de dosificación del crisol
2.6	Cortar los pernos que unen las carcasas superior e inferior de la bomba y desmontarlas.
2.7	Desmontar el impulsor
2.8	Desmontar el bocín
2.9	Desmontar el rodamiento
2.10	Desmontar la polea
2.11	Inspección/Limpieza/Corrección/Reemplazo
3	Cuadrilla para el trabajo Se requieren 2 personas.
4	Partes (refacciones) necesarias para el trabajo Ocho pernos de 3/8 x 1/2 pulgada Carcasa superior e inferior Impulsor Un Bocín de 1 pulgada Un Rodamiento de bola de 1 pulgada Un Eje de 1 pulgada
5	Equipos y herramientas Llave de tubo Pulidora Llave de 3/4 pulg. Llave de 9/16 pulg.
6	Asignación de personal Técnico de mantenimiento mecánico Auxiliar de mantenimiento

7	Equipos de protección personal Guantes para altas temperaturas Guantes de lana Protector facial Respirador, filtros y pre filtros para polvo y gases Faja Protector de brazos y pies para altas temperaturas Mandil de cuero Botas con punta de acero
8	Prioridad del trabajo Programado
9	Tiempo estándar para el trabajo Seis horas
10	El pronóstico de la carga de mantenimiento de las máquinas se lo realiza al final de esta sección

Autor: Sócrates Ramírez T.

Motor eléctrico de bomba

En la Tabla 8 se detalla la planeación para la inspección, desmontaje y montaje del motor eléctrico de la bomba.

TABLA 8
PLANEACIÓN PARA LA INSPECCIÓN DE MOTOR DE BOMBA DE DOSIFICACIÓN

1	Descripción del trabajo Inspección, desmontaje y montaje de motor de bomba de dosificación
2	Secuencia del trabajo
2.1	Detener funcionamiento de la máquina y bomba de dosificación
2.2	Desconectar la entrada de voltaje del motor
2.3	Desmontar poleas, banda y bases del motor
2.4	Desmontar motor
2.5	Inspección/Limpieza/Corrección/Reemplazo
3	Cuadrilla para el trabajo Se requiere 1 persona
4	Partes (refacciones) necesarias para el trabajo Un motor de 1 HP y 3600 rev/min
5	Equipos y herramientas Amperímetro de gancho Llave de 3/4 pulg.
6	Asignación de personal Técnico de mantenimiento eléctrico
7	Equipos de protección personal Guantes de lana Protector facial Respirador, filtros y pre filtros para polvo y gases Faja Botas con punta de acero
8	Prioridad del trabajo Programado
9	Tiempo estándar para el trabajo 1 hora
10	El pronóstico de la carga de mantenimiento de las máquinas se lo realiza al final de esta sección

Autor: Sócrates Ramírez T.

Tubo de alimentación

En la Tabla 9 se detalla la planeación para la inspección, desmontaje y montaje del tubo de alimentación de plomo.

TABLA 9
PLANEACIÓN PARA LA INSPECCIÓN, DESMONTAJE Y
MONTAJE DEL TUBO DE ALIMENTACIÓN

1	Descripción del trabajo Inspección, desmontaje y montaje del tubo de alimentación
2	Secuencia del trabajo
2.1	Detener funcionamiento de la máquina y bomba de dosificación
2.2	Desmontar las resistencias y termocuplas del tubo de alimentación
2.3	Desconectar el tubo de alimentación de la bomba de dosificación
2.4	Desconectar la U de acero inoxidable a la salida del tubo de alimentación
2.5	Desmontar tubo de alimentación
2.6	Inspección/Limpieza/Corrección/Reemplazo
3	Cuadrilla para el trabajo Se requieren 2 personas
4	Partes (refacciones) necesarias para el trabajo Una u de acero de diámetro 3/8 pulg. Un acople de 3/8 pulg. Un tubo de alimentación de plomo de diámetro 3/4 pulg. con aislamiento térmico fibra de vidrio
5	Equipos y herramientas
	Llave de 11/16 pulg. Llave de tubo
6	Asignación de personal Técnico de mantenimiento mecánico Auxiliar de mantenimiento
7	Equipos de protección personal Guantes para altas temperaturas Guantes de lana

	Protector facial
	Respirador, filtros y pre filtros para polvo y gases
	Faja
	Protector de brazos y pies para altas temperaturas
	Mandil de cuero
	Botas con punta de acero
8	Prioridad del trabajo
	Programado
9	Tiempo estándar para el trabajo
	Seis horas
10	El pronóstico de la carga de mantenimiento de las máquinas se lo realiza al final de esta sección

Autor: Sócrates Ramírez T.

Sistema de dosificación

En la Tabla 10 se detalla la planeación para la inspección, desmontaje y montaje del Sistema de dosificación.

TABLA 10
PLANEACIÓN PARA LA INSPECCIÓN, DESMONTAJE Y MONTAJE
DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

1	<p>Descripción del trabajo</p> <p>Inspección, desmontaje y montaje del sistema de dosificación</p>
2	<p>Secuencia del trabajo</p>
2.1	<p>Detener funcionamiento de la máquina y bomba de dosificación</p>
2.2	<p>Apagar las llamas para la u de acero, portavaso, vaso y canoa</p>
2.3	<p>Desacoplar la u de acero a la salida del tubo de alimentación</p>
2.4	<p>Desacoplar codo de del portavaso</p>
2.5	<p>Desmontar pernos de sujeción del portavaso y desmontarlo</p>
2.6	<p>Desmontar válvula de dosificación del portavaso</p>
2.7	<p>Desmontar vaso de dosificación y bola cerámica</p>
2.8	<p>Inspección/Limpieza/Corrección/Reemplazo</p>
3	<p>Cuadrilla para el trabajo</p> <p>Se requiere 1 persona</p>
4	<p>Partes (refacciones) necesarias para el trabajo</p> <p>Una u de acero de diámetro 3/8 pulg.</p> <p>Un acople de 3/8 pulg.</p> <p>Un codo de 1/2 pulg.</p> <p>Un portavaso</p> <p>Una válvula de dosificación de diámetro 3mm</p> <p>Un vaso</p> <p>Una bola cerámica de diámetro 1/2 pulg.</p>
5	<p>Equipos y herramientas</p> <p>Un dado de 7/8 pulg</p> <p>Un rache</p> <p>Una llave de 11/16 pulg.</p> <p>Una llave francesa</p> <p>Un martillo</p> <p>Una bola de acero de diámetro 1/2 pulg.</p>

	Una broca de 3mm
	Un cepillo para limpieza de metal
	Una fresadora
6	Asignación de personal
	Técnico de mantenimiento mecánico
7	Equipos de protección personal
	Guantes para altas temperaturas
	Guantes de lana
	Protector facial
	Respirador, filtros y pre filtros para polvo y gases
	Faja
	Protector de brazos y pies para altas temperaturas
	Mandil de cuero
	Botas con punta de acero
8	Prioridad del trabajo
	Programado
9	Tiempo estándar para el trabajo
	Tres horas
10	El pronóstico de la carga de mantenimiento de las máquinas se lo realiza al final de esta sección

Autor: Sócrates Ramírez T.

Canoa

En la Tabla 11 se detalla la planeación para la inspección, desmontaje y montaje de la canoa.

TABLA 11
PLANEACIÓN PARA LA INSPECCIÓN, DESMONTAJE Y MONTAJE
DE LA CANOA

1	Descripción del trabajo Inspección, desmontaje y montaje de canoa
2	Secuencia del trabajo
2.1	Detener funcionamiento de la máquina y bomba de dosificación
2.2	Apagar las llamas para la u de acero, portavaso, vaso y canoa
2.3	Desmontar cubierta superior de canoa
2.4	Desmontar la resistencia y termocupla de canoa
2.5	Vaciar la canoa
2.6	Desmontar resorte de giro de la canoa
2.7	Desmontar barra selladora de la canoa
2.8	Desmontar la canoa
2.9	Desmontaje de reloj de dosificación
2.10	Desmontaje de pistón de dosificación
2.11	Inspección/Limpieza/Corrección/Reemplazo

- | | |
|----------|---|
| 3 | Cuadrilla para el trabajo
Se requiere 2 personas |
| 4 | Partes (refacciones) necesarias para el trabajo
Una canoa
Una barra selladora para la canoa
Una resistencia
Una termocupla
Un reloj de dosificación
Un pistón de dosificación |
| 5 | Equipos y herramientas
Una llave de 7/16 pulg.
Una rectificadora
Una escuadra metálica
Un cepillo para metal
Un amperímetro de gancho
Equipo de limpieza con aire a presión |
| 6 | Asignación de personal
Técnico de mantenimiento mecánico
Técnico de mantenimiento eléctrico |
| 7 | Equipos de protección personal
Guantes para altas temperaturas
Guantes de lana
Protector facial
Respirador, filtros y pre filtros para polvo y gases
Faja
Protector de brazos y pies para altas temperaturas
Mandil de cuero
Botas con punta de acero |
| 8 | Prioridad del trabajo
Programado |
| 9 | Tiempo estándar para el trabajo |

10	<p>Cuatro horas</p> <p>El pronóstico de la carga de mantenimiento de las máquinas se lo realiza al final de esta sección</p>
-----------	--

Autor: Sócrates Ramírez T.

Molde

En la Tabla 12 se detalla la planeación para la inspección, desmontaje y montaje de la canoa.

TABLA 12

**PLANEACIÓN PARA LA INSPECCIÓN, DESMONTAJE Y MONTAJE DE
MOLDE**

1	<p>Descripción del trabajo</p> <p>Inspección, desmontaje y montaje de molde</p>
2	Secuencia del trabajo
2.1	Detener funcionamiento de la máquina y bomba de dosificación
2.2	Apagar las llamas para la u de acero, portavaso, vaso y canoa
2.3	Desconectar resistencias y termocuplas de molde fijo y molde móvil
2.4	Desmontar molde fijo
2.5	Desmontar molde móvil
2.6	Desmontar soportes de molde móvil

2.7	Desmontar botadores y cintas de molde
2.8	Desmontar pistón de molde móvil y de botadores
2.9	Inspección/Limpieza/Lubricación/Corrección/Reemplazo
3	Cuadrilla para el trabajo
	Se requiere 2 personas
4	Partes (refacciones) necesarias para el trabajo
	Cuatro resistencias
	Cuatro termocuplas
	16 botadores
	16 resortes para botadores de molde
	Un pistón de molde móvil
	Un pistón de botadores de molde
5	Equipos y herramientas
	Una llave allen 7/32 pulg.
	Un cepillo para metal
	Una espátula
	Equipo de limpieza con aire a presión
	Una llave francesa
	Un martillo
6	Asignación de personal
	Técnico de mantenimiento mecánico
	Técnico de mantenimiento eléctrico
7	Equipos de protección personal
	Guantes para altas temperaturas
	Guantes de lana
	Protector facial

	Respirador, filtros y pre filtros para polvo y gases
	Faja
	Protector de brazos y pies para altas temperaturas
	Mandil de cuero
	Botas con punta de acero
8	Prioridad del trabajo
	Programado
9	Tiempo estándar para el trabajo
	Cuatro horas
10	El pronóstico de la carga de mantenimiento de las máquinas se lo realiza al final de esta sección

Autor: Sócrates Ramírez T.

Motor eléctrico de máquina

En la Tabla 13 se detalla la planeación para la inspección, desmontaje y montaje del motor eléctrico de la máquina.

TABLA 13
PLANEACIÓN PARA LA INSPECCIÓN, DESMONTAJE Y MONTAJE
DE MOTOR ELÉCTRICO DE MÁQUINA

1	<p>Descripción del trabajo</p> <p>Inspección, desmontaje y montaje de motor de máquina</p>
2	Secuencia del trabajo
2.1	Detener funcionamiento de la máquina y bomba de dosificación
2.2	Activar stop de seguridad
2.3	Desconectar la entrada de voltaje al motor
2.4	Desmontar banda y poleas
2.5	Desmontar motor
2.6	Inspección/Limpieza/Lubricación/Corrección/Reemplazo
3	<p>Cuadrilla para el trabajo</p> <p>Se requiere 1 persona</p>
4	<p>Partes (refacciones) necesarias para el trabajo</p> <p>Un motor de 1 Hp y 1750 rev/min</p> <p>Una banda</p> <p>Una polea</p>
5	<p>Equipos y herramientas</p> <p>Una llave de 1/2 pulg</p> <p>Un amperímetro de gancho</p>
6	<p>Asignación de personal</p> <p>Técnico de mantenimiento eléctrico</p>
7	<p>Equipos de protección personal</p> <p>Guantes para altas temperaturas</p> <p>Guantes de lana</p> <p>Protector facial</p> <p>Respirador, filtros y pre filtros para polvo y gases</p> <p>Faja</p> <p>Protector de brazos y pies para altas temperaturas</p> <p>Mandil de cuero</p>

	Botas con punta de acero
8	Prioridad del trabajo Programado
9	Tiempo estándar para el trabajo 1 hora
10	El pronóstico de la carga de mantenimiento de las máquinas se lo realiza al final de esta sección

Autor: Sócrates Ramírez T.

Reductor de velocidad

En la Tabla 14 se detalla la planeación para la inspección, desmontaje y montaje del motor eléctrico de la máquina.

TABLA 14
PLANEACIÓN PARA LA INSPECCIÓN, DESMONTAJE Y MONTAJE
DE REDUCTOR DE VELOCIDAD

1	Descripción del trabajo Inspección, desmontaje y montaje de reductor
2	Secuencia del trabajo
2.1	Detener funcionamiento de la máquina y bomba de dosificación
2.2	Activar stop de seguridad
2.3	Desconectar la entrada de voltaje al motor
2.4	Desmontar banda y poleas
2.5	Desmontar reductor
2.6	Inspección/Limpieza/Lubricación/Corrección/Reemplazo
3	Cuadrilla para el trabajo
	Se requiere 1 persona
4	Partes (refacciones) necesarias para el trabajo Un reductor con relación de velocidad 1/30 Una banda Una polea
5	Equipos y herramientas Una llave de 1/2 pulg Aceite lubricante
6	Asignación de personal Técnico de mantenimiento eléctrico
7	Equipos de protección personal Guantes para altas temperaturas Guantes de lana Protector facial Respirador, filtros y pre filtros para polvo y gases Faja Protector de brazos y pies para altas temperaturas Mandil de cuero

	Botas con punta de acero
8	Prioridad del trabajo Programado
9	Tiempo estándar para el trabajo 1 hora
10	El pronóstico de la carga de mantenimiento de las máquinas se lo realiza al final de esta sección

Autor: Sócrates Ramírez T.

Sistema de transmisión

En la Tabla 15 se detalla la planeación para la inspección, desmontaje y montaje del sistema de engranes.

