



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

**DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MONITOREO DE CONDICIÓN PARA EL ÁREA DE  
ENVASADO Y DESPACHO DE LA INDUSTRIA CEMENTERA DE GUATEMALA**

**EMILIO JOSÉ PORRAS SOLÓRZANO**  
**ASESORADO POR ING. CARLOS GUILLERMO FAJARDO GODOY**

**GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2003**

**A**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MONITOREO DE CONDICIÓN PARA EL ÁREA DE  
ENVASADO Y DESPACHO DE LA INDUSTRIA CEMENTERA DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

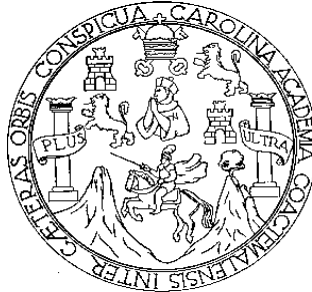
PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**EMILIO JOSÉ PORRAS SOLÓRZANO**

ASESORADO POR ING. CARLOS GUILLERMO FAJARDO GODOY  
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO  
GUATEMELA, SEPTIEMBRE DE 2003

B



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MONITOREO DE CONDICIÓN PARA EL ÁREA DE ENVASADO Y DESPACHO DE LA INDUSTRIA CEMENTERA DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la coordinación de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 25 de abril de 2002.

EMILIO JOSÉ PORRAS SOLÓRZANO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Anacleto Medina Gómez
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

## **ACTO QUE DEDICO:**

### **A DIOS, JESÚS Y LA VIRGEN MARÍA:**

Por la bendición, protección, salud y sabiduría regalada durante todo este tiempo. También por ser mis puntos espirituales de apoyo, y muy especialmente por la vida.

### **A MIS PADRES:**

Amanda Solórzano Puac, Emilio Porrás Escobar, por ser siempre mi mejor ejemplo; por su apoyo incondicional, sus consejos y muy especialmente por su gran amor.

### **A MIS HERMANOS:**

Hugo Manuel, Pablo Antonio y María Amanda, por su cariño, comprensión y apoyo en diferentes aspectos de mi vida personal.

### **A MIS ABUELOS:**

Matea Escobar, Juan Porrás, Hilario Solórzano, con respeto y cariño.

### **A LA FAMILIA PORRAS QUEZADA:**

Dolores Quezada, Wilfrido Porrás, Iris Waleska, Haroldo y Darwin.

### **A TODA MI FAMILIA**

Que en una u otra forma han manifestado sus buenas intenciones hacia mi persona, y con mucho cariño para mi sobrina María Alexandra.

### **A MI ESPOSA**

Mirna Molina, por motivarme a seguir adelante, y por su cariño.

### **A MIS COMPAÑEROS, AMIGOS Y CATEDRÁTICOS.**

### **AL CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE.**

### **A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.**

Que Dios los bendiga y este pequeño éxito se lo dedico a ustedes, muchas gracias.

## **AGRADECIMIENTO:**

### **A Dios**

Por haberme permitido llegar hasta este momento y compartir esta felicidad con mi familia y amistades.

### **A mis padres**

Por brindarme el apoyo durante mis años de estudio. También por todos aquellos sacrificios personales para darme lo que yo necesitaba.

### **A mis tíos, Dolores Quezada y Wilfrido Porras.**

Por su apoyo, consejos, sus observaciones y por todo el tiempo dedicado.

### **Al ing. Carlos Guillermo Fajardo**

Por su asesoría, por toda la información brindada y por el apoyo que me ha dado.

### **A Cementos Progreso S.A.**

Por haber permitido el desarrollo del trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	IX
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	XI
<b>GLOSARIO</b>	XIII
<b>RESUMEN</b>	XIV
<b>OBJETIVOS</b>	XV
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XVII
<b>1. GENERALIDADES</b>	<b>1</b>
1.1. Mantenimiento	1
1.1.1. Orígenes del mantenimiento	1
1.1.2. Por qué dar mantenimiento	5
1.1.3. Tipos de mantenimiento	6
1.1.3.1. Mantenimiento reparativo	7
1.1.3.2. Mantenimiento correctivo	8
1.1.3.3. Mantenimiento preventivo	8
1.1.3.4. Mantenimiento predictivo	9
1.2. Monitoreo de condición	11
1.2.1. Métodos de monitoreo de condición sin instrumentos	12
1.2.2. Métodos de monitoreo de condición usando instrumentos	13
1.2.3. Técnicas de monitoreo de condición	14
1.2.3.1. Técnicas con el equipo en operación	14
1.2.3.2. Técnicas con el equipo fuera de operación	15
1.3. Equipos críticos	17
1.3.1. Clasificación de equipos críticos	17
1.3.1.1. Equipo crítico clase A	17
1.3.1.2. Equipo crítico clase B	18
1.3.1.3. Equipo crítico clase C	18

1.4.	Proceso de producción del cemento	20
1.4.1.	Etapas de la producción del cemento	20
1.4.1.1.	Etapa de extracción y trituración	20
1.4.1.2.	Proceso de producción	21
1.4.1.2.1.	Molienda de la mezcla	22
1.4.1.2.2.	Homogenización	22
1.4.1.2.3.	Proceso de calcinación	22
1.4.1.2.4.	Premolienda	23
1.4.1.2.5.	Molienda de cemento	23
1.4.1.3.	Etapa de envasado y despacho del cemento	23
1.4.2.	Descripción de operación de la maquinaria de envasado y despacho de cemento	24
1.4.2.1.	Ensacadoras manuales 21-641-EV1 y 21-642-EV1	24
1.4.2.2.	Ensacadoras automáticas 21-643-EV1,21-644-EV1	25
1.4.2.3.	Despacho del cemento a granel	26
1.4.2.3.1.	Transporte del cemento	26
1.4.2.3.2.	Descarga del cemento en camiones de transporte	26
1.4.2.3.3.	Operación de báscula de granel	27
1.4.2.3.4.	Marchamo de seguridad	27
1.4.2.4.	Despacho del cemento envasado	27
1.4.2.4.1.	Transporte del cemento	27
1.4.2.4.2.	Envasado y despachado en ensacadoras automáticas	27
1.4.2.4.3.	Envasado y despacho en ensacadoras manuales	28
1.4.2.5.	Fechado del producto envasado	28



<b>2.</b>	<b>RECURSOS NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MONITOREO DE CONDICIÓN</b>	<b>31</b>
2.1.	Capacitación	31
2.1.1.	Vibraciones	32
2.1.1.1.	Formas de medición de una vibración	32
2.1.1.1.1.	Desplazamiento de vibración	32
2.1.1.1.2.	Velocidad de vibración	32
2.1.1.1.3.	Aceleración de vibración	33
2.1.1.2.	Parámetros de las vibraciones	33
2.1.1.2.1.	Amplitud de la vibración	33
2.1.1.2.2.	Frecuencia de una vibración	34
2.1.1.2.3.	Fase de una vibración	34
2.1.1.3.	Diferentes causas y consecuencias de una vibración	35
2.1.1.3.1.	Vibración debida a desbalance	35
2.1.1.3.2.	Vibración debida a falta de alineamiento	35
2.1.1.3.2.1.	Falta de alineamiento angular	36
2.1.1.3.2.2.	Falta de alineamiento paralelo	37
2.1.1.3.3.	Vibración debida a excentricidad	37
2.1.1.3.4.	Vibración debida a rodamientos de chumacera defectuosos	38
2.1.1.3.4.1.	Holgura excesiva de rodamientos	38
2.1.1.3.4.2.	Torbellino de aceite	39
2.1.1.3.5.	Vibración ocasionada por otros elementos de la máquina misma	40
2.1.1.3.5.1.	Torbellinos de histéresis	40
2.1.1.3.6.	Vibración debida a una lubricación inadecuada	42
2.1.1.3.7.	Vibración debida al aflojamiento mecánico	42