TABLA 15
PLANEACIÓN PARA LA INSPECCIÓN, DESMONTAJE Y MONTAJE
DE SISTEMA DE TRANSMISIÓN

1	Descripción del trabajo Inspección, desmontaje y montaje del sistema de transmisión
2	Secuencia del trabajo
2.1	Detener funcionamiento de la máquina y bomba de dosificación
2.2	Activar stop de seguridad
2.3	Desconectar la entrada de voltaje al motor
2.4	Desmontar banda y poleas
2.5	Desmontar motor
2.6	Desmontar reductor
2.7	Desmontar engranes
2.8	Desmontar Levas
2.9	Desmontar cadenas
2.10	Inspección/Limpieza/Lubricación/Corrección/Reemplazo

<p>3</p> <p>4</p> <p>5</p>	<p>Cuadrilla para el trabajo Se requiere 2 personas</p> <p>Partes (refacciones) necesarias para el trabajo Engranajes para máquina rejilladora modelo 40C Cadenas para máquina rejilladora modelo 40C Levas para máquina rejilladora modelo 40C</p> <p>Equipos y herramientas Una llave de 1/2 pulg Una llave de 3/4 pulg. Una llave de 9/16 pulg. Una llave francesa Un martillo Un playo Un cepillo metálico Un amperímetro de gancho</p>
<p>6</p> <p>7</p>	<p>Grasa para alta temperatura Aceite lubricante para transmisión Equipo de limpieza con aire presurizado Un torno</p> <p>Asignación de personal Técnico de mantenimiento mecánico Técnico de mantenimiento eléctrico</p> <p>Equipos de protección personal Guantes para altas temperaturas Guantes de lana Protector facial Respirador, filtros y pre filtros para polvo y gases Faja Protector de brazos y pies para altas temperaturas Mandil de cuero Botas con punta de acero</p>

8	Prioridad del trabajo Programado
9	Tiempo estándar para el trabajo 4 horas
10	El pronóstico de la carga de mantenimiento de las máquinas se lo realiza al final de esta sección

Autor: Sócrates Ramírez T.

Banda transportadora de rejillas

En la Tabla 16 se detalla la planeación para la inspección, desmontaje y montaje de banda transportadora de rejillas.

TABLA 16
PLANEACIÓN PARA LA INSPECCIÓN, DESMONTAJE Y MONTAJE
DE BANDA TRANSPORTADORA DE REJILLAS

1	Descripción del trabajo Inspección, desmontaje y montaje de banda transportadora de rejillas
2	Secuencia del trabajo
2.1	Detener funcionamiento de la máquina y bomba de dosificación
2.2	Activar stop de seguridad
2.3	Apagar llamas del sistema de dosificación
2.4	Desmontar templadores de banda
2.5	Desengrapar banda
2.6	Desmontar banda
2.7	Desmontar rodillos
2.8	Desmontar rodamientos
2.9	Inspección/Limpieza/Lubricación/Corrección/Reemplazo
3	Cuadrilla para el trabajo Se requiere 1 persona
4	Partes (refacciones) necesarias para el trabajo 27 grapas para banda Banda 0,3 x 1 metro, espesor 1 cm
5	Equipos y herramientas Una llave de 3/4 pulg. Un martillo Un playo Grasa para alta temperatura Aceite lubricante para rodillos de banda Equipo de limpieza con aire presurizado
6	Asignación de personal Técnico de mantenimiento mecánico
7	Equipos de protección personal Guantes para altas temperaturas

	Guantes de lana
	Protector facial
	Respirador, filtros y pre filtros para polvo y gases
	Faja
	Protector de brazos y pies para altas temperaturas
	Mandil de cuero
	Botas con punta de acero
8	Prioridad del trabajo
	Programado
9	Tiempo estándar para el trabajo
	2 horas
10	El pronóstico de la carga de mantenimiento de las máquinas se lo realiza al final de esta sección

Autor: Sócrates Ramírez T.

Banda transportadora de rebabas

En la Tabla 17 se detalla la planeación para la inspección, desmontaje y montaje de banda transportadora de rebabas.

TABLA 17
PLANEACIÓN PARA LA INSPECCIÓN, DESMONTAJE Y MONTAJE
DE BANDA TRANSPORTADORA DE REBABAS.

1	Descripción del trabajo Inspección, desmontaje y montaje de banda transportadora de rebabas
2	Secuencia del trabajo
2.1	Detener funcionamiento de la máquina y bomba de dosificación
2.2	Activar stop de seguridad
2.3	Apagar llamas del sistema de dosificación
2.4	Desmontar templadores de banda
2.5	Desengrapar banda
2.6	Desmontar banda
2.7	Desmontar rodillos
2.8	Desmontar rodamientos
2.9	Inspección/Limpieza/Lubricación/Corrección/Reemplazo
3	Cuadrilla para el trabajo Se requiere 1 persona
4	Partes (refacciones) necesarias para el trabajo 54 grapas para banda 2 bandas 0,4 x 2 m y 1 cm de espesor
5	Equipos y herramientas Una llave de 3/4 pulg. Un martillo Un playo Grasa para alta temperatura Aceite lubricante para rodillos de banda Equipo de limpieza con aire presurizado
6	Asignación de personal Técnico de mantenimiento mecánico
7	Equipos de protección personal Guantes para altas temperaturas

	Guantes de lana
	Protector facial
	Respirador, filtros y pre filtros para polvo y gases
	Faja
	Protector de brazos y pies para altas temperaturas
	Mandil de cuero
	Botas con punta de acero
8	Prioridad del trabajo
	Programado
9	Tiempo estándar para el trabajo
	2 horas
10	El pronóstico de la carga de mantenimiento de las máquinas se lo realiza al final de esta sección

Autor: Sócrates Ramírez T.

Troquel de corte

En la Tabla 18 se detalla la planeación para la inspección, desmontaje y montaje del troquel de corte.

TABLA 18
PLANEACIÓN PARA LA INSPECCIÓN, DESMONTAJE Y MONTAJE
DEL TROQUEL DE CORTE

1	<p>Descripción del trabajo</p> <p>Inspección, desmontaje y montaje de troquel de corte</p>
2	Secuencia del trabajo
2.1	Detener funcionamiento de la máquina y bomba de dosificación
2.2	Activar stop de seguridad
2.3	Apagar llamas del sistema de dosificación
2.4	Desmontar cuchilla de corte superior e inferior de troquel
2.5	Desmontar troquel
2.6	Inspección/Limpieza/Lubricación/Corrección/Reemplazo
3	<p>Cuadrilla para el trabajo</p> <p>Se requiere 1 persona</p>
4	<p>Partes (refacciones) necesarias para el trabajo</p> <p>Pernos y resortes para troquel para rejilladora modelo 40C</p> <p>Pernos de sujeción de troquel para rejilladora modelo 40C</p> <p>2 Cuchillas de corte de troquel para rejilladora modelo 40C</p> <p>Grasa para altas temperaturas</p> <p>Aceite penetrante</p>
5	<p>Equipos y herramientas</p> <p>1 cepillo para metal</p> <p>1 graseo manual</p> <p>1 pulverizador o atomizador</p> <p>Llaves Allen 9/16 pulg.</p> <p>Llaves Allen 5/16 pulg.</p> <p>Torno</p> <p>Rectificadora</p>
6	<p>Asignación de personal</p> <p>Técnico de mantenimiento mecánico</p>
7	Equipos de protección personal

	<p>Guantes de lana</p> <p>Protector facial</p> <p>Respirador, filtros y pre filtros para polvo y gases</p> <p>Faja</p> <p>Mandil de cuero</p> <p>Botas con punta de acero</p>
8	<p>Prioridad del trabajo</p> <p>Programado</p>
9	<p>Tiempo estándar para el trabajo</p> <p>2 horas</p>
10	<p>El pronóstico de la carga de mantenimiento de las máquinas se lo realiza al final de esta sección</p>

Autor: Sócrates Ramírez T.

Apilador de rejillas

En la Tabla 19 se detalla la planeación para la inspección, desmontaje del apilador de rejillas

TABLA 19
PLANEACIÓN PARA LA INSPECCIÓN, DESMONTAJE Y MONTAJE
DEL APILADOR DE REJILLAS

1	<p>Descripción del trabajo</p> <p>Inspección, desmontaje y montaje del apilador de rejillas</p>
2	Secuencia del trabajo
2.1	Detener funcionamiento de la máquina y bomba de dosificación
2.2	Activar stop de seguridad
2.3	Apagar llamas del sistema de dosificación
2.4	Desmontar apilador
2.5	Inspección/Limpieza/Lubricación/Corrección/Reemplazo
3	<p>Cuadrilla para el trabajo</p> <p>Se requiere 1 persona</p>
4	<p>Partes (refacciones) necesarias para el trabajo</p> <p>Pernos de sujeción</p> <p>Grasa para altas temperaturas</p> <p>Aceite penetrante</p>
5	<p>Equipos y herramientas</p> <p>1 cepillo para metal</p> <p>1 grasero manual</p> <p>1 pulverizador o atomizador</p> <p>Llaves allen 5/16 pulg.</p> <p>escuadra industrial a 30 grados</p> <p>Torno</p>
6	<p>Asignación de personal</p> <p>Técnico de mantenimiento mecánico</p>
7	<p>Equipos de protección personal</p> <p>Guantes de lana</p> <p>Protector facial</p> <p>Respirador, filtros y pre filtros para polvo y gases</p> <p>Faja</p>

	Mandil de cuero
	Botas con punta de acero
8	Prioridad del trabajo
	Programado
9	Tiempo estándar para el trabajo
	1 hora
10	El pronóstico de la carga de mantenimiento de las máquinas se lo realiza al final de esta sección

Autor: Sócrates Ramírez T.

Crisol

En la Tabla 20 se detalla la planeación para la inspección del crisol.

TABLA 20

PLANEACIÓN PARA LA INSPECCIÓN DEL CRISOL

1	Descripción del trabajo
	Inspección del crisol
2	Secuencia del trabajo
2.1	Detener funcionamiento de la máquina y bomba de dosificación
2.2	Activar stop de seguridad
2.3	Apagar llamas del sistema de dosificación
2.4	Revisar paso de GLP
2.5	Revisar paso de aire
2.6	Desmontar sensores de nivel
2.7	Desmontar termocuplas

2.8	Desmontar bujía
2.9	Inspección/Limpieza/Lubricación/Corrección/Reemplazo
3	Cuadrilla para el trabajo Se requiere 1 persona
4	Partes (refacciones) necesarias para el trabajo e insumos 2 sensores de nivel 2 termocuplas 1 bujía 2 válvulas de bola Aceite penetrante
5	Equipos y herramientas 1 cepillo para metal 1 espátula 1 cuchara industrial para crisol 1 multímetro de gancho 1 pulverizador o atomizador Equipo de limpieza con aire a presión
6	Asignación de personal Técnico de mantenimiento eléctrico
7	Equipos de protección personal Guantes para altas temperaturas Guantes de lana Protector facial Respirador, filtros y pre filtros para polvo y gases Faja Protector de brazos y pies para altas temperaturas Mandil de cuero Botas con punta de acero
8	Prioridad del trabajo Programado
9	Tiempo estándar para el trabajo

10	1 hora El pronóstico de la carga de mantenimiento de las máquinas se lo realiza al final de esta sección
-----------	---

Autor: Sócrates Ramírez T.

Sistema de refrigeración de moldes

En la Tabla 21 se detalla la planeación para la inspección del sistema de refrigeración de molde.

TABLA 21
PLANEACIÓN PARA LA INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN DE MOLDE

1	Descripción del trabajo Inspección del CCS
2	Secuencia del trabajo
2.1	Detener funcionamiento de la máquina y bomba de dosificación
2.2	Activar stop de seguridad
2.3	Apagar llamas del sistema de dosificación
2.4	Desmontar boya de nivel de tanque
2.5	Fijar temperatura de tanque entre (35 - 45 grados Celsius)
2.6	Fijar temperatura de precalentador eléctrico 10 grados menos a la temperatura del tanque
2.7	Fijar temperatura de chiller en 8 grados Celsius
2.9	Inspección/Limpieza/Lubricación/Corrección/Reemplazo
3	Cuadrilla para el trabajo Se requiere 1 persona
4	Partes (refacciones) necesarias para el trabajo e insumos 1 boya de nivel 3 válvulas de bola
5	Equipos y herramientas 1 playo Equipo de limpieza con aire a presión
6	Asignación de personal Técnico de mantenimiento mecánico
7	Equipos de protección personal Guantes de lana Protector facial Respirador, filtros y pre filtros para polvo y gases Faja

	Mandil de cuero
	Botas con punta de acero
8	Prioridad del trabajo
	Programado
9	Tiempo estándar para el trabajo
	0.5 horas
10	El pronóstico de la carga de mantenimiento de las máquinas se lo realiza al final de esta sección

Autor: Sócrates Ramírez T.

Suavización exponencial para el pronóstico de la carga de mantenimiento

Para el pronóstico de la carga de mantenimiento se utiliza la técnica cuantitativa denominada suavización exponencial, la cual requiere de datos históricos ya que este modelo supone que los valores futuros siguen tendencias históricas.

La suavización exponencial asigna pesos a las observaciones de periodos anteriores en una proporción inversa a su edad, para generar el pronóstico del siguiente periodo solo se requieren 3 datos, los cuales son: el pronóstico del último periodo, la observación real del último periodo y un factor de suavización que determina el peso relativo dado a la observación reciente.

La ecuación para la suavización exponencial es la siguiente:

$$Y(t+1) = \alpha * X(t) + (1 - \alpha) * Y(t)$$

Dónde:

- Y(t): El pronóstico del último periodo
- X(t): La observación real del último periodo
- α : Un factor de suavización

El factor de suavización α se determina mediante experimentación o juicio, y los valores que puede tomar están en un rango de (0,1), un valor grande de α (cercano a 1) indica que la observación actual lleva un peso elevado, es decir el sistema ha cambiado y la observación reciente refleja el comportamiento del mismo. Por otro lado, valores pequeños de α indican, en gran medida, que el pasado aún se asemeja al sistema.

Los datos que se han recolectado desde el inicio de la presente investigación corresponden a la carga de mantenimiento diaria para las 8 máquinas rejilladoras de inyección, el número de observaciones es de 64, ($t=1, 2, 3, \dots, 64$).

El factor de suavización α se lo ha estimado en 0,2 un valor pequeño, ponderado en que según los datos recolectados el

pasado refleja en su mayor parte el comportamiento del sistema en el futuro.

En la Tabla 22 se presentan los resultados respectivos del pronóstico de la carga de mantenimiento utilizando la suavización exponencial. Se puede observar que el pronóstico para el día 65 es de 41,7 horas, este pronóstico corresponde de igual forma para cualquier periodo futuro ya que los datos recolectados no presentan una tendencia, sino más bien que fluctúan a largo plazo alrededor de este valor pronosticado.

En la Figura 4.1 se puede observar el valor real y el valor pronosticado de la carga diaria de mantenimiento, utilizando la suavización exponencial, en la misma se puede visualizar que los datos y los pronósticos no presentan una tendencia, sino que fluctúan alrededor de un valor promedio el cual es 41,7 horas, el cual es la carga de mantenimiento pronosticada para todos los días en un periodo de un año.