2.1.1.3.8. Vibración debida a bandas de accionamiento	43
2.1.1.3.9. Vibración debida a problemas de engranaje	44
2.1.1.3.10. Vibración debida a causas eléctricas	46
2.1.2. Lubricación	47
2.1.2.1. Tipos de lubricantes	47
2.1.2.1.1. Lubricantes líquidos	47
2.1.2.1.2. Lubricantes sólidos	48
2.1.2.1.3. Lubricantes gaseosos	48
2.1.2.2. Propiedades de los lubricantes	48
2.1.2.2.1. Viscosidad	48
2.1.2.2.2. Índice de viscosidad	49
2.1.2.2.3. Aditivos	49
2.1.2.3. Monitoreo tribológico	49
2.1.3. Hidráulica	52
2.1.4. Neumática	53
2.1.4.1. Calidad del fluido de trabajo	54
2.1.5. Diferentes indicadores del desempeño	54
2.1.5.1. Indicadores de mantenimiento	54
2.1.5.1.1. Cumplimiento del plan	55
2.1.5.1.2. Trabajos no planeados	55
2.1.5.1.3. Tiempo promedio entre fallas	55
2.1.5.1.4. Tiempo promedio entre fallas por la misma causa	56
2.1.5.1.5. Tiempo promedio para reparar	56
2.1.5.1.6. Disponibilidad	56
2.1.5.1.7. Rendimiento	57
2.1.5.1.8. Tasa de rendimiento total	58
2.2. Equipo necesario para la implementación del monitoreo de condición	58

2.2.1. Indicadores de temperatura	58
2.2.2. Muestreadores de aceite	59
2.2.3. Multímetros	59
2.2.4. Amperímetro de pinza	60
2.2.5. Equipos de medición de vibraciones	60
2.2.6. Equipos de medición de temperatura portátiles	61
2.2.7. Medidor de ultrasonido	63
2.2.8. Calibrador vernier	64
<b>3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL</b>	<b>65</b>
3.1. Administración del mantenimiento preventivo	68
3.1.1. Personal encargado de administrar el mantenimiento	68
3.1.1.1. Cómo se obtiene los indicadores de desempeño	68
3.2. Planificación del mantenimiento preventivo	69
3.2.1. Planes de mantenimiento preventivo	70
3.2.1.1. Frecuencias del mantenimiento	70
3.2.1.1.1. Frecuencia catorcenal	71
3.2.1.1.2. Frecuencia mensual	71
3.2.1.1.3. Frecuencia trimestral	71
3.2.1.1.4. Frecuencia semestral	72
3.2.1.1.5. Frecuencia anual	72
3.2.2. Plan anual de mantenimiento	72
3.2.3. Plan maestro de mantenimiento	74
3.2.4. Plan diario/semanal de mantenimiento	74
3.3. Ejecución del mantenimiento	75
3.4. Retroalimentación en el sistema (SAP)	75
3.5. Clasificación actual de equipos críticos	76
3.6. Estructura organizacional de envasado y despacho de cemento	77
3.6.1. Jefe de envasado y despacho	77

3.6.2.	Supervisor de turno de envasado y despacho	77
3.6.3.	Planificador de envasado y despacho	78
3.6.4.	Asistente administrativo de envasado y despacho	78
3.6.5.	Supervisor mecánico de envasado y despacho	79
3.6.6.	Mecánicos de envasado y despacho en horario diurno	79
3.6.7.	Mecánicos de envasado y despacho de turno	80
3.6.8.	Mecánico predictivo	80
<b>4.</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MONITOREO DE CONDICIÓN</b>	<b>81</b>
4.1.	Pasos a seguir para la implementación	81
4.1.1.	Concientizar	81
4.1.2.	Visión del proceso físico	82
4.1.3.	La visión del clima organizacional	82
4.1.4.	La visión de oportunidades	83
4.1.5.	Formulación de estrategias	83
4.1.6.	Establecer indicadores de rendimiento	84
4.2.	Reorganización del personal de envasado y despacho de cemento	85
4.2.1.	Definición de funciones y responsabilidades	85
4.2.1.1.	Jefe de envasado y despacho	85
4.2.1.1.1.	Funciones	85
4.2.1.1.2.	Responsabilidades	86
4.2.1.1.	Jefe de mantenimiento	86
4.2.1.1.1.	Funciones	86
4.2.1.1.2.	Responsabilidades	86
4.2.1.1.	Planificador	87
4.2.1.1.1.	Funciones	87
4.2.1.1.2.	Responsabilidades	87
4.2.1.1.	Asistente administrativo	88

4.2.1.1.1.	Funciones	88
4.2.1.1.2.	Responsabilidades	88
4.2.1.1.	Supervisor de envasado y despacho en turno rotativo	88
4.2.1.1.1.	Funciones	88
4.2.1.1.2.	Responsabilidades	89
4.2.1.1.	Supervisor de mantenimiento mecánico	89
4.2.1.1.1.	Funciones	89
4.2.1.1.2.	Responsabilidades	89
4.2.1.1.	Mecánico de envasado y despacho en horario diurno	90
4.2.1.1.1.	Funciones	90
4.2.1.1.2.	Responsabilidades	90
4.2.1.1.	Mecánico de envasado y despacho en turno rotativo	91
4.2.1.1.1.	Funciones	91
4.2.1.1.2.	Responsabilidades	91
4.2.1.1.	Mecánico predictivo asignado al área de envasado y despacho	92
4.2.1.1.1.	Funciones	92
4.2.1.1.2.	Responsabilidades	92
4.3.	Revisión semestral de los planes de mantenimiento preventivo	92
4.4.	Creación de un manual de equipos críticos clase A	93
4.4.1.	Lista de repuestos para equipos críticos clase A	94
4.5.	Creación de las rutinas de inspección para el monitoreo de los equipos críticos clase A	95
4.5.1.	Con el equipo en operación	96
4.5.1.1.	Toma de vibraciones	97
4.5.1.2.	Monitoreo del desgaste en fajas transportadoras	97
4.5.1.3.	Muestreo de aceites usados	98
4.5.2.	Con el equipo fuera de operación	100
4.5.2.1.	Control del desgaste en guías	101

4.6.	Mantenimiento mayor a equipos críticos clase A	102
4.6.1.	Planificación del mantenimiento mayor	103
4.6.2.	Notificación o informe del mantenimiento mayor	105
<b>5.</b>	<b>SOSTENIBILIDAD DEL MONITOREO DE CONDICIÓN</b>	<b>107</b>
5.1.	Reuniones	108
5.1.1.	Reunión diaria de campo	108
5.1.2.	Reuniones semanales de evaluación	109
5.1.3.	Reuniones mensuales de indicadores	109
5.1.4.	Seguimiento a intervalos cortos	110
5.2.	Reportes	112
5.2.1.	Reporte de costo de materiales y repuestos	112
5.2.2.	Reporte de costo de mantenimiento	113
5.2.3.	Reporte diario	113
5.2.4.	Reporte semanal de indicadores	114
5.3.	Auditorías	114
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>116</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>118</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>119</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Evolución del mantenimiento	5
2	Curva estado de un equipo	16
3	Proceso de producción del cemento	19
4	Aplicación manual para el envasado	25
5	Ensacadora rotativa de aplicación automática	26
6	Despacho del cemento en montacargas	28
7	Equipo para el muestreo de aceites usados	59
8	Escalas de temperatura	61
9	Equipo de medición de temperatura digital portátil	62
10	Equipo para la medición de espesores	63
11	Calibrador Vernier	64
12	Orden de trabajo de un equipo crítico clase A	66
13	Reporte de orden de trabajo	67
14	Plan anual de mantenimiento	73
15	Clasificación de equipos críticos	76
16	Equipos críticos clase A	76
17	Ficha técnica de equipo crítico clase A	94
18	Inspección diaria de equipos en marcha	96
19	Tendencias de equipos críticos clase A	97
20	Monitoreo del desgaste en fajas transportadoras	98

21	Análisis de aceites usados	100
22	Frecuencia y control de lubricación sopladores	101
23	Control de desgaste envasadoras automáticas	102
24	Formato de minuta reunión de sostenibilidad	111



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>HAC</b>	Código de activos Holcim
<b>SAP</b>	Sistemas, aplicaciones y productos para procesamiento de información
<b>KPI</b>	Indicador clave de desempeño
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>Cps</b>	Ciclos por segundo
<b>Hertz</b>	Unidad de medida de la frecuencia
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>IV</b>	Índice de viscosidad
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>%</b>	Porcentaje

<b>Ot</b>	Orden de trabajo
<b>SIC</b>	Seguimiento de intervalos cortos
<b>MTBF</b>	Tiempo promedio entre fallas
<b>MTBCF</b>	Tiempo promedio entre fallas por la misma causa
<b>MTTR</b>	Tiempo promedio para reparar
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana de normas para materiales
<b>TRT</b>	Tasa de rendimiento total
<b>COGUANOR</b>	Comisión guatemalteca de normas
<b>ca</b>	Corriente alterna
<b>cd</b>	Corriente directa
<b>μA</b>	Microamperes
<b>A</b>	Amperes
<b>V</b>	Voltaje

## GLOSARIO

<b><i>Clinker</i></b>	Producto final producido por los hornos, después de cocer las materias primas, a temperaturas mayores de 1,400 °C.
<b><i>Push-Pull</i></b>	Aditamento que utiliza el montacargas para el transporte del cemento envasado.
<b><i>Image</i></b>	Marca del equipo que se utiliza para codificar el producto envasado.
<b>HAC</b>	Sistema universal de identificación de activos que tiene adoptado Holcim para sus plantas de cemento, el código HAC identifica el tipo y la ubicación del activo dentro de la empresa.
<b>Aviso M1</b>	Solicitud de mantenimiento.
<b>Aviso M2</b>	Reporte de avería.

## RESUMEN

El envasado y despacho es la última etapa del proceso de producción del cemento, y el presente trabajo trata de proporcionar un programa de monitoreo de condición de la maquinaria, con base en referencias del fabricante, consultas bibliográficas, y conocimientos de los operadores en base a la experiencia, que permitirá aumentar la disponibilidad de la maquinaria e incrementar la TRT del área.

El programa de monitoreo de condición se realizará en base a inspecciones con el equipo en operación, así como también con el equipo fuera de operación; análisis de vibraciones y muestreo de aceites usados, para lo cual se utilizarán formatos de control, los cuales describen las partes de la maquinaria a monitorear.

Con los resultados que se obtengan a través de los formatos del monitoreo, se evaluará el estado o condición de la maquinaria, y se emitirán los respectivos avisos, para que se generen las órdenes de trabajo y se pueda corregir cualquier desviación de la condición normal de la maquinaria, antes de que ocurra una falla en la misma y se detenga la producción.

Con base a los resultados que se obtengan se realizarán los respectivos indicadores del desempeño de la maquinaria, tabulando los datos de las órdenes de trabajo, como también los datos registrados en cada uno de los formatos de inspección.

## OBJETIVOS

- **General**

Diseñar un programa de monitoreo de condición para la maquinaria de envasado y despacho de cemento, en planta San Miguel Cementos Progreso S.A.

- **Específicos**

1. Capacitar al personal de mantenimiento de envasado y despacho de cemento, acerca de lo que es un monitoreo de condición.
2. Reorganizar al personal de envasado y despacho de cemento.
3. Disminuir el mantenimiento correctivo a través de la implementación del monitoreo de condición.
4. Disminuir los paros inesperados de la maquinaria, mediante la inspección diaria de equipos en marcha.

5. Demostrar que el muestreo de aceites usados y el análisis de vibraciones, son una herramienta de gran ayuda para el mantenimiento preventivo, si se establecen las rutas y frecuencias adecuadas.
  
6. Resaltar la importancia que tiene el disminuir la cantidad de paros inesperados en la maquinaria de envasado y despacho de cemento.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación, propone a la empresa Cementos Progreso S.A. Planta San Miguel, un programa de monitoreo de condición para el área de envasado y despacho de cemento, adaptado a sus necesidades las cuales se han determinado de acuerdo a un estudio minucioso de las fallas más frecuentes que ocurren en la maquinaria, por lo que el presente trabajo podrá ser una guía para realizar el monitoreo de condición en el área de envasado y despacho de cemento.

Para muchas personas monitoreo de condición es un análisis de vibraciones, sin embargo, monitoreo de condición, es todo aquello con lo cual es posible establecer el estado de un equipo o de una pieza que tenemos que mantener, en algunos casos se puede estimar el resto de su vida útil, el monitoreo de condición podría traducirse como el conjunto de mediciones que se realizan para establecer y evaluar el estado de un equipo.

El monitoreo es una herramienta de gran utilidad que sirve para determinar, con anticipación suficiente, la necesidad de efectuar reparaciones, a fin de que puedan ser planificadas y de que se puedan evitar daños secundarios, un gran número de fallas se desarrollan a través del tiempo, dando señales de que están sucediendo, esta señal se llama "falla potencial". Se puede definir como un estado físico identificable (anormal) que indica que esta a punto de producirse una falla o que ya está ocurriendo.

Utilizando diferentes técnicas se intenta detectar estas desviaciones de las condiciones normales; estas técnicas pertenecen al monitoreo de condición.

Hoy es de gran importancia contar con una alta disponibilidad en la maquinaria; y esto se puede lograr con un control o monitoreo de la condición de la operación de la maquinaria, ya que si conocemos los parámetros en que debe operar la maquinaria podemos darnos cuenta cuando inicia una desviación en la operación de la maquinaria (falla), y así evitar paros imprevistos que puedan detener la producción.

El primer capítulo describe aspectos sobre el monitoreo de condición e información del proceso de producción del cemento, así como información de operación de la maquinaria de envasado y despacho, y orígenes del mantenimiento. El siguiente capítulo menciona aspectos como los recursos necesarios para la implementación del monitoreo de condición. El tercero hace mención de la situación actual, de la planificación del mantenimiento.

El penúltimo capítulo hace mención de los pasos para la implementación del monitoreo, de la reorganización del personal, y creación de formatos a utilizar en la inspección de los equipos críticos clase "A", y por último la sostenibilidad del monitoreo de condición.



# **1. GENERALIDADES**

## **1.1. Mantenimiento**

El Mantenimiento está constituido por todas aquellas actividades que están destinadas a mantener la planta en buen estado, y los equipos que la conforman en las mejores condiciones de funcionamiento, al menor costo posible.

### **1.1.1. Orígenes del mantenimiento**

Desde la revolución industrial (la era de automatización, cambios de la fuerza humana por la mecánica), el mantenimiento fue un servicio auxiliar del departamento de producción para la reparación de sus averías.

Los primeros mecánicos se basaban en su experiencia y su estimación empírica. El mantenimiento en sus comienzos se caracterizaba por la simplicidad de los elementos mecánicos y eléctricos, por lo reducido de los materiales empleados en la producción, por la escasa elaboración de las instalaciones de la planta, la evolución lenta de la tecnología y de los repuestos de las máquinas, con grandes talleres mecánicos y eléctricos para la reparación y construcción y por la baja preparación del personal, salvo para las tareas de construcción, donde solían haber buenos especialistas que se dedicaban exclusivamente a lo correctivo del mantenimiento. Las plantillas de producción y de mantenimiento son numerosas.

Antes de la segunda guerra mundial, los mecánicos continuaban basándose en la experiencia y la estimación empírica, en un calendario de reparación e inspección y en énfasis a la reparación de la falla.

A inicio de los años 1940, período de la Segunda Guerra Mundial se caracterizó por el inicio de la sofisticación de la maquinaria y lubricantes, detectores magnéticos, énfasis en la detección de la falla y de su eliminación (inicio del mantenimiento correctivo).

A partir de los años 1960, período de la era Aeroespacial se perfila el mantenimiento como autónomo (no depende de producción, sino está al mismo nivel jerárquico), logrando la mayor disponibilidad de las instalaciones y equipos, la optimización de objetivos, la auditoria y control permanente de las máquinas, hasta alcanzar el estado actual en la industria.

De los años 1960 en adelante se desarrollan unidades de producción cada vez mayores, con exigencias de mejores materiales y maquinaria, Se introduce la electrónica industrial y se desarrolla el telecontrol del proceso y luego la centralización, primero de las secciones y después global. Surge la necesidad del personal de mantenimiento bien formado, apareciendo los instrumentistas, aún continúa la necesidad de plantillas numerosas del personal de producción.

El mantenimiento preventivo se desarrollo inicialmente en la industria aeronáutica, seguramente por las circunstancias en que puede producirse una avería irreparable en una aeronave en vuelo, así es como llega el mantenimiento preventivo a la industria, surge la necesidad de no esperar la avería.

En los años 1970, el mantenimiento pone énfasis en la programación de revisiones y reparaciones, (mantenimiento preventivo) que con el tiempo ha hecho disminuir la frecuencia de las averías mecánicas y eléctricas, tanto que las plantillas del personal de mantenimiento eléctrico pierde su peso específico en favor del personal de mantenimiento instrumentista, es decir que con el mantenimiento preventivo hay menor personal que con los otros tipos de mantenimiento.

La automatización, apoyada por la Informática industrial y la utilización de computadoras lógicas programables, así como la aparición de los sistemas expertos y la centralización del mando de la fábrica, han permitido mejorar el aprovechamiento de los recursos humanos y materiales (en funcionamiento y durabilidad) y no solo la optimización y simplificación de los costos de mantenimiento.