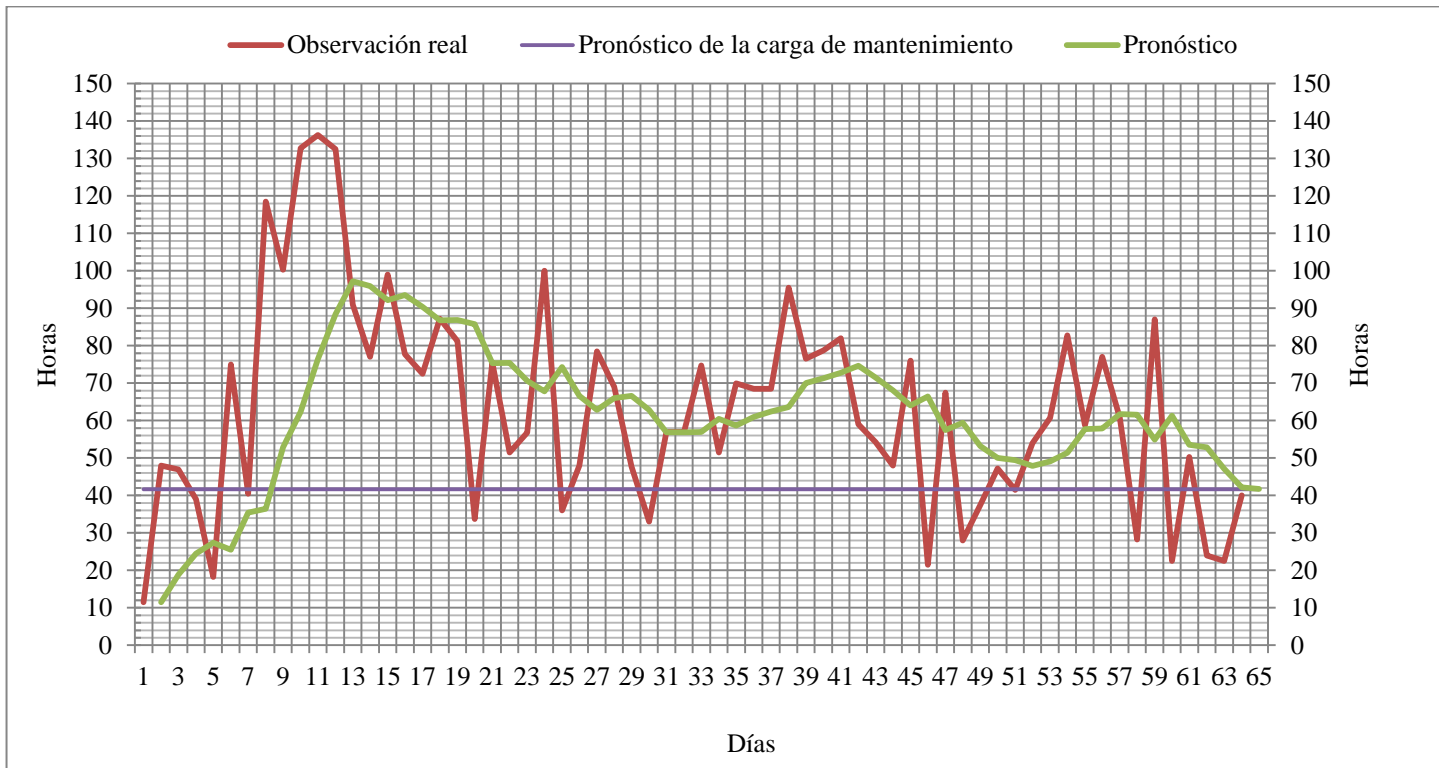
TABLA 22
SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL PARA EL PRONÓSTICO DE LA
CARGA DIARIA DE MANTENIMIENTO

SUAVIZACION EXPONENCIAL		
t (días)	X(t) (horas)	$Y(t+1)=0,2*X(t)+(1-0,2)*Y(t)$ (horas)
1	11,5	
2	48,0	11,5
3	47,0	18,8
4	39,0	24,4
5	18,3	27,4
6	75,0	25,5
7	40,5	35,4
8	118,5	36,4
9	100,3	52,9
10	132,8	62,3
11	136,3	76,4
12	132,5	88,4
13	91,0	97,2
14	77,0	96,0
15	99,0	92,2
16	77,8	93,5
17	72,5	90,4
18	87,3	86,8
19	81,3	86,9
20	33,8	85,8
21	75,5	75,4
22	51,5	75,4
23	56,8	70,6

24	100,0	67,8
25	36,0	74,3
26	48,0	66,6
27	78,5	62,9
28	69,0	66,0
29	47,8	66,6
30	33,0	62,8
31	57,0	56,9
32	57,0	56,9
33	74,8	56,9
34	51,5	60,5
35	70,0	58,7
36	68,5	60,9
37	68,5	62,5
38	95,5	63,7
39	76,5	70,0
40	78,8	71,3
41	82,0	72,8
42	59,0	74,6
43	54,3	71,5
44	48,0	68,1
45	76,0	64,1
46	21,5	66,4
47	67,5	57,5
48	28,0	59,5
49	37,5	53,2
50	47,3	50,0
51	41,5	49,5
52	54,0	47,9
53	60,8	49,1
54	82,8	51,4

55	58,8	57,7
56	77,0	57,9
57	60,8	61,7
58	28,3	61,5
59	87,0	54,9
60	22,5	61,3
61	50,3	53,5
62	24,0	52,9
63	22,5	47,1
64	40,0	42,2
65		41,7

Autor: Sócrates Ramírez T.



Autor: Sócrates Ramírez T.

FIGURA 4.1 SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL PARA EL PRONÓSTICO DE LA CARGA DIARIA DE MANTENIMIENTO

Método del Tableau heurístico para la planeación de la capacidad de mantenimiento

La planeación de la capacidad de mantenimiento determina el nivel óptimo de los recursos necesarios para satisfacer la carga de mantenimiento. En la presente investigación se utiliza el método determinístico denominado Tableau heurístico, este método supone que la carga de mantenimiento pronosticada, los tiempos estándar para cada uno de los trabajos planeados y otras variables permanecen constantes.

El método del Tableau heurístico se presenta en la Tabla 23.

TABLA 23

MÉTODO DE TABLEAU HEURÍSTICO PARA 3 PERIODOS

Periodo	Fuentes	Periodo						Capacidad
		1		2		3		
1	Tiempo regular	Cr		∞		∞		CR1
	Tiempo extra	Co		∞		∞		CO1
	Subcontratación	Cs		∞		∞		CS1
2	Tiempo regular	$Cr+\pi$		Cr		∞		CR2
	Tiempo extra	$Co+\pi$		Co		∞		CO2
	Subcontratación	$Cs+\pi$		Cs		∞		CS2
3	Tiempo regular	$Cr+2\pi$		$Cr+\pi$		Cr		CR3
	Tiempo extra	$Co+2\pi$		$Co+\pi$		Co		CO3
	Subcontratación	$Cs+2\pi$		$Cs+\pi$		Cs		CS3
	Carga de mantenimiento	M1		M2		M3		

Fuente: Sistema de mantenimiento, planeación y control. Autor: Duffuaa, Raouf y Dixon.

Dónde:

- Cr: costo por hora de trabajo en tiempo regular.
- Co: costo por hora de trabajo en tiempo extra.
- Cs: costo por hora de trabajo por subcontratación
- CRt: capacidad interna de tiempo regular en periodo t

- COt: capacidad interna de tiempo extra en periodo t
- CSt: capacidad interna de subcontratación en periodo t
- Mt: carga de mantenimiento pronosticada en el periodo t
- ∞ : representa que los trabajos no pueden realizarse en esos periodos.
- Cr+ π : indica que los trabajos han sido enviados al siguiente periodo por falta de capacidad en el presente periodo, π indica el costo por enviar un trabajo pendiente al siguiente periodo y r toma valores igual al periodo t donde se envíe el trabajo pendiente.

A partir de la carga de mantenimiento pronosticada en la presente investigación se realiza la planeación de la capacidad de mantenimiento utilizando el método de tableau heurístico.

Como la carga diaria de mantenimiento pronosticada es 41,7 horas y partiendo de la base de que una persona trabaja 8 horas diarias de tiempo regular, se puede obtener el número n de personas necesarias para satisfacer la carga pronosticada de la siguiente forma:

$$n = \frac{\text{Carga diaria pronosticada}}{8} = \frac{41,7}{8} = 5.21 \text{ personas}$$

Como el número de personas debe ser un entero, se debe seleccionar entre $n=5$ o $n=6$, el número de personas que se seleccione debe ser aquel que minimice el costo del plan de mantenimiento, por tanto se aplicará el tableau heurístico para evaluar el $n=5$ y $n=6$. En la Tabla 24 y 25 se presenta el Tableau Heurístico para $n=5$ y $n=6$.

Para el análisis se parte de los siguientes supuestos:

- El tiempo de hora extra no debe ser mayor al 25% de la capacidad interna, y solo se podrá hacer uso de este en el turno 3, es decir a partir de las 16h00, por motivos de transporte y alimentación.
- La capacidad de tiempo subcontratado es abundante, por lo que no tiene límite.
- El costo de una hora hombre de trabajo interno es de 1 unidad de dinero.
- El costo de una hora hombre en tiempo extra cuesta 50% más que en tiempo regular, es decir 1,5 unidades de dinero.
- El costo de una hora hombre por subcontratación cuesta 100% más que en tiempo regular, es decir 2 unidades de dinero.

- Enviar un trabajo pendiente al siguiente periodo tiene un costo adicional $r \cdot \pi$, aquí se supone que es $\pi=0,3$ unidades de dinero y r será igual al periodo que se envíe la tarea pendiente.

TABLA 24

**MÉTODO DE TABLEAU HEURÍSTICO PARA 3 PERIODOS, CON
N=5**

Periodo	Fuentes	Periodo						Capacidad
		1		2		3		
1	Tiempo regular	1	40	∞		∞		40
	Tiempo extra	1,5	1,7	∞		∞		1,7
	Subcontratación	2	0	∞		∞		0
2	Tiempo regular			1	40	∞		40
	Tiempo extra			1,5	1,7	∞		1,7
	Subcontratación			2	0	∞		0
3	Tiempo regular					1	40	40
	Tiempo extra					1,5	1,7	1,7
	Subcontratación					2	0	0
	Carga de mantenimiento	41,7		41,7		41,7		

Autor: Sócrates Ramírez T.

El costo total de este plan es la suma de los costos en cada celda de la tabla, que se obtiene al multiplicar el costo de la hora por las horas en la celda. A continuación se realiza este cálculo:

$$TC = (1 * 40) + (1,5 * 1,7) + (1 * 40) + (1,5 * 1,7) + (1 * 40) + (1,5 * 1,7) \\ = 127,65 \text{ unid.}$$

TABLA 25

MÉTODO DE TABLEAU HEURÍSTICO PARA 3 PERIODOS, CON

N=6

Periodo	Fuentes	Periodo						Capacidad
		1		2		3		
1	Tiempo regular	1	48	∞		∞		48
	Tiempo extra	1,5	0	∞		∞		0
	Subcontratación	2	0	∞		∞		0
2	Tiempo regular			1	48	∞		48
	Tiempo extra			1,5	0	∞		0
	Subcontratación			2	0	∞		0
3	Tiempo regular					1	48	48
	Tiempo extra					1,5	0	0
	Subcontratación					2	0	0
	Carga de mantenimiento	41,7		41,7		41,7		

Autor: Sócrates Ramírez T.

El costo total de este plan es la suma de los costos en cada celda de la tabla, que se obtiene al multiplicar el costo de la hora por las horas en la celda. A continuación se realiza este cálculo:

$$TC = (1 * 48) + (1 * 48) + (1 * 48) = 144 \text{ unid.}$$

Al analizar los costos para cada plan, se escoge el plan con $n=5$ personas ya que presente el menor costo para el departamento, 127.65 unidades de dinero respecto a las 144 unidades de dinero que se obtuvo con n igual a 6 personas.

Por tanto para satisfacer la carga diaria de mantenimiento pronosticada de 41,7 horas, se asignaran 5 personas, las cuales a 8 horas de tiempo regular cubren 40 horas al día, y se hará uso del tiempo extra para completar las 1,7 horas que faltan para satisfacer la carga pronosticada. El tiempo extra solo se lo realizará en el turno 3, es decir de 16h00 – 24h00, por disposición de transporte y alimentación.

En la Tabla 26 se presenta una ficha de mantenimiento la cual servirá como una guía para el operador de la máquina y el técnico de mantenimiento, que permitirá una ejecución correcta del plan de

mantenimiento predictivo. Se ha complementado la planeación anteriormente detallada con inspecciones y la técnica del análisis de vibraciones en los componentes principales de la máquina, como son: el rodamiento de la bomba y el motor.

La frecuencia de las actividades detalladas en la ficha de mantenimiento, diario, semanal, mensual y trimestral, han sido obtenidas junto con los 64 datos de disponibilidad, número de fallas y tiempo muerto de las máquinas, las inspecciones que complementan las actividades planeadas han sido elaboradas en base a la lubricación, limpieza, remplazo y mantenimiento general que demandan las máquinas.

La ficha del plan predictivo indica la persona responsable de realizar cada una de las actividades de mantenimiento en las máquinas, ya sea el operador de la máquina, los técnicos de mantenimiento o los contratistas, así como la condición en anomalía del componente que se inspecciona, el método a seguir para inspeccionarlo, las herramientas necesarias para la inspección y la acción correctiva a realizar. Se incluye también la denotación ON para las actividades a realizar con la máquina en funcionamiento y OFF para las actividades a realizar con la máquina fuera de servicio.

TABLA 26
FICHA DE MANTENIMIENTO

MANTENIMIENTO PREDICTIVO										
(Inspección, limpieza, lubricación, remplazo)										
AREA: FUNDICIÓN	RESPONSABILIDAD DEL OPERADOR:	(OP)	INSPECCION, LIMPIEZA, LUBRICACION, REMPLAZO EN MÁQUINA ENCENDIDA:	ON	RESPONSABLE:	MANTENIMIENTO Y PRODUCCION				
MAQUINA: INYECTORA	RESPONSABILIDAD DEL TECNICO DE MANTENIMIENTO:	(TM)	INSPECCION, LIMPIEZA, LUBRICACION, REMPLAZO EN MÁQUINA APAGADA:	OFF	REVISADO:	22/01/2014				
	RESPONSABILIDAD DE SERVICIO EXTERNO DE MANTENIMIENTO:	(SEM)	INFORMAR MANTENIMIENTO:	IM						
COMPONENTE	ESTADO OK	METODO	HERRAMIENTA	ACCION EN ANOMALIA	PERIODO				MAQUINA	
					D	S	M	T	ON	OFF
1. Bomba	Dosificación de plomo ok	Desmontar, desarmar y Mirar (TM)		Sustituir				X		
1.1. Eje	No suciedad	Limpiar (OP)	cuchara de escoria	limpiar	X				X	
	Giro ok	Mirar/Tocar (OP/TM)		Sustituir				X	X	
	No desgaste	Desmontar, Mirar/Tocar (OP/TM)	Llave exagonal de 9/16 pulg.	Sustituir				X		X
1.2. Bocin	No desgaste	Desmontar, Mirar/Tocar (OP/TM)	Llave exagonal de 9/16 pulg.	Sustituir				X		X
1.3. Carcasa superior	No desgaste	Desmontar, Mirar/Tocar (OP/TM)	Llave exagonal de 9/16 pulg.	Sustituir				X		X
1.4. Carcasa inferior	No desgaste	Desmontar, Mirar/Tocar (OP/TM)	Llave exagonal de 9/16 pulg.	Sustituir				X		X
1.5. Impulsor	No desgaste	Desmontar, Mirar/Tocar (OP/TM)	Llave exagonal de 3/4 pulg.	Sustituir				X		X
1.6. Rodamiento	Espectro de vibración ok	Análisis de vibraciones (SEM)	Colector de datos y software	Seguir recomendaciones del SEM			X		X	
	Lubricación	Lubricar (OP)	Grasero	Lubricar	X				X	
1.7. Soporte de bomba	No deformación o fisura	Mirar (OP)		IM			X		X	
1.8. Motor de Bomba	Ruido ok/Vibración ok/Corriente ok	Escuchar/Tocar/Medir (TM)	Amperímetro de gancho	Sustituir		X			X	
1.9. Soporte de motor de bomba	No deformación o fisura	Mirar (OP)		IM			X		X	
1.8. Poleas y Banda	No desgaste	Mirar/Tocar (OP)		IM		X			X	
2. Tubo de alimentación	No suciedad	Limpiar (TM)	varilla metálica, usar llave de tubo de 14 pulg. Para desmontarlo	limpiar			X			X
	Soportes ok	Mirar (OP)		IM			X		X	
2.1. Resistencia vertical	Ohmios ok (20 Ω)	Medir (TM)	Multímetro	Sustituir				X		X
2.2. Resistencia grande horizontal	Ohmios ok (20 Ω)	Medir (TM)	Multímetro	Sustituir				X		X
2.3. Resistencia mediana horizontal	Ohmios ok (20 Ω)	Medir (TM)	Multímetro	Sustituir				X		X
2.4. Termocupla vertical	Temperatura ok (550°C)	Mirar (OP)		IM	X				X	
2.5. Termocupla horizontal 1	Temperatura ok (550°C)	Mirar (OP)		IM	X				X	
2.6. Termocupla horizontal 2	Temperatura ok (550°C)	Mirar (OP)		IM	X				X	

3. Sistema de dosificación	Dosificación de plomo ok	Mirar (TM)		Desmontar y revisar		X				X
3.1. U de cobre	Sin fuga	Mirar (OP)		IM		X				X
	No suciedad	Cambiar (TM)	desmontar con llave exagonal de 11/16 pulg.	Limpiar/Sustituir		X				X
3.2. Valvula	No suciedad	Limpiar (TM)	broca y freza, usar dado de 7/8 pulg. para desmontar.	Limpiar/Sustituir		X				X
3.3. Bola cerámica	No desgaste o fisura	Reemplazar (TM)		Sustituir		X				X
3.4. Porta vaso	No suciedad/No deformación	Limpiar/Tocar (TM)	cepillo, usar llave exagonal de 9/16 pulg. para desmontar	Limpiar/Sustituir		X				X
3.5. Vaso	No suciedad/No deformación	Limpiar/Tocar (TM)	cepillo, usar playo para desmontar	Limpiar/Sustituir		X				X
4. Canoa	No suciedad	Limpiar, 2 veces por turno (OP)	cuchara para escoria	Limpiar		X			X	
	No deformación en los orificos de vaciado	Rectificar (TM)	rectificadora	Rectificar/Sustituir		X				X
	Angulo de grio para el vaciado ok (3-5 grados)	Calibrar (TM)	Llaves exagonal de 9/16 pulg.	Calibrar		X				X
	Lubricación ok	Lubricar (TM)	grasa para alta temperatura	lubricar		X				X
4.1. Barra selladora	Ulama uniforme	calibrar (OP)		IM		X			X	
	No suciedad	Limpiar (OP)	cepillo	limpiar		X			X	
	No deformación en el área de sellado con la canoa	Rectificar (TM)	rectificadora	Rectificar/Sustituir		X				X
4.2. Resistencia de canoa	Ohmios ok (20 Q)	Medir (TM)	Multímetro	Sustituir				X		X
4.3. Termocupla de canoa	Temperatura ok (550°C)	Mirar (OP)		IM		X			X	
4.4. Micro de dosificación	Limpieza y lubricación	Limpiar y lubricar (TM)	Soplete para Aire comprimido/ Pulverizador (usar Aceite W40)	Limpiar lubricar		X				X
4.5. Pistón de dosificación	Presión ok (120 psi)	Mirar (OP)		IM		X			X	
5. Molde	No suciedad en las cintas	Limpiar (OP)	Llaves/waype/cepillo	Limpiar		X				X
	No residuos de rejilla o de aceite	Mirar (OP)		Limpiar con espátula o lavar con detergente y cepillo		X				X
	No desgaste	Mirar (OP)		IM			X			X
	No residuos de mineral en las tuberías para refrigeración	limpiar (TM)	taladro y broca de 11 mm	Limpiar		X				X
5.1. Pistón de molde	Presión ok (120 psi)	Mirar (OP)		IM		X			X	
	Desplazamiento ok	Mirar y calibrar regulador de aire(OP)		calibrar		X			X	
5.2. Botadores	Calibración Ok	Calibrar (TM)	Llave exagonal de 9/16 mm	IM		X				X
	No desgaste	Mirar (TM)	Llave exagonal de 9/16 mm	Sustituir		X				X
5.3. Resortes de botadores	No desgaste	Mirar (TM)	Llave exagonal de 9/16 mm	Sustituir		X				X
5.4. Pistón de botadores	Presión ok (120 psi)	Mirar(OP)		IM		X			X	
	Desplazamiento ok	Mirar y calibrar regulador de aire(OP)		calibrar		X			X	
5.5. Resistencia superior de molde fijo	Ohmios ok	Medir (TM)	Multímetro	Sustituir				X		X
5.6. Resistencia inferior de molde fijo	Ohmios ok	Medir (TM)	Multímetro	Sustituir				X		X
5.7. Resistencia superior de molde movil	Ohmios ok	Medir (TM)	Multímetro	Sustituir				X		X
5.8. Resistencia inferior de molde movil	Ohmios ok	Medir (TM)	Multímetro	Sustituir				X		X
5.9. Termocupla superior molde fijo	Temperatura ok (170-180) °C	Mirar (OP)		IM		X			X	
5.10. Termocupla inferior molde fijo	Temperatura ok (170-180) °C	Mirar (OP)		IM		X			X	
5.11. Termocupla superior molde movil	Temperatura ok (170-180) °C	Mirar (OP)		IM		X			X	
5.12. Termocupla inferior molde movil	Temperatura ok (170-180) °C	Mirar (OP)		IM		X			X	
5.13. Termocupla de agua de enfriamiento	Temperatura ok (30-35) °C	Mirar (OP)		IM		X			X	
5.14. Soporte de molde	No deformación o fisura	Mirar (OP)		IM			X		X	

6. Motor de la máquina	No suciedad	Limpiar (OP)	Waype/escobilla	Limpiar	X					X
	Espectro de vibraciones ok	Análisis de vibraciones (SEM)	Colector de datos y software	Seguir recomendaciones del SEM			X		X	
6.1. Soporte de motor	No deformación o fisura	Mirar (OP)		IM			X		X	
6.2. Motor Reductor	No suciedad	Limpiar (OP)	Waype/cepillo	Limpiar	X					X
	Aceite de lubricación ok	Cambiar (TM)	llave exagonal 9/16	Cambiar aceite				X		X
	Vibración ok, ruido ok	tocar/escuchar (OP)		IM			X		X	
6.3. Soporte de reductor	No deformación o fisura	Mirar (OP)		IM			X		X	
6.4. Engranajes	No suciedad entre los dientes	Limpiar (OP)	escobilla	Limpiar	X				X	
6.5. Cadenas	Lubricación ok	Lubricar (TM)	Waípe	Lubricar/sustituir		X				X
	No rotura	Mirar (OP)		IM			X			X
7. Banda de rejillas	No desgaste	Mirar (OP)	llave alem 11/16 pulg. para desmontar	IM		X			X	
	No suciedad	Limpiar(OP)	Escobilla	Limpiar	X					X
7.1. Rodillos	No suciedad	Limpiar (OP)	pulverizador/waípe	Limpiar con aceite penetrante	X				X	
7.1. Rodamientos	Lubricación ok	Lubricar (OP)	Grasero manual	Lubricar	X				X	
8. Banda de desperdicios	No desgaste	Mirar (OP)	llave alem 11/16 pulg. para desmontar	IM		X			X	
	No suciedad	Limpiar(OP)	Escobilla	Limpiar	X					X
8.1 Rodillos	No suciedad	Limpiar (OP)	pulverizador manual/waípe	Limpiar con aceite penetrante	X				X	
8.2. Rodamientos	Lubricación ok	Lubricar (OP)	Grasero	Lubricar	X				X	
9. Troquel	No suciedad	Limpiar (OP)	Waípe/Tropos	Limpiar	X					X
	Temperatura de agua de enfriamiento ok (37°C)	Mirar display de CCS (OP)		IM	X				X	
	Lubricación ok	Lubricar (OP)	Grasero manual	Lubricar	X				X	
	Calibración Ok	Calibrar (TM)	llave alem de 9/16 pulg.		X					X
9.1. Cuchilla de troquel	chuchilla afilada	Sacar filo (TM)	Torno, llave 5/16 pulg. para desmontar	sacar filo			X			X
	Enfriamiento ok	Mirar(OP)		IM	X				X	
9.2. Bandeja de rebabas	No llena de rebabas	Vaciarla al crisol (2 veces por turno)		Vaciar las rebabas al crisol	X				X	
10. Apilador de rejillas	No suciedad	Limpiar (OP)	pulverizador manual/waípe	Limpiar	X					X
	No deformación	Mirar (OP)		IM			X			X
	Lubricación ok	Lubricar (OP)	Grasero	Lubricar	X				X	
	Calibración Ok	Calibrar (TM)	llave de 5/16 pulg.	Calibrar	X				X	
11. Resguardos de seguridad	No suciedad, pintura ok	limpiar/mirar (OP)	Waype, trapos, desengrasante	limpiar/IM	X				X	
	No deformación o fisura	Mirar (OP)		IM			X		X	
12. Crisol	No escoria	Limpiar 2 veces por turno (OP)	Cuchara para escoria	Limpiar	X				X	
	Temperatura OK	Mirar (OP)		IM	X				X	
	Compuertas cerradas	Mirar (OP)		Cerrar compuertas	X				X	
	No suciedad en paredes externas y compuertas	Limpiar (OP)	Espatula y escobilla	Limpiar	X				X	
12.1. Termocuplas	No suciedad	Limpiar (OP)	Waype	Limpiar	X				X	
	No rotura	Mirar (OP)		IM	X				X	
	Temperatura OK (510°C)	Mirar (OP)		IM	X				X	
					IM	X			X	
13. Chiler	Temperatura ok (8°C)	Mirar (OP)		IM	X				X	
14. CCS	Temperatura de enfriamiento ok (30-35)°C	Mirar (OP)		IM	X				X	
	Compuerta cerrada	Cerrar (OP)		Cerrar compuerta	X				X	

Autor: Sócrates Ramírez T.

Es importante establecer que este plan de mantenimiento predictivo no está catalogado como inflexible, puesto que las inspecciones sistemáticas que se realizarán por parte de los operadores de las máquinas y los técnicos de mantenimiento, y con la información proporcionada por el servicio externo de empresas especializadas en el mantenimiento industrial, permitirán alertar de con anterioridad de posibles fallas o desperfectos en cada uno de los componentes de las máquinas, los cuales no han sido tratados de manera planificada y eficaz en su tiempo de operación.

Cuando este plan de mantenimiento predictivo inicie su implementación es necesario que todas las actividades de mantenimiento realizadas en las máquinas sean debidamente recopiladas y registradas en los distintos turnos de operación, para de esta forma analizar el comportamiento de operación de cada uno de los componentes de las máquinas y las actividades de mantenimiento realizadas sobre estos. Esto permitirá tener una base confiable para el análisis de la efectividad del mantenimiento preventivo respecto a las reparaciones.

En base al tiempo de operación de las máquinas, demanda de mantenimiento, recomendaciones de los fabricantes y experiencia de

operadores y técnicos se establece 8 horas semanales de tiempo regular de mantenimiento preventivo a las máquinas, en este tiempo se realizarán las actividades semanales detalladas en la ficha de mantenimiento. Este mantenimiento preventivo se podrá extender solo si la actividad así lo requiere de acuerdo a la planeación elaborada.

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este capítulo se realiza un análisis de los primeros resultados obtenidos con la aplicación del plan de mantenimiento predictivo detallado en el capítulo 4, el análisis se lo realiza respecto al tiempo de paro evitado por concepto de intervenciones del departamento de mantenimiento sobre las máquinas y la disponibilidad de las mismas.

En esta primera parte de aplicación del mantenimiento predictivo, la técnica predictiva del análisis de vibraciones en el rodamiento de la bomba de dosificación y en el motor eléctrico de la máquina se aplicará una vez que se haya contratado a la empresa externa de mantenimiento industrial que ofrezca este servicio. Con respecto a los demás puntos del plan de

mantenimiento predictivo han sido aplicados en base a lo detallado en el capítulo anterior.

Los resultados analizados corresponden a datos recolectados en 20 días de operación de las máquinas hasta el cierre de la presente investigación. En el Apéndice 3 se presentan los datos recolectados.

En la Tabla 27 se presentan los resultados obtenidos con la aplicación del mantenimiento predictivo.

TABLA 27
RESULTADOS OBTENIDOS CON APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO
PREDICTIVO

Máquina	MTBF (horas/día)	MTTR (horas/día)	A (%/día)	t (horas/día)
1	7.4	1.3	84	4.6
2	8	1.6	85	4.4
3	8.9	1.2	90	3.6
4	9.3	2.2	78	5.8
5	5.2	1.9	67	6.8
6	6.1	2.6	69	6.9
7	4.4	2.4	65	6.3
8	1.7	4.3	35	11.1

Autor: Sócrates Ramírez T.

Dónde:

- MTBF: tiempo medio entre fallas, en horas por día
- MTTR: tiempo medio para la reparación, en horas por día.
- A: disponibilidad de las máquinas para producción, media porcentual por día
- t: Tiempo diario que demandan las máquinas por servicio de mantenimiento, este parámetro se representa en un promedio de horas por día, se lo obtiene al sumar las horas al día que demandan las máquinas por concepto del mantenimiento preventivo, el cual es 1.5 horas por día en el plan de mantenimiento predictivo, y del tiempo muerto o tiempo que la máquina no está disponible para producción debido a una falla que la dejó fuera de funcionamiento, detallado en el apéndice 3.

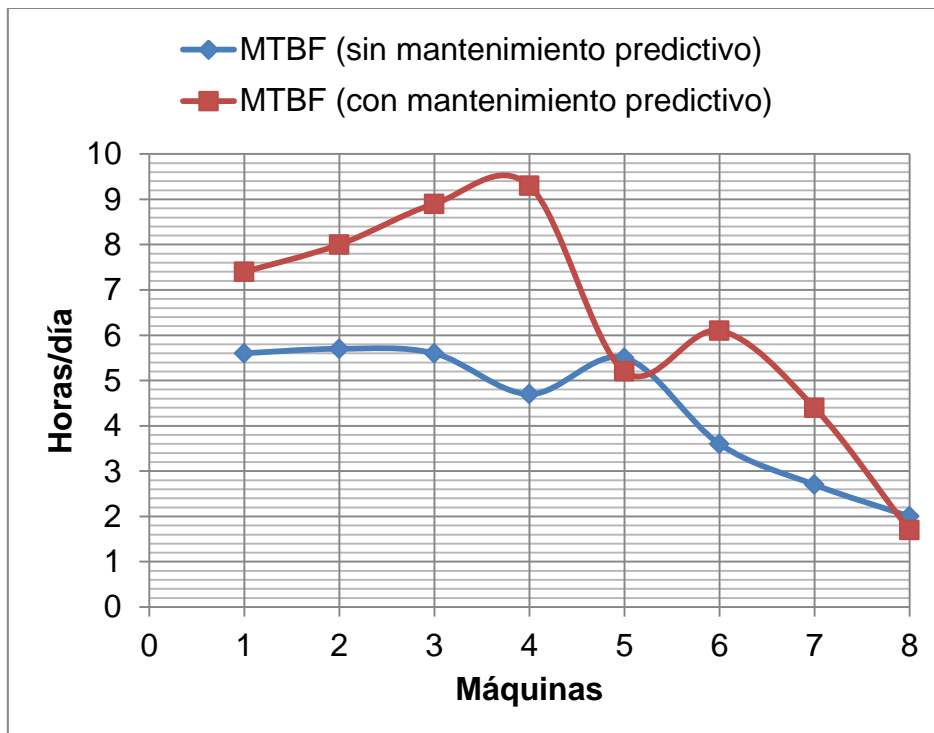
Para el análisis de estos resultados se utilizará la Tabla 6 detallada en el Capítulo 3, que muestra los parámetros de confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y de tiempo de demanda por servicio de mantenimiento sin la aplicación del plan de mantenimiento predictivo en las máquinas.