Con la crisis económica que se inicia en 1974 a partir de la elevación de los precios del petróleo y que dura hasta la mitad de los años 1980, se produce la caída de los mercados, especialmente cementeros, y encareciendo los costos energéticos obliga a la industria cementera a aumentar su eficiencia. La industria cementera transforma sus instalaciones para la utilización de combustibles más baratos que el petróleo, e inicia el camino de reducir los consumos unitarios caloríficos y eléctricos.

En los años 1980, sigue desarrollándose el mantenimiento preventivo. La aplicación de la informática al manejo de la información facilita el manejo de programas de mantenimiento, historiales y costos.

Aparece el Mantenimiento Predictivo como una rama, y a la vez el mejoramiento del Mantenimiento Preventivo.

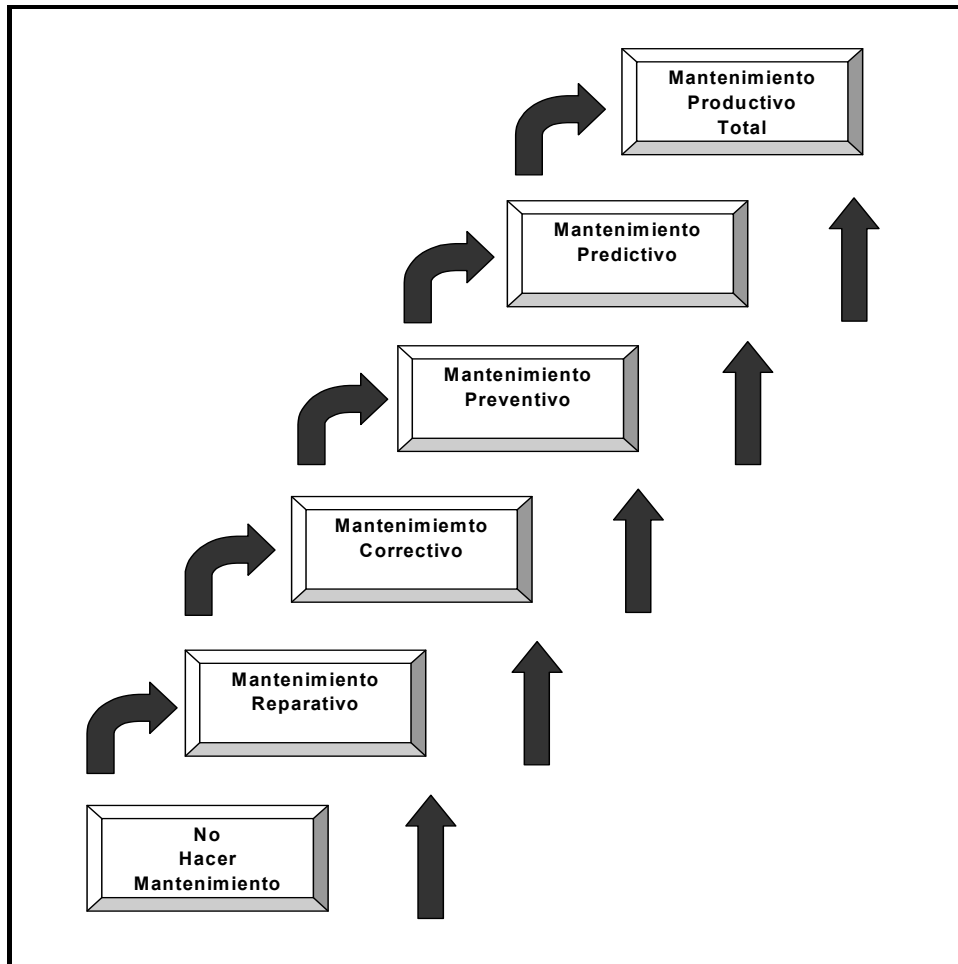
El análisis y revisión en el mantenimiento predictivo a diferencia del mantenimiento preventivo es que tiene la ventaja de realizarse sin parar las instalaciones, con aumento de la disponibilidad de las mismas.

En la actualidad el Mantenimiento Predictivo, ocupa más actividades y toma más espacio dentro del Mantenimiento Preventivo. Se centralizará en sistemas expertos, el aumento de la automatización de las fabricas requerirán personal de mayor formación técnica.

Por consiguiente se simplificará el trabajo y se reducirá la plantilla pero será más eficiente la existente.

En los últimos años el mantenimiento ha alcanzado el mismo nivel de jerarquía que posee producción, ya que con las exigencias que se tienen hoy en día de la disponibilidad de la maquinaria, se le ha puesto mas atención al mantenimiento; producción requiere de la mayor disponibilidad para poder obtener la máxima producción posible, y esto se logra únicamente realizando un buen mantenimiento, para poder contar con una buena disponibilidad. La evolución del mantenimiento, ver figura 1, ha sido de gran importancia para este departamento, pues goza los mismos privilegios que producción hoy en día, sin embargo las exigencias han incrementado al compás de su evolución.

**FIGURA 1. Evolución del mantenimiento**



**Fuente: Folleto mantenimiento productivo total**

### **1.1.2. Por qué dar mantenimiento**

Existen varias razones para dar mantenimiento a la maquinaria, pero la principal razón es, evitar el deterioro prematuro de los equipos, y prolongar su vida útil, así también mantenerlos en las mejores condiciones posibles de operación (rendimiento y disponibilidad).

Hoy la importancia de realizar un buen mantenimiento es vital para cumplir con la producción en cualquier planta del mundo, pero al hablar de un buen mantenimiento abarca demasiados campos, como podemos listar algunos de gran importancia:

- Tener datos de la vida útil de la máquina.
- Tomar muy en cuenta las recomendaciones del fabricante.
- Evaluar muy cuidadosamente las condiciones en las que va operar determinada máquina.
- Las frecuencias para realizar ciertos mantenimientos están ligadas a las condiciones de operación, ya que el fabricante determina ciertas frecuencias, sin embargo asume condiciones normales de operación y un ambiente no contaminado.
- Realizar chequeos de los equipos en marcha.
- Instalar un monitoreo de condición desde el arranque de una máquina.
- Llevar un historial del comportamiento de operación de la maquina.

Todos estos campos descritos anteriormente, son algunos de los cuales deben tomarse muy en cuenta para elaborar un plan de mantenimiento.

### **1.1.3. Tipos de mantenimiento**

En la actualidad han surgido una serie de adelantos en los métodos de administración del mantenimiento, iniciando de un estado reactivo, hasta llegar a un estado completamente proactivo.

Existen varias formas de mantenimiento orientadas al mismo objetivo, que es evitar el deterioro prematuro de los equipos de planta, prolongar su vida útil, así como mantenerlos en las mejores condiciones posibles de operación al menor costo posible.

Las distintas formas de mantenimiento se diferencian unas de otras en el momento de aplicación de sus acciones y en los procedimientos básicos de administrarse. Aunque el fin es el mismo, los caminos para llegar a él son diferentes, así como sus niveles de complejidad.

Cada forma de mantenimiento requiere de cierta organización administrativa, estas formas de mantenimiento son:

- Mantenimiento reparativo
- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo

#### **1.1.3.1. Mantenimiento reparativo**

Este tipo de mantenimiento es el que marca el inicio de hacerle mantenimiento a la maquinaria, y está encaminado a la reparación de la falla sin solucionar la causa. Se corrige la causa o avería sólo temporalmente.

##### **Ventajas:**

- No se tira la maquinaria

##### **Desventajas:**

- Se para de producir

- Vuelve a fallar
- Se corre el riesgo de no contar con los recursos
- No es programable
- Es demasiado caro.

#### **1.1.3.2. Mantenimiento correctivo**

Está orientado a solucionar los problemas que se hayan detectado durante el mantenimiento preventivo, así como aquellas fallas ocasionadas por mala operación, falta de conocimiento, desgaste físico, o bien por defectos de fabricación de componentes. Este tipo de mantenimiento no puede programarse, debido a que las fallas que se presentan son de carácter aleatorio y de naturaleza variada.

El objetivo del mantenimiento correctivo es dar solución al máximo a todos los problemas existentes, mediante la aplicación oportuna de medidas correctivas tales como:

- Sustitución de piezas o componentes dañados.
- Reacondicionamiento de partes.

#### **1.1.3.3. Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo es aquel que se desarrolla tomando como base un calendario o programa fijo, que involucran reparaciones de rutina, reemplazo de componentes y partes de la maquinaria.