En la Tabla 28 se presenta la confiabilidad de las máquinas sin la aplicación del mantenimiento predictivo y con la aplicación del mantenimiento predictivo. En la Figura 5.1 se puede observar gráficamente estos resultados.

TABLA 28
CONFIABILIDAD (MTBF), SIN MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y CON
MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Máquina	MTBF (sin mantenimiento predictivo) (horas/día)	MTBF (con mantenimiento predictivo) (horas/día)
1	5,6	7,4
2	5,7	8
3	5,6	8,9
4	4,7	9,3
5	5,5	5,2
6	3,6	6,1
7	2,7	4,4
8	2	1,7

Autor: Sócrates Ramírez T.



Autor: Sócrates Ramírez T.

Figura 5.1 CONFIABILIDAD DE LAS MÁQUINAS, SIN MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y CON MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

Se puede observar que la confiabilidad se ha incrementado en 6 de las 8 máquinas, en un rango de 1,7 a 4,6 horas de disponibilidad para producción.

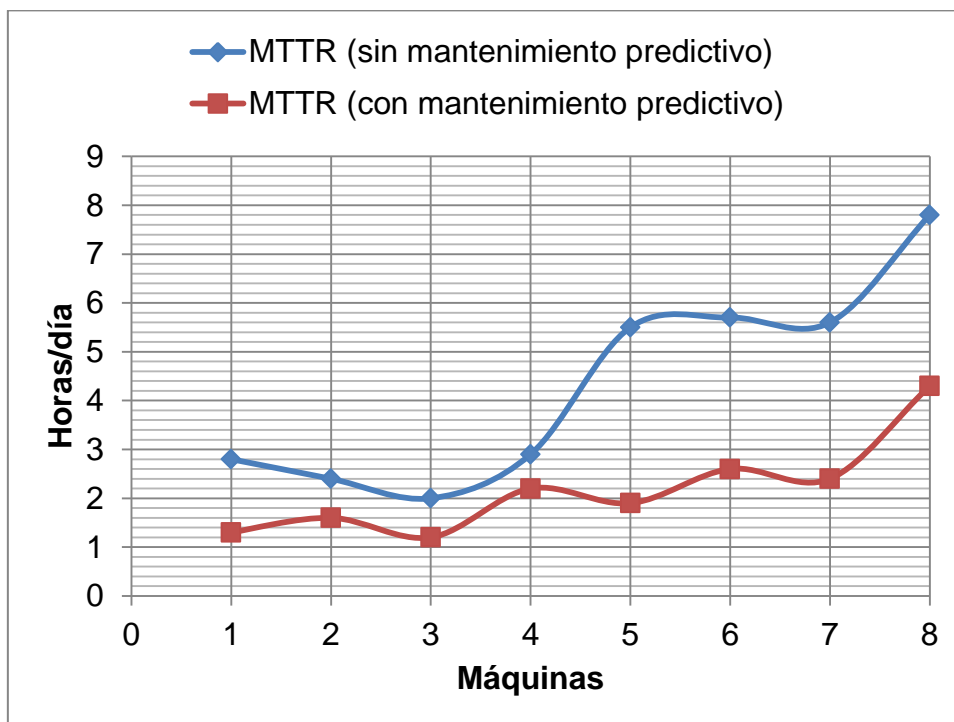
En las máquinas 5 y 8 la confiabilidad se mantenido relativamente sin variación, lo cual será analizado con el índice de mantenibilidad asociado a estas.

En la Tabla 29 se presenta la mantenibilidad de las máquinas sin la aplicación del mantenimiento predictivo y con la aplicación del mantenimiento predictivo. En la Figura 5.2 se puede observar gráficamente estos resultados.

TABLA 29
MANTENIBILIDAD (MTTR), SIN MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y CON
MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Máquina	MTTR (sin mantenimiento predictivo) (horas/día)	MTTR (con mantenimiento predictivo) (horas/día)
1	2,8	1,3
2	2,4	1,6
3	2	1,2
4	2,9	2,2
5	5,5	1,9
6	5,7	2,6
7	5,6	2,4
8	7,8	4,3

Autor: Sócrates Ramírez T.



Autor: Sócrates Ramírez T.

Figura 5.2 MANTENIBILIDAD DE LAS MÁQUINAS, SIN MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y CON MANTENIMIENTO PREDICTIVO

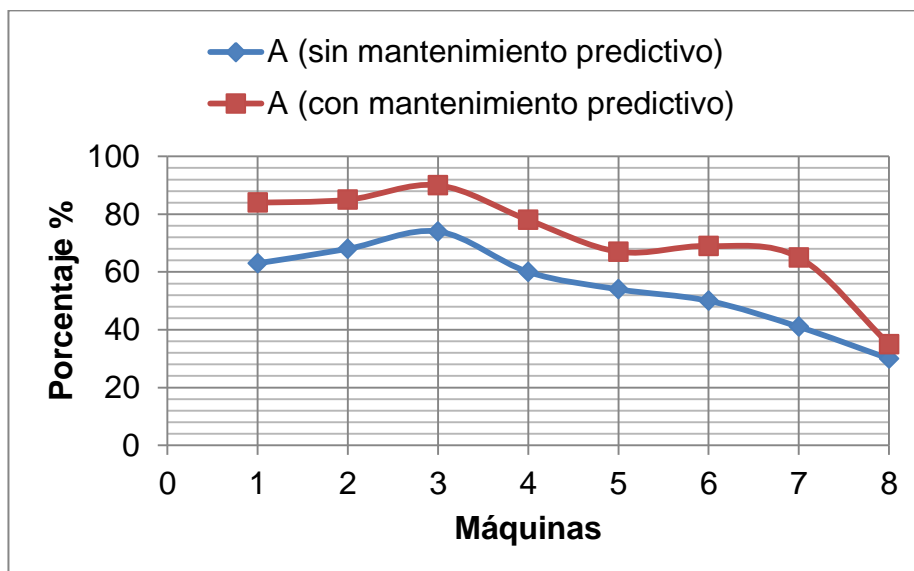
Se puede observar que el tiempo medio por reparación se ha reducido en todas las máquinas, en valores desde 0,7 a 3,6 horas, por lo que ahora el sistema de mantenimiento es mucho más eficiente. Por lo tanto se puede decir que el sistema ha incrementado su mantenibilidad.

En la Tabla 30 se presenta la disponibilidad de las máquinas sin el plan de mantenimiento predictivo y con el plan de mantenimiento predictivo. En la Figura 5.3 se puede observar gráficamente estos resultados.

TABLA 30
DISPONIBILIDAD(A), SIN MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y CON
MANTENIMIENTO PREDICTIVO

MÁQUINA	A(sin predictivo) (horas/día)	A(con predictivo) (horas/día)
1	63%	84%
2	68%	85%
3	74%	90%
4	60%	78%
5	54%	67%
6	50%	69%
7	41%	65%
8	30%	35%

Autor: Sócrates Ramírez T.



Autor: Sócrates Ramírez T.

FIGURA 5.3 DISPONIBILIDAD DE LAS MÁQUINAS, SIN MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y CON MANTENIMIENTO PREDICTIVO

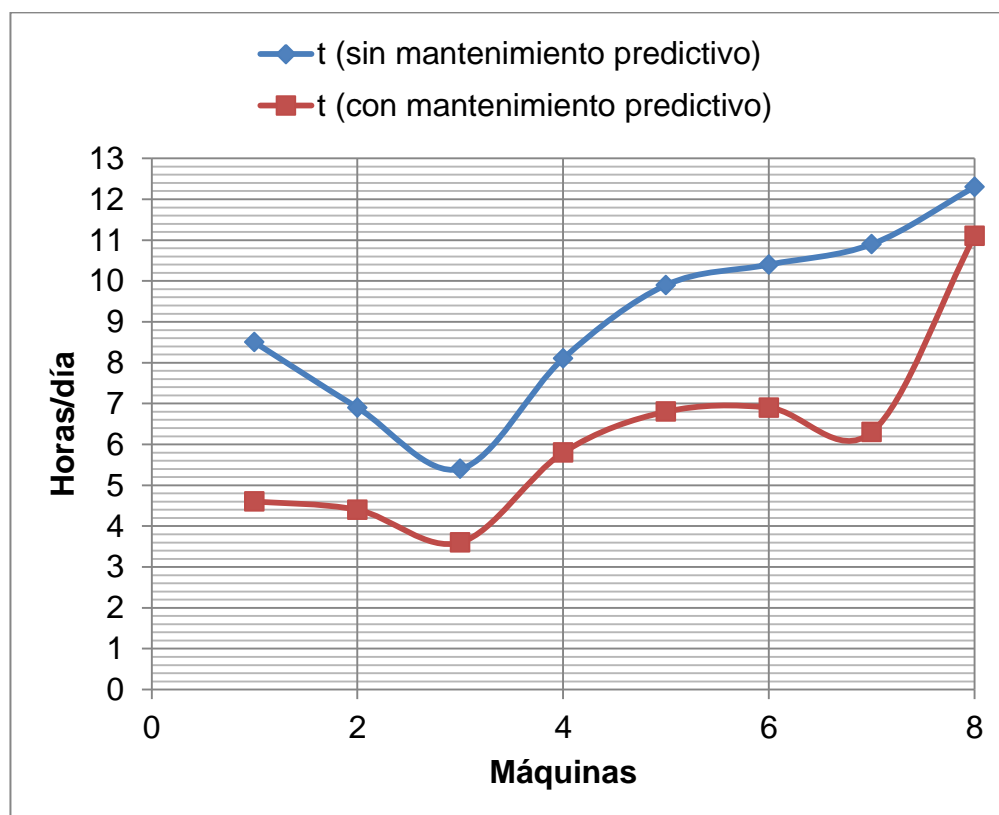
Se puede observar que la disponibilidad para producción se ha incrementado en todas las máquinas, en valores desde el 5% al 24%, por lo tanto se puede decir también que el tiempo muerto por fallas en las máquinas es ahora menor.

En la Tabla 31 se presenta el tiempo de demanda por servicio de mantenimiento de las máquinas sin el plan de mantenimiento predictivo y con el plan de mantenimiento predictivo. En la Figura 5.4 se puede observar gráficamente estos resultados.

TABLA 31
TIEMPO DE DEMANDA POR SERVICIO DE MANTENIMIENTO (t), SIN PLAN PREDICTIVO Y CON PLAN PREDICTIVO.

MÁQUINA	TIEMPO DE DEMANDA POR SERVICIO DE MANTENIMIENTO(sin mantenimiento predictivo) (horas/día)	TIEMPO DE DEMANDA POR SERVICIO DE MANTENIMIENTO(con mantenimiento predictivo) (horas/día)	TIEMPO DE PARO EVITADO (horas/día)
1	8,5	4,6	3.9
2	6,9	4,4	2.5
3	5,4	3,6	1.8
4	8,1	5,8	2.3
5	9,9	6,8	3.1
6	10,4	6,9	3.5
7	10,9	6,3	4.6
8	12,3	11,1	1.2

Autor: Sócrates Ramírez T.



Autor: Sócrates Ramírez T.

FIGURA 5.4 TIEMPO DE DEMANDA POR SERVICIO DE MANTENIMIENTO DE LAS MÁQUINAS, SIN PLAN PREDICTIVO Y CON PLAN PREDICTIVO

Se puede observar que el tiempo demandado por servicio de mantenimiento se ha reducido en todas las máquinas, en valores desde 1,2 a 4,6 horas, por lo tanto se puede evidenciar que la gestión del departamento de mantenimiento hacia las máquinas es más productiva con la aplicación del plan predictivo.

Los resultados presentados en este capítulo muestran que con la aplicación del plan de mantenimiento predictivo, se ha logrado administrar de mejor forma los

recursos que posee el departamento de mantenimiento en el servicio que se le da a las máquinas, puesto que el tiempo que se invierte en las misma se ha visto disminuido y la disponibilidad se ha incrementado. Por lo tanto se puede decir que con el plan predictivo el sistema de mantenimiento es más eficiente.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

- Las recomendaciones proporcionadas por los operadores de las máquinas y los técnicos de mantenimiento se constituyen en fuente principal para la elaboración de un plan de mantenimiento, debido a que conforman de manera particular la operación y mantenimiento que se da en las máquinas, en contraste con las recomendaciones de los fabricantes que son generales, sin embargo puede ser considerada como una guía para la elaboración del plan de mantenimiento.
- El plan de mantenimiento predictivo establece una metodología de gestión eficiente para de esta forma administrar adecuadamente los

recursos con los que dispone el departamento de mantenimiento en el servicio que realiza sobre las máquinas.

- El plan de mantenimiento predictivo debe involucrar al operador de la máquina y a los técnicos de mantenimiento, la inspección, limpieza, lubricación y remplazo de los componentes principales serán realizados en primera instancia por los operadores y en los casos donde se requiere el conocimiento especializado o de determinadas herramientas a utilizar se debe recurrir a los técnicos para la ejecución y el cumplimiento del plan de mantenimiento predictivo.
- La disponibilidad de las máquinas para producción depende directamente de las condiciones en las que las mismas se encuentran operando. El plan de mantenimiento predictivo desarrollado en la presente investigación está orientado a lograr condiciones correctas de operación y de mantenimiento de las máquinas.
- El plan de mantenimiento predictivo a través de las inspecciones y de las intervenciones de mantenimiento propiamente establecidas permiten tener un diagnóstico sobre el estado de la máquina, para de esta forma programar oportunamente las acciones correctivas a realizar.

Recomendaciones.

- Es necesario crear bitácoras de mantenimiento digitales para cada una de las máquinas, esto permitirá la continuidad de las acciones de mantenimiento que en ellas se realizan, evitando así caer en acciones repetitivas, que incrementan el tiempo muerto de las máquinas.
- El documento oficial que detalla las acciones de mantenimiento que se realizan en las máquinas debe ser la bitácora digital, es por esto que la gerencia de la planta debe establecerlo como procedimiento oficial y difundirlo a los departamentos involucrados.
- Crear un documento de control diario para las máquinas, allí se debe detallar el tipo de falla, el tiempo de paro por cada falla y el número de total de fallas que se presentan. De esta forma se podrá determinar la disponibilidad, la confiabilidad y la mantenibilidad, medidas que representan el estado de la capacidad productiva de la máquina y evalúan la gestión de mantenimiento que se da en las mismas.
- Debido a la falta de capacitación respecto a la técnica predictiva del análisis de vibraciones, esta debe ser realizada en primera instancia por una empresa externa especializada en esta área, al mediano plazo se debe planear y programas capacitación al personal operativo y

técnicos de mantenimiento respecto a este tema, para de esta forma sean ellos quienes lo ejecuten.

- Programar reuniones mensuales entre supervisor de mantenimiento, de producción y operadores de las máquinas, en tales reuniones se difundirá el total de producción alcanzado en el mes anterior, la producción promedio diaria y en caso de estar por debajo de la producción mínima se revisará los principales problemas suscitados en la máquina. Una vez definido los principales problemas se planeará y programará las acciones correctivas.
- El plan de mantenimiento predictivo desarrollado en la presente investigación debe ser establecido como requisito necesario y reconocido oficialmente por la gerencia de la planta en la gestión de mantenimiento que se realiza en las máquinas, de esta forma se exigirá el cumplimiento del mismo a los departamentos involucrados.
- El plan de mantenimiento predictivo elaborado en la presente investigación debe ser constantemente retroalimentado por la bitácora digital y por las reuniones mensuales programadas entre el departamento de producción y mantenimiento.
- El plan de mantenimiento predictivo debe ser creado y aplicado en las diferentes áreas de la planta, la metodología aquí presentada puede

ser tomada como referencia para la elaboración planes de mantenimiento predictivo en el resto de áreas de la planta.

APÉNDICES

APÉNDICE 1

TIEMPO PROGRAMADO PARA PRODUCCIÓN, NÚMEROS DE FALLAS Y TIEMPO MUERTO, EN DÍAS, PARA LAS MÁQUINAS.

Dónde:

- S: Tiempo programado para producción, en horas al día
- d: Tiempo muerto diario por intervenciones de mantenimiento, en horas al día.
- f: número de fallas diarias
- A: disponibilidad diaria de la máquina para producción, en porcentaje.

$$A = \frac{S - d}{S} * 100\%$$

- Id: Porcentaje de tiempo muerto diario.

$$Id = 100\% - A$$

- MTBF: Tiempo medio entre fallas, en horas al día.

$$MTBF = \frac{S - d}{f}$$

- MTTR: Tiempo medio para reparación, en horas al día.

$$MTTR = \frac{d}{f}$$

Las celdas que no contienen datos, representan los días en que la máquina no operó debido a inasistencia a laborar del operador. Para el cálculo de la media de los índices que se indican anteriormente, solo se han tomado en cuenta los días en que la máquina estuvo operando y los días de inasistencia de personal no le los tomó en cuenta en los cálculos.

Máquina	Dia 1							Dia 2						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTRR(horas)	S	d	A	Id	f	MTBF	MTRR
1	11,25	4	64%	36%	3	2,4	1,3	22,5	10,5	53,3%	46,7%	5	2,4	2,1
2	11,25	6	47%	53%	2	2,6	3,0	22,5	6,5	71,1%	28,9%	4	4,0	1,6
3	11,25	0	100%	0%	0	0,0	0,0	22,5	4,5	80,0%	20,0%	4	4,5	1,1
4	11,25	0	100%	0%	0	0,0	0,0	22,5	5	77,8%	22,2%	3	5,8	1,7
5	11,25	1,5	87%	13%	1	9,8	1,5	22,5	9,5	57,8%	42,2%	8	1,6	1,2
6	11,25	0	100%	0%	0	0,0	0,0	22,5	0	100,0%	0,0%	0	0,0	0,0
7	11,25	0	100%	0%	0	0,0	0,0	22,5	12	46,7%	53,3%	5	2,1	2,4
8	11,25	0	100%	0%	0	0,0	0,0	22,5	0	100,0%	0,0%	0	0,0	0,0
Máquina	Dia 3							Dia 4						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTRR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTRR(horas)
1	22,5	5,5	75,6%	24,4%	2	8,5	2,8	22,5	5	77,8%	22,2%	1	17,5	5,0
2	22,5	4,5	80,0%	20,0%	2	9,0	2,3	22,5	9	60,0%	40,0%	4	3,4	2,3
3	22,5	0	100,0%	0,0%	0	0,0	0,0	22,5	0	100,0%	0,0%	0	0,0	0,0
4	22,5	5,5	75,6%	24,4%	3	5,7	1,8	22,5	3,5	84,4%	15,6%	3	6,3	1,2
5	22,5	4,5	80,0%	20,0%	2	9,0	2,3	22,5	0	100,0%	0,0%	0	0,0	0,0
6	22,5	14	37,8%	62,2%	5	1,7	2,8	22,5	5,5	75,6%	24,4%	4	4,3	1,4
7	16,5	0	100,0%	0,0%	0	0,0	0,0	16,75	0	100,0%	0,0%	0	0,0	0,0
8	16,5	13	21,2%	78,8%	3	1,2	4,3	16,75	16	4,5%	95,5%	2	0,4	8,0
Máquina	Dia 5							Dia 6						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTRR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTRR(horas)
1	7,25	0	100,0%	0,0%	0	0,0	0,0	22,5	2	91,1%	8,9%	1	20,5	2,0
2	7,25	1,5	79,3%	20,7%	1	5,8	1,5	22,5	3,5	84,4%	15,6%	2	9,5	1,8
3	7,25	2,5	65,5%	34,5%	1	4,8	2,5	22,5	3,5	84,4%	15,6%	2	9,5	1,8
4	7,25	2	72,4%	27,6%	2	2,6	1,0	22,5	3	86,7%	13,3%	2	9,8	1,5
5	7,25	0	100,0%	0,0%	0	0,0	0,0	22,5	9	60,0%	40,0%	5	2,7	1,8
6	7,25	0	100,0%	0,0%	0	0,0	0,0	22,5	17,5	22,2%	77,8%	5	1,0	3,5
7	7,25	5	31,0%	69,0%	1	2,3	5,0	22,5	14	37,8%	62,2%	3	2,8	4,7
8	7,25	7,25	0,0%	100,0%	1	0,0	7,3	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5
Máquina	Dia 7							Dia 8						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTRR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTRR(horas)
1	22,5	2	91,1%	8,9%	1	20,5	2,0	22,5	2	91,1%	8,9%	1	20,5	2,0
2	22,5	6,5	71,1%	28,9%	3	5,3	2,2	22,5	10	55,6%	44,4%	5	2,5	2,0
3	22,5	2	91,1%	8,9%	2	10,3	1,0	22,5	10,5	53,3%	46,7%	6	2,0	1,8
4	22,5	0	100,0%	0,0%	0	0,0	0,0	22,5	6	73,3%	26,7%	5	3,3	1,2
5	22,5	1,5	93,3%	6,7%	1	21,0	1,5	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5
6	22,5	4,5	80,0%	20,0%	5	3,6	0,9	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5
7	22,5	1,5	93,3%	6,7%	2	10,5	0,8	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5
8	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5

Máquina	Dia 9							Dia 10						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	22,5	0	100,0%	0,0%	0	0,0	0,0	22,5	8,25	63,3%	36,7%	2	7,1	4,1
2	22,5	3	86,7%	13,3%	1	19,5	3,0	22,5	10,25	54,4%	45,6%	3	4,1	3,4
3	22,5	4,75	78,9%	21,1%	3	5,9	1,6	22,5	15	33,3%	66,7%	4	1,9	3,8
4	22,5	2,5	88,9%	11,1%	2	10,0	1,3	22,5	9,25	58,9%	41,1%	3	4,4	3,1
5	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5
6	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5
7	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5
8	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5
Máquina	Dia 11							Dia 12						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	22,5	3,5	84,4%	15,6%	2	9,5	1,8	15,25	6	60,7%	39,3%	2	4,6	3,0
2	22,5	17,25	23,3%	76,7%	3	1,8	5,8	15,25	15,25	0,0%	100,0%	1	0,0	15,3
3	22,5	8	64,4%	35,6%	7	2,1	1,1	15,25	15,25	0,0%	100,0%	1	0,0	15,3
4	22,5	17,5	22,2%	77,8%	7	0,7	2,5	15,25	6	60,7%	39,3%	3	3,1	2,0
5	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5
6	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5
7	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5
8	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5
Máquina	Dia 13							Dia 14						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	18,5	2	89,2%	10,8%	1	16,5	2,0	22,5	4,5	80,0%	20,0%	3	6,0	1,5
2	22,5	7	68,9%	31,1%	2	7,8	3,5	22,5	16	28,9%	71,1%	3	2,2	5,3
3	22,5	1	95,6%	4,4%	2	10,8	0,5	22,5	4,5	80,0%	20,0%	4	4,5	1,1
4	22,5	10	55,6%	44,4%	6	2,1	1,7	22,5	3	86,7%	13,3%	2	9,8	1,5
5	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5	22,5	11,5	48,9%	51,1%	8	1,4	1,4
6	7,25	3,5	51,7%	48,3%	2	1,9	1,8	18,5	1,5	91,9%	8,1%	2	8,5	0,8
7	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5	22,5	13,5	40,0%	60,0%	3	3,0	4,5
8	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5
Máquina	Dia 15							Dia 16						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	22,5	9,5	57,8%	42,2%	4	3,3	2,4	22,5	3	86,7%	13,3%	2	9,8	1,5
2	22,5	13,5	40,0%	60,0%	6	1,5	2,3	22,5	9,25	58,9%	41,1%	3	4,4	3,1
3	22,5	6	73,3%	26,7%	4	4,1	1,5	22,5	7,25	67,8%	32,2%	1	15,3	7,3
4	22,5	3	86,7%	13,3%	3	6,5	1,0	22,5	7,5	66,7%	33,3%	2	7,5	3,8
5	22,5	13,25	41,1%	58,9%	4	2,3	3,3	22,5	10,75	52,2%	47,8%	4	2,9	2,7
6	22,5	18,25	18,9%	81,1%	3	1,4	6,1	22,5	5,5	75,6%	24,4%	4	4,3	1,4
7	22,5	14	37,8%	62,2%	4	2,1	3,5	22,5	12	46,7%	53,3%	4	2,6	3,0
8	22,5	21,5	4,4%	95,6%	3	0,3	7,2	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5

Máquina	Dia 17							Dia 18						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	22,5	0	100,0%	0,0%	0	0,0	0,0	22,5	0	100,0%	0,0%	0	0,0	0,0
2	22,5	10,75	52,2%	47,8%	3	3,9	3,6	22,5	0	100,0%	0,0%	0	0,0	0,0
3	18,5	11,5	37,8%	62,2%	5	1,4	2,3	22,5	9,5	57,8%	42,2%	5	2,6	1,9
4	17,5	7,5	57,1%	42,9%	5	2,0	1,5	22,5	11	51,1%	48,9%	3	3,8	3,7
5	22,5	11	51,1%	48,9%	4	2,9	2,8	22,5	19,75	12,2%	87,8%	5	0,6	4,0
6	22,5	10,5	53,3%	46,7%	5	2,4	2,1	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5
7	18,5	4	78,4%	21,6%	1	14,5	4,0	22,5	21,5	4,4%	95,6%	3	0,3	7,2
8	22,5	17,25	23,3%	76,7%	3	1,8	5,8	22,5	3	86,7%	13,3%	2	9,8	1,5
Máquina	Dia 19							Dia 20						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	18,5	3	83,8%	16,2%	3	5,2	1,0	8	0	100,0%	0,0%	0	0,0	0,0
2	22,5	17,75	21,1%	78,9%	3	1,6	5,9	8	8	0,0%	100,0%	1	0,0	8,0
3	18,5	6,5	64,9%	35,1%	4	3,0	1,6	8	1	87,5%	12,5%	1	7,0	1,0
4	22,5	3	86,7%	13,3%	1	19,5	3,0	8	4	50,0%	50,0%	1	4,0	4,0
5	22,5	10	55,6%	44,4%	7	1,8	1,4	8	2	75,0%	25,0%	1	6,0	2,0
6	18,5	12	35,1%	64,9%	5	1,3	2,4	8	2	75,0%	25,0%	1	6,0	2,0
7	18,5	16,5	10,8%	89,2%	3	0,7	5,5	15,25	15,25	0,0%	100,0%	1	0,0	15,3
8	22,5	12,5	44,4%	55,6%	3	3,3	4,2	15,25	1,5	90,2%	9,8%	1	13,8	1,5
Máquina	Dia 21							Dia 22						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	18,5	10,5	43,2%	56,8%	4	2,0	2,6	22,5	9	60,0%	40,0%	3	4,5	3,0
2	22,5	6,5	71,1%	28,9%	5	3,2	1,3	22,5	8,5	62,2%	37,8%	5	2,8	1,7
3	18,5	11,25	39,2%	60,8%	3	2,4	3,8	22,5	13	42,2%	57,8%	5	1,9	2,6
4	22,5	8	64,4%	35,6%	3	4,8	2,7	22,5	4,5	80,0%	20,0%	3	6,0	1,5
5	22,5	5,5	75,6%	24,4%	3	5,7	1,8	22,5	5	77,8%	22,2%	5	3,5	1,0
6	22,5	5,5	75,6%	24,4%	5	3,4	1,1	22,5	3	86,7%	13,3%	3	6,5	1,0
7	22,5	10,25	54,4%	45,6%	3	4,1	3,4	22,5	6	73,3%	26,7%	5	3,3	1,2
8	18,5	18	2,7%	97,3%	4	0,1	4,5	22,5	2,5	88,9%	11,1%	2	10,0	1,3
Máquina	Dia 23							Dia 24						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	22,5	16,25	27,8%	72,2%	6	1,0	2,7	22,5	18,5	17,8%	82,2%	3	1,3	6,2
2	22,5	2,5	88,9%	11,1%	1	20,0	2,5	22,5	6	73,3%	26,7%	3	5,5	2,0
3	22,5	4,5	80,0%	20,0%	2	9,0	2,3	22,5	7,25	67,8%	32,2%	1	15,3	7,3
4	22,5	7,5	66,7%	33,3%	3	5,0	2,5	18,5	12,25	33,8%	66,2%	3	2,1	4,1
5	22,5	13	42,2%	57,8%	6	1,6	2,2	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5
6	22,5	8	64,4%	35,6%	6	2,4	1,3	22,5	22,5	0,0%	100,0%	1	0,0	22,5
7	15,25	5	67,2%	32,8%	2	5,1	2,5	15,25	6	60,7%	39,3%	3	3,1	2,0
8	15,25	0	100,0%	0,0%	0	0,0	0,0	15,25	5	67,2%	32,8%	2	5,1	2,5

Máquina	Dia 25							Dia 26						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTRR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTRR(horas)
1	22,5	12,75	43%	57%	4	2,4	3,2	14,75	8,5	42%	58%	4	1,6	2,1
2	22,5	5,75	74%	26%	1	16,8	5,8	14,75	0	100%	0%	0	0,0	0,0
3	14,25	1	93%	7%	1	13,3	1,0	14,75	7,75	47%	53%	2	3,5	3,9
4	14,25	4	72%	28%	3	3,4	1,3	14,75	9	39%	61%	5	1,2	1,8
5	14,25	5,5	61%	39%	3	2,9	1,8	14,75	3	80%	20%	2	5,9	1,5
6	14,25	1	93%	7%	2	6,6	0,5	14,75	6	59%	41%	3	2,9	2,0
7	8	0	100%	0%	0	0,0	0,0	14,75	9,75	34%	66%	3	1,7	3,3
8	8	6	25%	75%	2	1,0	3,0	14,75	4	73%	27%	3	3,6	1,3
Máquina	Dia 27							Dia 28						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTRR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTRR(horas)
1	21,5	17,5	19%	81%	6	0,7	2,9	22,5	12,25	46%	54%	3	3,4	4,1
2	17,5	9,75	44%	56%	2	3,9	4,9	22,5	14,5	36%	64%	6	1,3	2,4
3	22,5	2,5	89%	11%	1	20,0	2,5	22,5	1	96%	4%	1	21,5	1,0
4	22,5	5,5	76%	24%	2	8,5	2,8	22,5	9	60%	40%	3	4,5	3,0
5	15,25	9	41%	59%	3	2,1	3,0	22,5	4,5	80%	20%	2	9,0	2,3
6	15,25	15,25	0%	100%	1	0,0	15,3	22,5	17,75	21%	79%	4	1,2	4,4
7	15,25	12	21%	79%	3	1,1	4,0	22,5	9	60%	40%	3	4,5	3,0
8	15,25	7	54%	46%	2	4,1	3,5	22,5	1	96%	4%	1	21,5	1,0
Máquina	Dia 29							Dia 30						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTRR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTRR(horas)
1	22,5	12,5	44%	56%	4	2,5	3,1	14,5	6,5	55%	45%	2	4,0	3,3
2	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0	14,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
3	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0	14,5	2,5	83%	17%	2	6,0	1,3
4	22,5	7	69%	31%	5	3,1	1,4	10,5	4	62%	38%	1	6,5	4,0
5	22,5	2	91%	9%	1	20,5	2,0	14,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
6	22,5	7,5	67%	33%	3	5,0	2,5	14,5	2	86%	14%	1	12,5	2,0
7	22,5	15,75	30%	70%	5	1,4	3,2	14,5	13	10%	90%	3	0,5	4,3
8	22,5	3	87%	13%	2	9,8	1,5	14,5	5	66%	34%	3	3,2	1,7
Máquina	Dia 31							Dia 32						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTRR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTRR(horas)
1	22,5	9,75	57%	43%	3	4,3	3,3	22,5	22,5	0%	100%	1	0,0	22,5
2	22,5	3,5	84%	16%	3	6,3	1,2	22,5	6	73%	27%	3	5,5	2,0
3	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
4	22,5	8,5	62%	38%	5	2,8	1,7	22,5	1,5	93%	7%	1	21,0	1,5
5	22,5	8,5	62%	38%	1	14,0	8,5	22,5	14,5	36%	64%	2	4,0	7,3
6	22,5	5,5	76%	24%	4	4,3	1,4	22,5	2	91%	9%	2	10,3	1,0
7	22,5	5	78%	22%	1	17,5	5,0	22,5	7	69%	31%	4	3,9	1,8
8	22,5	16,25	28%	72%	3	2,1	5,4	22,5	3,5	84%	16%	2	9,5	1,8