Al mantenimiento preventivo también se le conoce como mantenimiento basado en el tiempo, porque consiste en reacondicionar o sustituir a intervalos



regulares un equipo o sus componentes, independientemente de su estado en ese momento.

### **Ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo:**

El costo de los medios materiales y humanos dedicados al mantenimiento preventivo es muy reducido en comparación con los beneficios obtenidos en su aplicación:

- Conocimiento de que repuestos, materiales, se van a utilizar, el tiempo. para efectuar el mantenimiento.
- Mayor grado de confiabilidad.
- Prolongación de la vida útil de la maquinaria.
- Costos menores por reparación (evitan lo mas posible los costos indirectos).
- Menor tiempo de parada de producción.

### **Entre sus desventajas tenemos:**

- Es necesario parar el equipo.
- Es necesario mano de obra específica.
- Confía en el factor humano para la realización del mantenimiento.

#### **1.1.3.4. Mantenimiento predictivo**

Son todas aquellas acciones encaminadas a predecir, determinar y detectar con precisión, el momento en que una falla va a ocurrir, para dar tiempo a corregirla sin perjudicar la operación, utilizando para ello instrumentos de diagnóstico. Básicamente, la estrategia consiste en modificar ciertas condiciones de la máquina o sistema que pueden indicar cuando un problema comienza a desarrollarse, examinando cuidadosamente los datos y analizando las

tendencias de dicha condición a través del tiempo. Es necesario conocer los límites de alarma o los niveles anormales de las condiciones en cuestión, para poder determinar cuando ocurrirá la falla.

El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base de un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza.

Esta técnica supone la medición de diversos parámetros que muestren una relación predecible con el ciclo de vida del componente. Algunos ejemplos de dichos parámetros son los siguientes:

- Análisis de vibraciones.
- Análisis de aceite (técnicas espectroscópicas).
- Termografía.
- Medida y análisis de ruido.
- Ensayos no destructivos de materiales (ultrasonidos, rayos X, etc.).
- Métodos de medida de desplazamiento y parámetros del proceso.

El mantenimiento predictivo persigue anticiparse a las averías y para ello se basan en:

- a) Información de los equipos.
- b) Información de operación (aceites, filtros, temperaturas, etc.)
- c) Parámetros: temperaturas, presiones, espesores, vibraciones, etc.
- d) Análisis de aceite: control de partículas metálicas de desgaste, control del estado del aceite, control de contaminantes, mantenimiento de lubricación.

## **1.2. Monitoreo de condición**

El monitoreo de condición esta basado en tecnologías de microprocesadores digitales, es un cambio significativo respecto a las herramientas tradicionales del mantenimiento. Se puede decir que es todo aquello con lo cual es posible establecer el estado de un equipo o de un sistema en particular el cual tenemos que mantener en optimas condiciones, en algunos casos es posible llegar a estimar el resto de su vida útil.

El monitoreo de condición es una herramienta de gran utilidad que sirve para determinar con anticipación suficiente, la necesidad de efectuar reparaciones, a fin de que puedan ser planificadas y de que se puedan evitar daños secundarios.

Un gran número de fallas se desarrollan a través del tiempo, dando señales de que están sucediendo. Esta señal se llama "falla potencial". Se puede definir como un estado físico identificable (anormal) que indica que está a punto de producirse una falla o que ya está ocurriendo.

Utilizando diferentes técnicas de diagnostico se intenta detectar estas desviaciones de las condiciones normales. Estas técnicas pertenecen al monitoreo de condición.

El Intervalo P-F de la curva de estado de un equipo, es el tiempo que transcurre entre una falla potencial detectada y el deterioro hasta que ocurre la falla.

El intervalo P-F puede ser diferente dentro de un amplio rango de valores para la misma falla. Para la mayoría de los casos se usa el intervalo mas corto.

Un cambio repentino en las condiciones de operación (por ejemplo, sobrecarga, objetos extraños, etc.) puede causar un deterioro inmediato de las condiciones y provocar una falla funcional.

El intervalo P-F asociado con estos tipos de sucesos es casi cero, la desviación de la condición normal es demasiado pequeña para detectarla, o sea, que es imposible establecer límites cuando está fuera de la condición normal.

Existen dos métodos para realizar un monitoreo de condición:

- Métodos de monitoreo de condición sin Instrumentos
  
- Métodos de monitoreo de condición usando Instrumentos
  - Con el equipo en operación
  - Con el equipo fuera de operación

#### **1.2.1. Métodos de monitoreo de condición sin instrumentos**

El principio del monitoreo de condición de una maquina es un concepto muy antiguo. El operario a cargo de una maquina lo ha usado desde siempre con sus propios sentidos, estos métodos naturales de monitoreo de condición han sido:

- Ver
- Oír
- Sentir
- Oler

A ésta técnica también se le conoce como VOSO, que son las iniciales de ver, oír, sentir y oler respectivamente.

Estos métodos existen desde siempre y no deben ser olvidados aún en una época de alta tecnología. Estos métodos pueden ser mejorados con el uso de instrumentos simples como (lupa, espejo, etc.).

De todas maneras, el uso de los sentidos humanos tiene sus desventajas por la imprecisión de los mismos, y por lo tanto los intervalos de punto de falla son cortos. Además, algunas desviaciones son tan pequeñas que están fuera del rango de los sentidos, necesitándose de instrumentos especializados para detectarlos.

### **1.2.2. Métodos de monitoreo de condición usando instrumentos**

Con el uso de instrumentos de medición se elimina lo subjetivo del problema y permite comparar las mediciones actuales con las mediciones obtenidas cuando la maquina ha estado operando en buenas condiciones.

Este método de monitoreo, es de gran utilidad mientras más largo es el intervalo P-F, la tarea del monitoreo de condición puede ser ejecutada menos frecuentemente, contando adicionalmente con mas tiempo para realizar tareas para prevenir la falla, evitando sus consecuencias. En efecto, esto nos ahorra dinero.

Por esta razón se hace mucho esfuerzo para definir las condiciones de fallas potenciales y desarrollar técnicas para la detección temprana (intervalo P-F largo). Se debe considerar siempre la rentabilidad.

### **1.2.3. Técnicas de monitoreo de condición**

A continuación se consideran dos técnicas principales para el monitoreo de condición utilizando instrumentos:

- Técnicas con el equipo en operación
- Técnicas con el equipo fuera de operación

#### **1.2.3.1. Técnicas con el equipo en operación**

La mayor ventaja de ésta técnica radica en que el equipo se puede mantener en operación. En algunos casos se requiere, para la ejecución de la tarea, el equipo en operación: por ejemplo, análisis de vibraciones, muestreo de aceites usados, termografía, etc.

Estas técnicas no generan costos debido a pérdidas de producción. Por esta razón han aumentado su popularidad en los últimos años. Por otro lado, normalmente estas técnicas son más costosas y generalmente sus resultados son más difíciles de interpretar. Muy probablemente se requieran mediciones iniciales de base y las decisiones deberán ser tomadas basándose en las tendencias, en vez de una sola medición.

En algunas plantas se hacen estas tareas de monitoreo de condición de manera periódica, teniendo “Inspectores” que siguen una ruta prefijada, y dan aviso que cualquier desviación que se presente en una máquina de su condición normal.

Una manera de dividir las técnicas con el equipo en operación en grupos más pequeños, es clasificándolas por los tipos de mediciones:

- Dinámicas: Por ejemplo. Análisis de vibraciones, torques, emisión acústica.
- Temperatura: Por ejemplo. Termografía, pinturas térmicas.
- Análisis químicos y de partículas: Por ejemplo. Análisis espectrométrico de aceite, ferrografía.
- Eléctricamente: Por ejemplo. Resistencias.