Máquina	Dia 33							Dia 34						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	15,25	14	8%	92%	2	0,6	7,0	22,5	1	96%	4%	1	21,5	1,0
2	11,25	5	56%	44%	3	2,1	1,7	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
3	8	5,5	31%	69%	2	1,3	2,8	16,25	6	63%	37%	2	5,1	3,0
4	8	5,5	31%	69%	2	1,3	2,8	16,25	9	45%	55%	2	3,6	4,5
5	17,25	9,5	45%	55%	2	3,9	4,8	22,5	3	87%	13%	2	9,8	1,5
6	17,25	9	48%	52%	3	2,8	3,0	22,5	7,5	67%	33%	5	3,0	1,5
7	17,25	9	48%	52%	3	2,8	3,0	14,5	13	10%	90%	3	0,5	4,3
8	17,25	17,25	0%	100%	1	0,0	17,3	14,5	12	17%	83%	2	1,3	6,0
Máquina	Dia 35							Dia 36						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	22,5	9	60%	40%	5	2,7	1,8	10,5	4	62%	38%	1	6,5	4,0
2	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0	14,5	4	72%	28%	1	10,5	4,0
3	22,5	1,5	93%	7%	1	21,0	1,5	14,5	5,5	62%	38%	2	4,5	2,8
4	22,5	9,95	56%	44%	4	3,1	2,5	14,5	9,5	34%	66%	3	1,7	3,2
5	22,5	1	96%	4%	1	21,5	1,0	14,5	3	79%	21%	2	5,8	1,5
6	22,5	22,5	0%	100%	1	0,0	22,5	14,5	14,5	0%	100%	1	0,0	14,5
7	22,5	20,5	9%	91%	1	2,0	20,5	14,5	14	3%	97%	3	0,2	4,7
8	22,5	5,5	76%	24%	5	3,4	1,1	14,5	14	3%	97%	2	0,3	7,0
Máquina	Dia 37							Dia 38						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	10,5	4	62%	38%	1	6,5	4,0	22,5	10	56%	44%	3	4,2	3,3
2	14,5	4	72%	28%	1	10,5	4,0	22,5	18,25	19%	81%	4	1,1	4,6
3	14,5	5,5	62%	38%	2	4,5	2,8	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
4	14,5	9,5	34%	66%	3	1,7	3,2	22,5	7	69%	31%	3	5,2	2,3
5	14,5	3	79%	21%	2	5,8	1,5	22,5	19,25	14%	86%	2	1,6	9,6
6	14,5	14,5	0%	100%	1	0,0	14,5	22,5	7	69%	31%	2	7,8	3,5
7	14,5	14	3%	97%	3	0,2	4,7	22,5	11,5	49%	51%	7	1,6	1,6
8	14,5	14	3%	97%	2	0,3	7,0	22,5	22,5	0%	100%	1	0,0	22,5
Máquina	Dia 39							Dia 40						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	22,5	10,5	53%	47%	6	2,0	1,8	22,5	6	73%	27%	2	8,3	3,0
2	22,5	3	87%	13%	1	19,5	3,0	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
3	22,5	7,5	67%	33%	3	5,0	2,5	18,5	4	78%	22%	2	7,3	2,0
4	22,5	6	73%	27%	2	8,3	3,0	18,5	17,25	7%	93%	3	0,4	5,8
5	22,5	2,5	89%	11%	1	20,0	2,5	18,5	3,25	82%	18%	1	15,3	3,3
6	22,5	16,5	27%	73%	4	1,5	4,1	22,5	14	38%	62%	6	1,4	2,3
7	15,25	15,25	0%	100%	1	0,0	15,3	18,5	14	24%	76%	3	1,5	4,7
8	15,25	15,25	0%	100%	1	0,0	15,3	22,5	20,25	10%	90%	3	0,8	6,8

Máquina	Dia 57							Dia 58						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	22,5	3	87%	13%	2	9,8	1,5	22,5	6	73%	27%	3	5,5	2,0
2	22,5	4,5	80%	20%	2	9,0	2,3	22,5	3	87%	13%	3	6,5	1,0
3	22,5	3	87%	13%	2	9,8	1,5	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
4	22,5	6	73%	27%	3	5,5	2,0	14,5	10,25	29%	71%	3	1,4	3,4
5	15,25	13	15%	85%	2	1,1	6,5	7,25	5	31%	69%	1	2,3	5,0
6	15,25	0	100%	0%	0	0,0	0,0	7,25	4	45%	55%	2	1,6	2,0
7	22,5	11	51%	49%	2	5,8	5,5							
8	22,5	20,25	10%	90%	4	0,6	5,1							
Máquina	Dia 59							Dia 60						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	22,5	6	73%	27%	2	8,3	3,0	22,5	3	87%	13%	2	9,8	1,5
2	22,5	10	56%	44%	2	6,3	5,0	7,25	1,5	79%	21%	1	5,8	1,5
3	22,5	3	87%	13%	2	9,8	1,5	15,25	0	100%	0%	0	0,0	0,0
4	22,5	21,25	6%	94%	3	0,4	7,1	8	2	75%	25%	2	3,0	1,0
5	22,5	10	56%	44%	4	3,1	2,5	15,25	6	61%	39%	1	9,3	6,0
6	7,25	3	59%	41%	1	4,3	3,0	15,25	10	34%	66%	3	1,8	3,3
7	22,5	22,5	0%	100%	1	0,0	22,5	0	0	0	0	0	0,0	0,0
8	15,25	11,25	26%	74%	2	2,0	5,6	4	0	100%	0%	0	0,0	0,0
Máquina	Dia 61							Dia 62						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	22,5	12	47%	53%	4	2,6	3,0	15,25	2,5	84%	16%	2	6,4	1,3
2	14,5	12,25	16%	84%	3	0,8	4,1	15,25	2	87%	13%	2	6,6	1,0
3	15,25	3	80%	20%	3	4,1	1,0	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
4	15,25	4,5	70%	30%	3	3,6	1,5	22,5	2,5	89%	11%	2	10,0	1,3
5	22,5	3,5	84%	16%	1	19,0	3,5	22,5	2	91%	9%	1	20,5	2,0
6	22,5	10	56%	44%	2	6,3	5,0	22,5	8	64%	36%	5	2,9	1,6
7	7,25	5	31%	69%	2	1,1	2,5	0	0	0%	100%	0	0,0	0,0
8	0	0	0	0	0	0,0	0,0	15,25	7	54%	46%	2	4,1	3,5
Máquina	Dia 63							Dia 64						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	22,5	4	82%	18%	3	6,2	1,3	22,5	2	91%	9%	2	10,3	1,0
2	15,25	3	80%	20%	2	6,1	1,5	0	0	0%	0%	0	0,0	0,0
3	22,5	3	87%	13%	3	6,5	1,0	22,5	4	82%	18%	3	6,2	1,3
4	22,5	2	91%	9%	2	10,3	1,0	22,5	3	87%	13%	1	19,5	3,0
5	22,5	2	91%	9%	1	20,5	2,0	22,5	7,5	67%	33%	3	5,0	2,5
6	14,5	6,5	55%	45%	4	2,0	1,6	18,5	10,5	43%	57%	3	2,7	3,5
7	7,25	2	72%	28%	2	2,6	1,0	22,5	13	42%	58%	4	2,4	3,3
8	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0,0	0,0

Autor: Sócrates Ramírez T.

APÉNDICE 2

PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO SEGÚN LAS RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE.

Seguridad

- Diariamente revisar que todas las guardas de seguridad estén colocadas y que las mismas estén bien sujetas.
- Diariamente revisar que las cubiertas de las cajas eléctricas estén colocadas y que el panel principal este encendido y con la compuerta cerrada.
- Diariamente asegurarse que los dispositivos de arranque y de parada para el abastecimiento de plomo funcionan correctamente.
- Semanalmente inspeccionar las termocuplas, reemplazar en caso de que se encuentren rotas, peladas o deshilachados.

Bomba de dosificación de plomo. (En base a los requerimiento de funcionamiento)

1. Apague la bomba
2. Desconecte el tubo de alimentación de plomo de la bomba
3. Saque la bomba del crisol
4. Retire la cubierta inferior del cuerpo de la bomba
5. Retire el perno central del eje y retire el impulsor

6. Retire los pernos que unen la carcasa superior e inferior del cuerpo de la bomba
7. Retire los pasadores del eje de la bomba
8. Retire el cojinete del eje en la carcasa del cuerpo de la bomba
9. Limpiar los residuos de plomo de todas las partes que serán reutilizadas
10. Revise el interior y el exterior del cojinete con un micrómetro de profundidad
11. Revisar la profundidad de la carcasa superior e inferior de la bomba
12. Revisar el espesor del impulsor
13. Colocar la carcasa superior de la bomba
14. Colocar el buje entre el eje y la carcasa superior de la bomba
15. Colocar cuña de 0.05 pulgadas entre el buje interior y exterior
16. Colocar los pernos en las carcasas superior e inferior
17. Instalar impulsor
18. Encienda el impulsor y asegurarse de que no roce las carcasas superior e inferior del cuerpo de la bomba.
19. Revise la holgura entre el eje impulsor y las carcasas del cuerpo de la bomba.

20. Revise la holgura entre el impulsor y la carcasa inferior del cuerpo de la bomba.
21. Remover la cuña entre el casquillo.
22. Perforar a través de marco de la caja de la bomba 3/8" de profundidad y remplace los pernos del eje.
23. Instalar la carcasa inferior del cuerpo de la bomba.
24. Coloque la bomba en el interior del crisol.
25. Conecte el tubo de alimentación de plomo con la bomba.
26. Conecte la energía eléctrica.
27. Esperar 5 minutos de calentamiento antes de encender la bomba.

Tubo de alimentación de plomo.

- Semanalmente revisar los soportes y que estén asegurados.
- Semanalmente revisar que las termocuplas estén colocadas correctamente.
- Semanalmente medir el amperaje o los ohmios de las resistencias.

Sistema de dosificación de plomo. (Semanalmente)

- Comprobar que todas las partes móviles del sistema de dosificación están correctamente ensambladas y se mueven con libertad.
- Revisar que todas las partes móviles del sistema de dosificación están aptas para su uso. Reemplazar en caso de ser necesario.

- Revisar que todas las partes del sistema de dosificación estén colocadas en la posición correcta.
 - a) 2.5 mm entre la nariz de la pieza cilíndrica (válvula) y el vaso dispensador de plomo.
 - b) (6-9.5mm) debe ser el movimiento vertical de la válvula cuando se dosifique plomo.
- Compruebe que todas las partes móviles del sistema de dosificación funcionan en automático y manual.
- Remueva e inspeccione el vaso de dosificación de plomo y la bola cerámica, remplace si es necesario.
- Compruebe que la inyección de gas para la llama en la válvula de plomo está funcionando correctamente.

Canoa (semanalmente)

- Asegurarse que la canoa este centrada y nivelada de lado a lado.
- Asegurarse que la canoa no tenga escoria, en especial en los alrededores de la resistencia y la termocupla.
- Asegurarse que la termocupla este colocada correctamente en la canoa.
- Revise los pernos, tuercas y resortes en los soporte de la canoa.
- Limpiar los orificios de la canoa para la dosificación de plomo al molde, asegurarse que la llama este uniformemente repartida en toda la canoa.

- Asegúrese que la cubierta superior de la canoa está asegurada.
- Asegurarse que el blindaje de la canoa está correctamente colocado.
- Comprobar la inclinación de la cuchara, debe ser de 3 a 5 grados de adelante hacia atrás.
- Lubricar las parte móviles de la canoa con grasa.
- Comprobar la holgura entre la canoa y la barra de sello, la holgura debe ser aproximadamente 1/8 pulgada.
- Asegurarse que la canoa se mueve con libertad.

Molde (Semanalmente)

- Revisar que los pernos del molde no estén desgastados. Reemplazarlos en caso de ser necesario.
- Revisar que los botadores y los resortes no estén desgastados. Reemplazarlos en caso de ser necesario.
- Revisar que todos los cojinetes se lubrican.
- Revisar que los brazos se arrastre se mueven libremente.

Banda transportadora de rejillas (Semanalmente)

- Revise la operación de la banda, la cual debe estar centrada en los rodillos.
- Revisar desgaste o rotura de la banda.
- Revisar que los rodillos de la banda giren libremente.

Apilador (Semanalmente)

- Revisar que todas las partes móviles del apilador no presenten desgaste y se puedan mover libremente.
- Revisar que el plato del apilador este a 30 grados.
- Revisar que el riel del apilador este apropiadamente ajustada.

Troquel de corte (Semanalmente)

- Revisar que las partes del troquel de corte no presenten desgaste o daño. Reemplazar en caso de ser necesario.
- Revisar que los pernos y resorte del troquel de corte no estén rotos. Reemplazar en caso de ser necesario.
- Revisar que no exista rebabas de plomo en el troquel. Limpiar en caso de ser necesario.
- Revisar que los pernos de ensamble del troquel estén ajustados.
- Cuando el troquel de corte esté funcionando, revisar que el corte se realiza de manera correcta sobre la rejilla.
- Revisar la temperatura del agua de enfriamiento del troquel.
- Revisar que el troquel realice correctamente su desplazamiento.

Aspectos Básicos de la máquina (Semanalmente)

- Revisar el tiempo de operación de la máquina, en caso de ser necesario aumentarlo o disminuirlo tomando en cuenta la calidad de la rejilla.
- Asegurarse que la carcasa exterior de la máquina se encuentre limpia.
- Revisar los parámetros de temperatura de los diferentes componentes de la máquina, asegurarse que estén en los valores asignados.

Limpieza y mantenimiento del molde (cada 100 horas o como sea necesario).