### **1.2.3.2. Técnicas con el equipo fuera de operación**

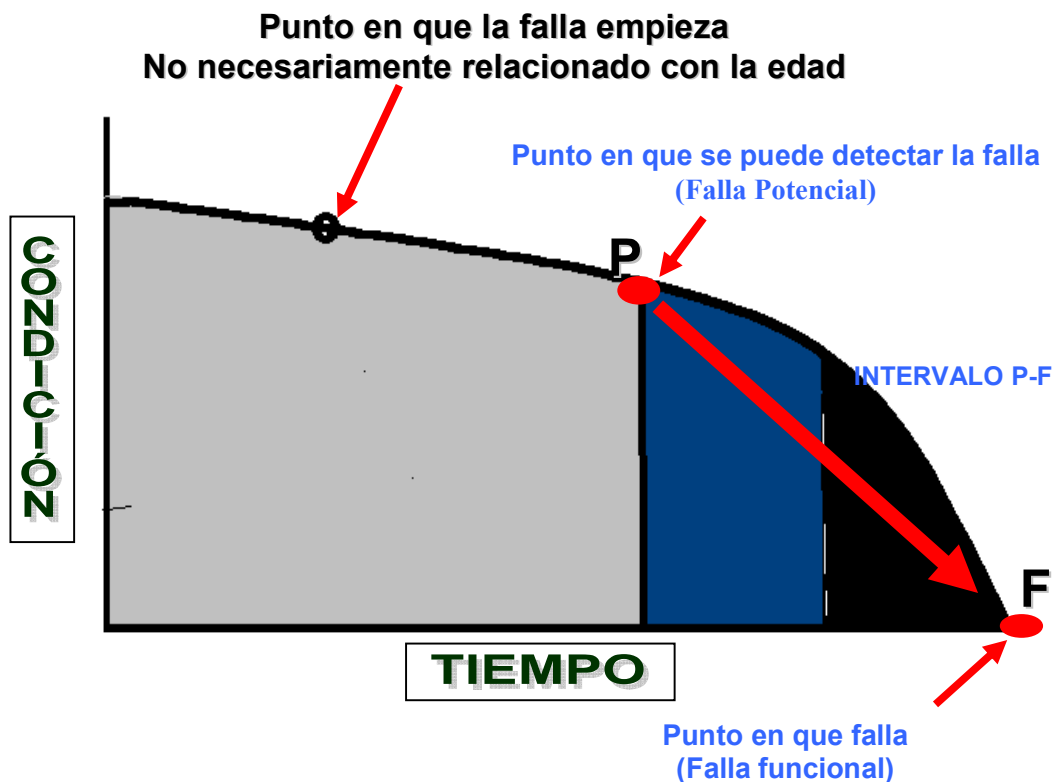
Algunas de estas técnicas son conocidas desde hace mucho tiempo en la industria de cemento. Comprenden un amplio rango de soluciones, que incluyen desde la simple determinación de una longitud utilizando una cinta métrica, hasta pruebas con rayos-x donde son necesarios un equipo costoso y personal altamente calificado.

Una manera de dividir las técnicas con el equipo fuera de operación en grupos más pequeños, es clasificándolos según los tipos de fallas que detectan:

- Degradación de la superficie (Desgaste, corrosión, fisuras, etc.): Por ejemplo. Prueba de partículas magnéticas, tintas penetrantes, endoscopia.
- Deficiencias Internas: Por ejemplo. Ultrasonido, rayos x.
- Propiedades: Por ejemplo. Prueba de dureza.
- Dimensiones: Por ejemplo. Mediciones, calibraciones, shelltest
- Fugas: Por ejemplo. Prueba de presión, detección ultrasónica de fugas.

El intervalo P-F, ver figura 2, que utiliza el monitoreo de condición para indicar la forma en que se presenta una falla, es de gran ayuda, y lo que se busca es que cada vez sea mas grande, para poder tener mas tiempo antes de que la falla ocurra, y así poder establecer frecuencias mas distantes.

Figura 2. Curva estado de un equipo



Fuente: Folleto de monitoreo de condición Holderbank



## **1.3. Equipos críticos**

### **1.3.1. Clasificación de equipos críticos**

Los equipos se pueden clasificar dependiendo del efecto sobre la seguridad de las personas, el medio ambiente, la producción de la planta y otros equipos al ocurrir una falla, a continuación se describe la forma en que se encuentran clasificados los equipos en Cementos Progreso planta San Miguel:

Equipo crítico es aquel que forma parte de un proceso continuo y que al dejar de funcionar por falla, falta de mantenimiento o desperfecto, afecta directamente la disponibilidad del equipo, el medio ambiente, la producción, la seguridad de las personas y otros equipos.

Por su mayor ó menor incidencia en el medio ambiente, seguridad del personal, producción y sobre otro equipo, los equipos críticos se clasifican en:

- Equipo critico clase A
- Equipo critico clase B
- Equipo critico clase C

#### **1.3.1.1. Equipo crítico clase “A”**

Los equipos que pertenecen a la clase “A”, son aquellos que por mal funcionamiento o falla afectan significativamente la seguridad de las personas, el medio ambiente, o producción de toda la planta, porque son difíciles de reemplazar o de reparar , un ejemplo, es el aplicador automático de sacos.

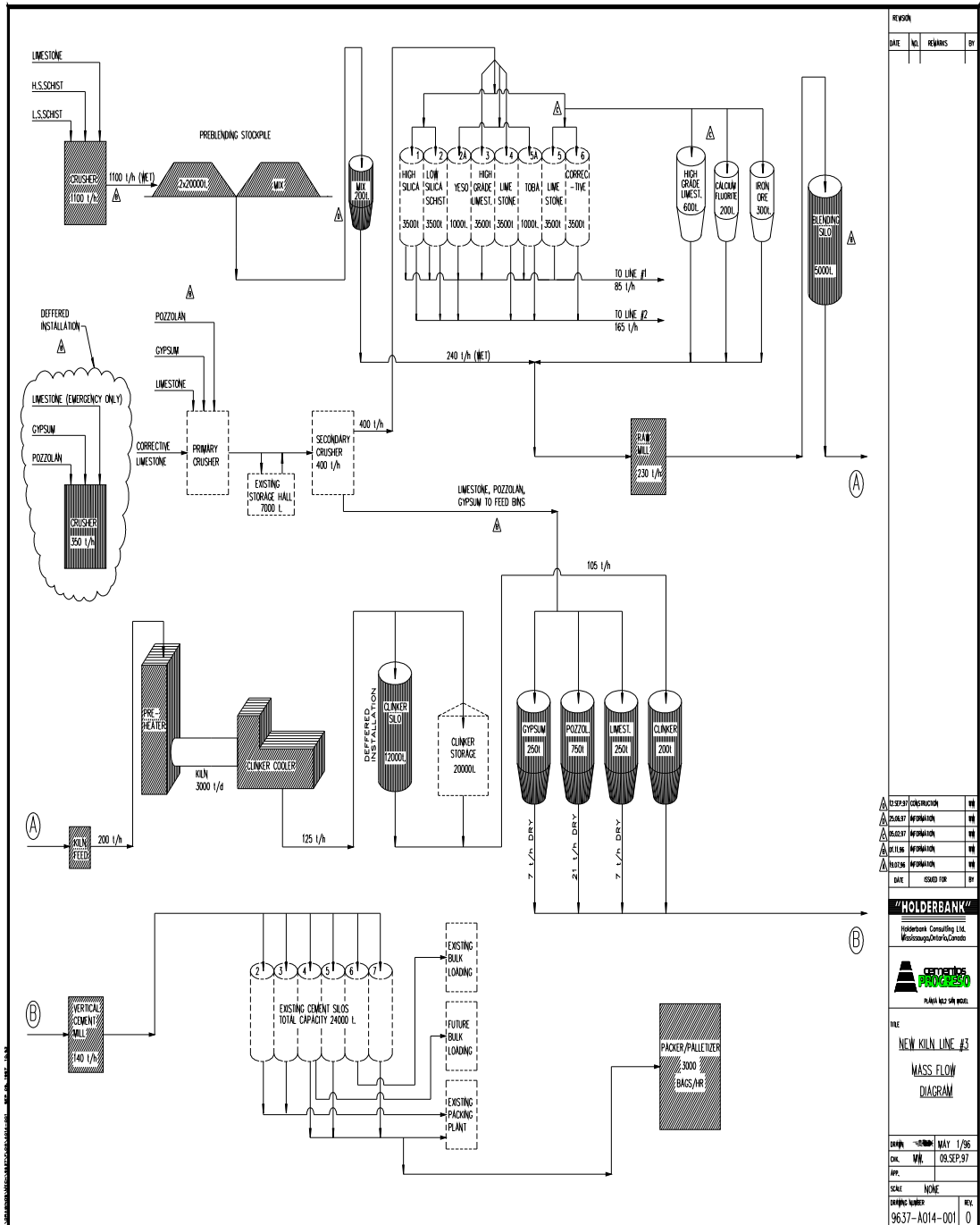
#### **1.3.1.2. Equipo crítico clase “B”**

Los equipo que pertenecen a ésta clasificación, son aquellos que por mal funcionamiento o falla ocasiona una interrupción en la operación de su área, sin tener consecuencias significativas sobre la seguridad de la persona, el medio ambiente o la producción de la planta, normalmente son fáciles de reparar o reemplazar, un ejemplo, son las bandas transportadoras.

#### **1.3.1.3. Equipo crítico clase “C”**

Es aquel que al fallar no ocasiona interrupción en la operación, no tiene efecto sobre la seguridad del personal, ni sobre el medio ambiente.

Figura 3. Proceso de producción del cemento.



Fuente: Planificación planta San Miguel

## **1.4. Proceso de producción del cemento**

El proceso productivo del cemento en planta San Miguel, Cementos Progreso consta de tres etapas, las cuales se describen a continuación:

### **1.4.1. Etapas de la producción del cemento**

En la figura 3, se muestra un diagrama de flujo del proceso de producción del cemento, en el cual se observa cada una de las etapas, que inicia con la extracción de la materia prima, y finaliza con el envasado del cemento.

#### **1.4.1.1. Etapa de extracción y trituración**

Estas dos etapas son responsabilidad del departamento de cantera y trituración. Este departamento tiene la función principal de proveer a la planta las materias primas, con las especificaciones de calidad que se requieren para el proceso. Este departamento concentra el equipo móvil pesado de la empresa: cargadores frontales de ruedas, tractores de cadenas, motoniveladoras, camiones de volteo para cantera, barrenos neumáticos para roca, palas mecánicas, camiones livianos, etc. El área cubierta por este departamento es la más extensa de la planta.

Las trituradoras se separan de acuerdo a las líneas de producción que sirven, para servicios de las líneas 1 y 2, se cuenta con una trituradora primaria y una secundaria. En la trituración primaria se reduce el tamaño de la roca extraída de cantera de 36 pulgadas de diámetro máximo, a piedra de aproximadamente 6 pulgadas, por medio de una trituradora de cono. Luego se clasifica en cuatro, dos y una pulgada, utilizando una zaranda vibratoria.

En la trituración secundaria la piedra es reducida en una trituradora de cono hasta una pulgada, que es el requerimiento en tamaño de la siguiente etapa.

En la segunda sección que sirve a la línea 3, la roca extraída de cantera es reducida de 36" a 6" aproximadamente, por medio de una trituradora de barras de impacto; luego ese material es transportado a la galera de prehomogenización.

#### **1.4.1.2. Proceso de producción**

##### **Fabricación de harina cruda, *clinker* y cemento**

Es responsabilidad del departamento con el mismo nombre, este departamento tiene como función principal operar el equipo y la maquinaria que interviene directamente en la fabricación de cemento, para facilitar las tareas se utiliza un sistema computarizado centralizado. Los pasos que sigue el proceso de producción de cemento son los siguientes:

##### **Secado de materias primas**

El propósito es la eliminación de la humedad contenida en los materiales, la que varía desde el 3% hasta el 6% en los diferentes materiales, según la época del año. Para esto, se utiliza un secador, que consiste en un cilindro rotativo donde la materia prima es secada por contacto directo con gases calientes, producto de la combustión del bunker en el horno.

#### **1.4.1.2.1. Molienda de la mezcla**

El propósito fundamental de este paso es la reducción de tamaño proporcionalmente de las materias primas (mezcla). Los molinos que intervienen en esta operación son de dos tipos: el primero es básicamente un cilindro rotativo de acero, con una cantidad de bolas de acero en su interior, donde la reducción de tamaño del material alimentado se da por choque y deslizamiento de las bolas, este molino es el único que requiere el secado de materiales, para su proceso de molienda. El segundo es un molino vertical de rodillos, el cual contiene tres masas (rodillos) en su interior que presionan el material contra la mesa giratoria, reduciendo el tamaño del material. Aquí se prepara una mezcla de las materias primas en las proporciones químicas y físicas adecuadas, como: fineza, tamaño de partículas etc., que se conoce con el nombre de harina cruda.

#### **1.4.1.2.2. Homogenización**

En este paso la harina cruda, es agitada con el objeto de obtener una mezcla uniforme. Se lleva a cabo en silos especiales, agitados con aire comprimido desde la parte inferior.

#### **1.4.1.2.3. Proceso de calcinación**

La mezcla cruda es introducida a los hornos rotativos en donde sufre cambios químicos y físicos, debido a alta temperatura dentro de los mismos, que dan como resultado un mineral artificial llamado "*clinker*". Los hornos que intervienen en esta operación son cilindros rotativos de acero, de aproximadamente 65 metros de longitud, revestidos interiormente con materiales refractarios para evitar el contacto directo de la virola o casco de

acero, el material fundido y la fuente calorífica, ya que debido a la combustión del búnker se llegan a alcanzar temperaturas mayores a 1,500 centígrados.

#### **1.4.1.2.4. Premolienda**

En esta etapa el clinker es premolido por medio de una prensa de rodillos que trabaja por medio de compresión. El propósito fundamental, en esta etapa, es el de hacer más fácil la molienda final por medio de una reducción intermedia en el tramo del material.

#### **1.4.1.2.5. Molienda de cemento**

En esta etapa, al igual que en la molienda de la mezcla cruda, se utilizan dos tipos de molinos, de donde se obtiene el polvo fino llamado "CEMENTO" con cualidades físicas y químicas determinadas por el departamento de control de calidad, en base a normas y especificaciones internacionales ASTM (Sociedad Americana de Normas para Materiales) y nacionales de COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas).

El cemento es almacenado en silos especiales para garantizar una confiable conservación, existen seis silos en los cuales se almacena el producto terminado, a espera de ser envasado y despachado según la demanda.

#### **1.4.1.3. Etapa de envasado y despacho del cemento**

Pertenece a la sección de abastecimiento, y tiene como funciones principales la de envasar el producto, almacenar el producto envasado, en el caso de las ensacadoras automatizadas, y despachar el producto terminado.

El envasado del producto se realiza en cuatro ensacadoras rotativas, dos ensacadoras que realizan el proceso en forma automática, y dos que requieren una persona para que coloque la bolsa en forma manual.

Las ensacadoras automatizadas ofrecen la ventaja de poder almacenar el producto ya que estas cuentan con un paletizador cuya función principal es formar tarimas de 30 y 35 sacos para su respectivo almacenaje, y así poder ser despachado fácilmente en el momento que sea necesario.

Las ensacadoras manuales no ofrecen la ventaja de almacenar el producto, es por eso que el producto que se envasa es el producto que se está despachando en ese momento.

El despacho del cemento en planta San Miguel se realiza de dos formas, a granel en transportes especiales (pipas) hasta 20 toneladas métricas, y en sacos de papel de 42.5 kg. dependiendo de los requerimientos del cliente.

#### **1.4.2. Descripción de operación de la maquinaria de envasado y despacho de cemento.**

##### **1.4.2.1. Ensacadoras manuales 21-641-EV1 Y 21-642-EV1**

Son máquinas de ensacado de aplicación manual, ver figura 4, que se utilizan para el despacho de cemento de carga manual, y que tienen una capacidad de despacho de 1,850 sacos por hora.



**Figura 4. Aplicación manual para el envasado del cemento**



**Fuente: Foto envasado y despacho de cemento**

#### **1.4.2.2. Ensacadoras automáticas 21-643-EV1 y 21-644-EV1**

##### **Ensacadora automática 21-643-EV1**

Máquina de ensacado de aplicación automática del saco, ver figura 5, que se utiliza para el despacho de cemento paletizado, con una capacidad de despacho 3,000 sacos por hora, y su transporte de carga se hace por medio de montacargas con aditamentos especiales para sus movimientos.

##### **Ensacadora automática 21-644-EV1**

Máquina de ensacado de aplicación automática del saco, ver figura 5, que se utiliza para el despacho de cemento paletizado, con una capacidad de despacho de 3,000 sacos por hora, y su transporte de carga se hace por medio de montacargas con aditamentos especiales para sus movimientos.

**Figura 5. Ensacadora rotativa de aplicación automática**



**Fuente: Foto envasado y despacho de cemento**

### **1.4.2.3. Despacho del cemento a granel**

#### **1.4.2.3.1. Transporte del cemento**

El cemento se transporta desde los silos por medio de equipos periféricos (elevador, regueras, filtro y sopladores) que son utilizados para el llenado de la tolva principal para la carga posterior del proceso de carga a granel.

#### **1.4.2.3.2. Descarga del cemento en camiones de transporte**

Consiste en la carga del cemento que va desde la tolva principal y que pasa a través de un cargador retráctil para efectuar el llenado continuo del transporte, con una capacidad hasta de 20 toneladas métricas.