- Limpie las líneas de agua de los residuos de minerales. Use una broca de 11 mm.
- Remueva y limpie los ductos de ventilación.
- Reemplazar los accesorios de las líneas de refrigeración que estén desgastadas.
- Limpiar y lubricar los botadores y los resortes del molde fijo.

Lubricación y lubricantes

- En la transmisión revisar el nivel del aceite lubricante cada 20 horas de funcionamiento de la máquina. Usar el SAE 10W non-detergent oil (lubriplate).
- En el reductor revisar el nivel del aceite cada 1000 horas de funcionamiento de la máquina. Usar el Heavy duty non-detergent oil (mobil SHC 634).
- En base a los requerimientos de funcionamiento de la máquina lubricar el rodamiento de la bomba de plomo. Usar grasa para alta temperatura (550°F=287.78°C) Dow Corning "Molikote 41".
- En base a los requerimientos de funcionamiento de la máquina lubricar el Troquel de corte. Usar Die Lube.
- Lubricar las cadenas de los rodillos y los engranes cada 100 horas de operación de la máquina. Usar Chain Lubricant (Loctite super lube)

- Lubricar el plato y los rieles del apilador, una capa muy fina, en base a los requerimientos de la máquina. Usar Premiun Lubricating grease (Mobil “mobil grease special”).
- Lubricar los rodamientos de uso general cada 1000 horas de operación de la máquina. Usar Premiun Lubricating grease (Mobil “mobil grease special”).
- Lubricar piezas del molde en base a los requerimientos de funcionamiento de la máquina. Usar Slick stick.

APÉNDICE 3

TIEMPO PROGRAMADO PARA PRODUCCIÓN, NÚMEROS DE FALLAS Y TIEMPO MUERTO, EN DÍAS, PARA LAS MÁQUINAS, DESPUES DE LA APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

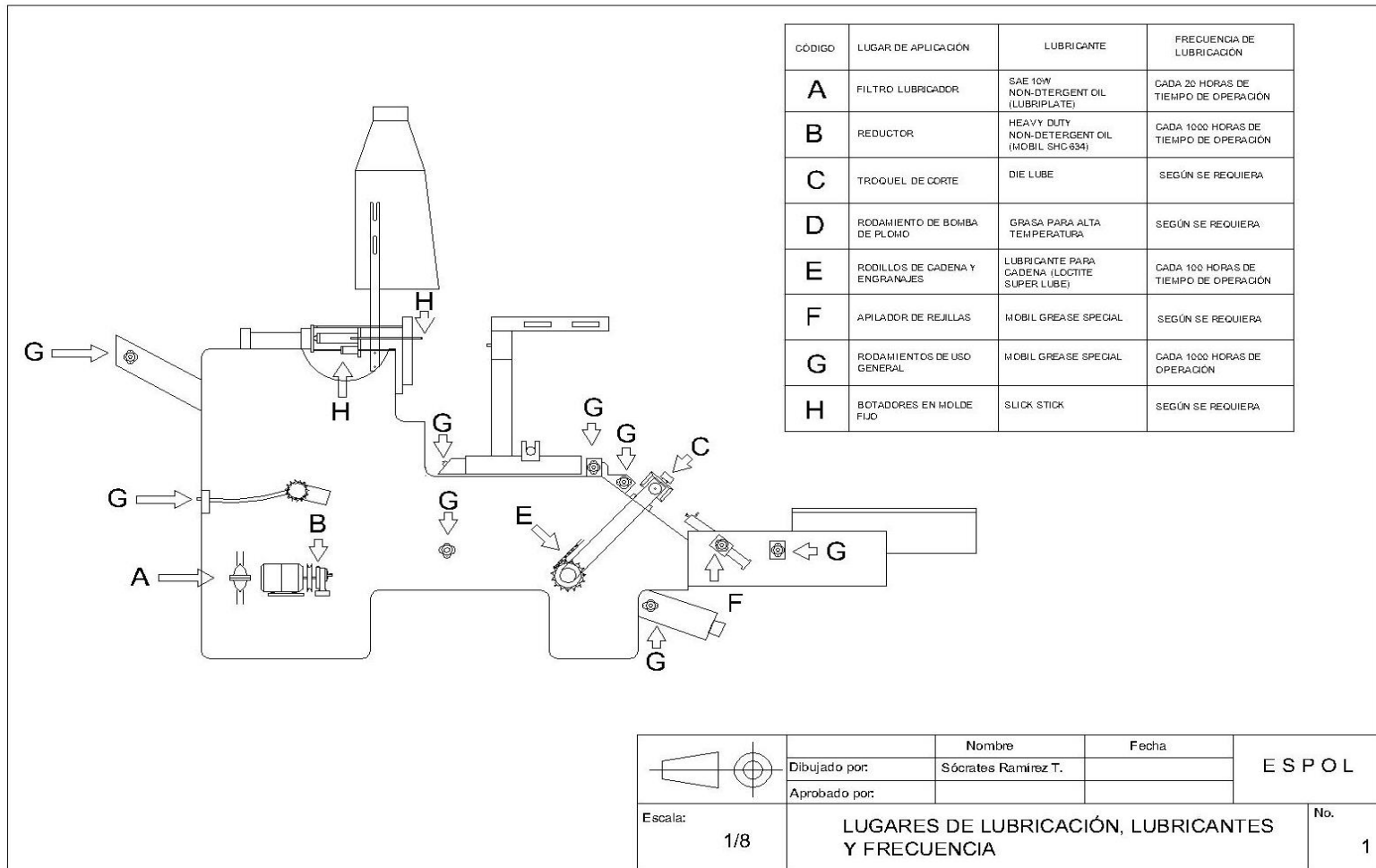
Máquina	Dia 1							Dia 2						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S	d	A	Id	f	MTBF	MTTR
1	18,5	1,5	92%	8%	1	17,0	1,5	21,5	5	77%	23%	2	8,3	2,5
2	18,5	4,5	76%	24%	1	14,0	4,5	21,5	5,5	74%	26%	2	8,0	2,8
3	18,5	3	84%	16%	2	7,8	1,5	21,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
4	18,5	1	95%	5%	1	17,5	1,0	21,5	7,5	65%	35%	1	14,0	7,5
5	5,5	3	45%	55%	1	2,5	3,0	21,5	9	58%	42%	4	3,1	2,3
6	5,5	3	45%	55%	1	2,5	3,0	21,5	7,5	65%	35%	2	7,0	3,8
7	5,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0	21,5	6	72%	28%	3	5,2	2,0
8	5,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0	21,5	16	26%	74%	5	1,1	3,2
Máquina	Dia 3							Dia 4						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	14,5	6	59%	41%	2	4,3	3,0	22,5	1	96%	4%	1	21,5	1,0
2	14,5	5	66%	34%	1	9,5	5,0	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
3	14,5	0,5	97%	3%	1	14,0	0,5	22,5	5	78%	22%	2	8,8	2,5
4	14,5	9	38%	62%	3	1,8	3,0	22,5	9	60%	40%	4	3,4	2,3
5	14,5	5,5	62%	38%	2	4,5	2,8	22,5	13	42%	58%	3	3,2	4,3
6	14,5	8,5	41%	59%	2	3,0	4,3	22,5	7	69%	31%	2	7,8	3,5
7	6,5	1,5	77%	23%	1	5,0	1,5	6,5	3	54%	46%	1	3,5	3,0
8	6,5	6	8%	92%	1	0,5	6,0	6,5	2	69%	31%	1	4,5	2,0
Máquina	Dia 5							Dia 6						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	21,5	4	81%	19%	2	8,8	2,0	22,5	1,5	93%	7%	3	7,0	0,5
2	21,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0	22,5	1	96%	4%	2	10,8	0,5
3	21,5	0,5	98%	2%	1	21,0	0,5	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
4	21,5	2,5	88%	12%	2	9,5	1,3	22,5	2,5	89%	11%	2	10,0	1,3
5	21,5	11	49%	51%	4	2,6	2,8	22,5	0,5	98%	2%	1	22,0	0,5
6	21,5	8	63%	37%	4	3,4	2,0	22,5	2	91%	9%	2	10,3	1,0
7	14,5	7	52%	48%	3	2,5	2,3	22,5	3	87%	13%	2	9,8	1,5
8	14,5	10	31%	69%	4	1,1	2,5	22,5	7	69%	31%	5	3,1	1,4
Máquina	Dia 7							Dia 8						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	18,5	4	78%	22%	3	4,8	1,3	22,5	4	82%	18%	3	6,2	1,3
2	18,5	2,5	86%	14%	2	8,0	1,3	22,5	4,5	80%	20%	3	6,0	1,5
3	18,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
4	18,5	7,5	59%	41%	6	1,8	1,3	22,5	4	82%	18%	4	4,6	1,0
5	14	0,5	96%	4%	1	13,5	0,5	14,5	4	72%	28%	1	10,5	4,0
6	14	6	57%	43%	3	2,7	2,0	14,5	4	72%	28%	1	10,5	4,0
7	14	4	71%	29%	2	5,0	2,0	14,5	7	52%	48%	2	3,8	3,5
8	14	11	21%	79%	2	1,5	5,5	14,5	10	31%	69%	2	2,3	5,0

Máquina	Dia 9							Dia 10						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	14,5	3	79%	21%	2	5,8	1,5	22,5	2,5	89%	11%	2	10,0	1,3
2	14,5	10	31%	69%	3	1,5	3,3	22,5	7	69%	31%	2	7,8	3,5
3	14,5	1,5	90%	10%	1	13,0	1,5	22,5	2	91%	9%	1	20,5	2,0
4	14,5	5	66%	34%	1	9,5	5,0	22,5	6	73%	27%	3	5,5	2,0
5	0	0	0%	0%	0	0,0	0,0	22,5	14	38%	62%	3	2,8	4,7
6	7,5	1,5	80%	20%	1	6,0	1,5	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
7	7,5	5	33%	67%	1	2,5	5,0	14,5	4	72%	28%	2	5,3	2,0
8	7,5	5	33%	67%	1	2,5	5,0	14,5	13	10%	90%	2	0,8	6,5
Máquina	Dia 11							Dia 12						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	22,5	7	69%	31%	4	3,9	1,8	22,5	2	91%	9%	2	10,3	1,0
2	22,5	3	87%	13%	2	9,8	1,5	22,5	3	87%	13%	2	9,8	1,5
3	22,5	4	82%	18%	1	18,5	4,0	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
4	22,5	2	91%	9%	1	20,5	2,0	22,5	5,5	76%	24%	4	4,3	1,4
5	22,5	9	60%	40%	4	3,4	2,3	22,5	9	60%	40%	6	2,3	1,5
6	22,5	2	91%	9%	2	10,3	1,0	22,5	12	47%	53%	3	3,5	4,0
7	22,5	10	56%	44%	3	4,2	3,3	22,5	12	47%	53%	3	3,5	4,0
8	22,5	15	33%	67%	3	2,5	5,0	22,5	22	2%	98%	3	0,2	7,3
Máquina	Dia 13							Dia 14						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	18,5	3	84%	16%	3	5,2	1,0	22,5	1	96%	4%	1	21,5	1,0
2	18,5	1	95%	5%	1	17,5	1,0	22,5	3	87%	13%	2	9,8	1,5
3	18,5	1	95%	5%	1	17,5	1,0	22,5	5	78%	22%	3	5,8	1,7
4	18,5	4	78%	22%	2	7,3	2,0	22,5	3	87%	13%	2	9,8	1,5
5	18,5	5	73%	27%	3	4,5	1,7	22,5	6	73%	27%	3	5,5	2,0
6	18,5	8	57%	43%	2	5,3	4,0	22,5	12	47%	53%	3	3,5	4,0
7	6	5	17%	83%	1	1,0	5,0	22,5	7	69%	31%	3	5,2	2,3
8	6	4	33%	67%	1	2,0	4,0	22,5	18	20%	80%	3	1,5	6,0
Máquina	Dia 15							Dia 16						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	14,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
2	14,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0	22,5	1	96%	4%	1	21,5	1,0
3	14,5	2	86%	14%	2	6,3	1,0	22,5	8	64%	36%	3	4,8	2,7
4	14,5	3	79%	21%	1	11,5	3,0	22,5	3	87%	13%	1	19,5	3,0
5	14,5	6	59%	41%	2	4,3	3,0	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
6	14,5	3	79%	21%	1	11,5	3,0	22,5	3,5	84%	16%	3	6,3	1,2
7	7,5	1	87%	13%	1	6,5	1,0	22,5	3	87%	13%	2	9,8	1,5
8	7,5	5	33%	67%	1	2,5	5,0							

Máquina	Dia 17							Dia 18						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	22,5	6,5	71%	29%	4	4,0	1,6	14,5	6	59%	41%	3	2,8	2,0
2	22,5	6	73%	27%	4	4,1	1,5	14,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
3	22,5	5,5	76%	24%	3	5,7	1,8	14,5	1	93%	7%	1	13,5	1,0
4	22,5	5	78%	22%	3	5,8	1,7	14,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
5	22,5	7	69%	31%	4	3,9	1,8	14,5	2	86%	14%	2	6,3	1,0
6	22,5	4	82%	18%	4	4,6	1,0	14,5	9,25	36%	64%	3	1,8	3,1
7	10,5	2,5	76%	24%	2	4,0	1,3	14,5	5	66%	34%	2	4,8	2,5
8														
Máquina	Dia 19							Dia 20						
	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)	S (horas)	d(horas)	A	Id	f (fallas)	MTBF (horas)	MTTR(horas)
1	22,5	3,5	84%	16%	3	6,3	1,2	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
2	22,5	1	96%	4%	1	21,5	1,0	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
3	22,5	2	91%	9%	1	20,5	2,0	22,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0
4	22,5	5,5	76%	24%	2	8,5	2,8	22,5	1	96%	4%	1	21,5	1,0
5	19,5	0	100%	0%	0	0,0	0,0	21,5	1,5	93%	7%	2	10,0	0,8
6	19,5	4	79%	21%	1	15,5	4,0	21,5	3	86%	14%	3	6,2	1,0
7	14,5	3	79%	21%	2	5,8	1,5	15,25	8	48%	52%	4	1,8	2,0
8														

Autor: Sócrates Ramírez

APÉNDICE 4



BIBLIOGRAFÍA

1. SALIH O. DUFFUAA, A. RAOUF, JOHN DIXON CAMPBELL, Sistemas de mantenimiento, planeación y control, Limusa S.A. 2007, México D.F.
2. VASSILEVA MARIA PENKOVA, Mantenimiento y análisis de vibraciones, Ciencia y Sociedad, vol. XXXII, núm. 4, octubre-diciembre, 2007, pp. 668-678, Instituto Tecnológico de Santo Domingo, República Dominicana.
3. ROYO JESÚS A., RABANAQUE GLORIA, TORRES FERNANDO, Análisis de vibraciones e interpretación de datos, DIDYF Universidad de Zaragoza, Documento,
<http://www.guemisa.com/articul/pdf/vibraciones.pdf>.
4. VARGAS ANGEL, Organización del mantenimiento industrial, Series Vz., segunda edición, 2009, Guayaquil, Ecuador.
5. CEGARRA SANCHEZ JOSÉ, Metodología de la investigación científica, Ediciones Días de Santos, 2004, Madrid, España.
6. <http://www.sinais.es/curso-vibraciones.html>, Ingeniería de mantenimiento, Curso básico de análisis de vibraciones, 2013.
7. VARA HORNA ARISTIDES ALFREDO, Asesoría de tesis, video clases, <https://www.youtube.com/user/aristidesvara?feature=watch>, 2013.
8. <http://wirtzusa.com/>, Folleto informativo, Máquina rejilladora modelo 40C.