#### **1.4.2.3.3. Operación de báscula de granel**

Es realizada por el operador, quien se encarga de verificar el peso correcto y tipo de cemento a despachar, así como también de la orden de entrega al cliente.

#### **1.4.2.3.4. Marchamo de seguridad**

El marchamo se utiliza para asegurar los registros de carga y descarga de los camiones con una identificación numérica que asegura la confiabilidad en la entrega del producto a los clientes.

#### **1.4.2.4. Despacho del cemento envasado**

##### **1.4.2.4.1. Transporte del cemento**

El cemento es transportado desde los silos de cemento por medio de equipos periféricos (elevador, regueras, filtro y sopladores) que son utilizados para trasladar el cemento desde los silos de almacenaje hasta el llenado de la tolva principal de la ensacadora y así poder iniciar el envasado del producto.

##### **1.4.2.4.2. Envasado y despacho en ensacadoras automáticas**

En estas maquinas el saco es colocado en forma automática, por un aplicador de sacos automático, luego de ser envasado el cemento, el saco es transportado por medio de fajas transportadoras, hasta llegar a una faja desplazadora, que es la encargada de orientar los sacos para poder iniciar la formación de tarimas y hacer posible el despacho del producto en forma

paletizada, su transporte de carga se hace por medio de montacargas con un aditamento especial (push-pull), ver figura 6.

**Figura 6. Despacho del cemento en montacargas con aditamento *push-pull***



Fuente: Foto de envasado y despacho de cemento

#### **1.4.2.4.3. Envasado y despacho en ensacadoras manuales**

En estas máquinas el saco es colocado por el operador de la máquina manualmente, luego de ser envasado el cemento, el saco es transportado por medio de fajas transportadoras y luego es colocado manualmente por la persona encargada de esa actividad en la plataforma respectiva.

#### **1.4.2.5. Fechado del producto envasado**

Los sacos de cemento después de haber sido envasados en su respectiva ensacadora, son transportados por medio de fajas transportadoras, en el proceso de transporte los sacos son fechados y numerados según la ensacadora donde fueron envasados, este control es de vital importancia no

solo para tener un control de la máquina en que se envaso el producto, sino también para saber la fecha y la hora en la que fue envasado.

Este proceso es realizado por medio de un fechador marca IMAGE que utiliza un cañón para poder lanzar la tinta y realizar la impresión sobre el saco de cemento, esta tinta es lanzada luego que un sensor da señal de presencia del saco.



## **2. RECURSOS NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MONITOREO DE CONDICIÓN**

### **2.1. Capacitación**

A medida que cambian las organizaciones las exigencias del puesto aumentan, se tienen que modificar y actualizar las habilidades del empleado; la mayor parte de las actividades de capacitación de empleados busca modificar una o más de estas habilidades y el mejoramiento continuo de los individuos tanto como persona, así como en el puesto de trabajo que desempeñan.

En los últimos años la mayor parte de los puestos de trabajo se han vuelto más complejos. Fábricas y oficinas computarizadas, máquinas que se controlan en forma digital, y otros tipos de tecnología sofisticada, exigen que los empleados tengan habilidades en matemáticas, lectura y computación. Por ejemplo: cómo pueden los mecánicos encargados de realizar el mantenimiento, llevar un control de los datos de temperaturas de un motor y tabularlos, darle un seguimiento a las variaciones que pudiera presentar. Otro ejemplo podría ser: como puede una mecánico llegar a conocer que el aumento del área en una tubería o manguera le reducirá la presión en el sistema, que cada uno de los mecánicos supiera estas diferencias tan importantes seria lo ideal, pero para ello es necesario capacitar a los mismos, en técnicas de computación, hidráulica, neumática, y otras ramas relacionadas.

La capacitación será el punto de partida para la implementación de este proyecto, continuando con la adquisición del equipo necesario para poder llevarlo a la práctica.

Tomando en cuenta que un 70% del monitoreo de condiciones se basa en la toma de vibraciones y análisis de aceites usados, profundizaremos mas en estos dos temas, aunque también es muy importante hacer mención de temas como: hidráulica, neumática, ya que en el área de despacho, se cuenta con equipos hidráulicos y neumáticos, los cuales pertenecen a la clasificación de equipos críticos clase “A”, descritos anteriormente.

### **2.1.1. Vibraciones**

El termino vibración se define como “acto de balancearse de un lugar a otro; oscilación”; sin embargo, para los que están estrechamente vinculados a la industria de las vibraciones, el término significa movimiento de vaivén de una máquina o de un componente de máquina desde su posición de reposo original, causado por una fuente de perturbación interna y/o externa al mismo con cambios de dirección y de magnitud, la cual se expresa en términos de: desplazamiento, velocidad y aceleración.

#### **2.1.1.1. Formas de medición de una vibración**

##### **2.1.1.1.1. Desplazamiento de vibración**

Es la medida del recorrido total de la masa, esto es, aquello que muestra que tan lejos llega la masa de un lado a otro cuando vibra. El desplazamiento puede expresarse en milésimas de milímetro.

##### **2.1.1.1.2. Velocidad de vibración**

Es la medida de la rapidez con que se desplaza o vibra la masa durante su oscilación. La velocidad de la de la masa es cero en los límites superior e



inferior, ya que debe detenerse en tales puntos para invertir la dirección. La velocidad puede expresarse en unidades de milímetros por segundo (mm/seg.).

#### **2.1.1.1.3. Aceleración de vibración**

Es el coeficiente de cambio de velocidad; se mide en G's de aceleración relativa a la aceleración de la gravedad. A nivel del mar, 1.0 G equivale a 9,806.65 mm/seg<sup>2</sup>, estos son valores de la aceleración de la gravedad aceptados.

#### **2.1.1.2. Parámetros de las vibraciones**

La vibración tiene tres importantes parámetros sujetos a medición:

1. Amplitud, que indica la cantidad.
2. Frecuencia, que indica un número de veces por minuto o por segundo
3. Fase, que indica cómo vibra.

##### **2.1.1.2.1. Amplitud de la vibración**

Es la distancia total recorrida por la masa que esta vibrando u oscilando alrededor de su posición de equilibrio, es decir nos especifica que tanto se mueve la masa a partir de su posición neutral o de equilibrio.

La amplitud de una vibración se puede especificar de cuatro maneras diferentes:

- Pico a pico
- Cero a pico
- RMS (raíz cuadrada de promedios)
- Promedios

### **2.1.1.2.2. Frecuencia de una vibración**

La frecuencia puede calcularse a partir de la amplitud midiendo el período de tiempo (T) de un ciclo; para determinar la frecuencia, basta con invertir el proceso.

La frecuencia se expresa en unidades de ciclos por segundo (cps). Estas unidades son conocidas ahora como hertz.

1 Hertz = 3,600 cps, cuya abreviatura es Hz.

#### **Período**

Está dado por el intervalo de tiempo entre picos sucesivos en que tarda el sistema en completar un ciclo.  $\text{Período} = 1 / \text{frecuencia}$

### **2.1.1.2.3. Fase de una vibración**

Es la desviación relativa de un componente vibrante respecto de un punto de referencia fijo en otro componente vibrante, en otras palabras, es el “ritmo de tiempo” de una vibración en relación con una pieza fija o móvil de la maquinaria

La razón principal para analizar y diagnosticar el estado de una maquina es determinar las medidas necesarias para corregir la condición de vibración reducir el nivel de las fuerzas vibratorias no deseadas y no necesarias. De manera que, al estudiar los datos, el interés principal deberá ser la identificación de las amplitudes predominantes de la vibración, la determinación de las causas, y la corrección del problema que ellas representan.

### **2.1.1.3. Diferentes causas y consecuencias de una vibración**

A continuación se describen las diferentes causas de vibración y sus consecuencias, lo cual nos ayudara enormemente para interpretar los datos que podamos obtener, determinado así el tipo de vibración que se presenta y buscar así la debida corrección de las mismas.

#### **2.1.1.3.1. Vibración debida a desbalance**

El desbalance de la maquinaria es una de las causas más comunes de la vibración. En muchos casos, los datos arrojados por un estado de desbalance indican:

1. La frecuencia de vibración se manifiesta a 1x las rpm de la pieza desbalanceada.
2. La amplitud es proporcional a la cantidad de desbalance.
3. La amplitud de la vibración es normalmente mayor en el sentido de medición radial, horizontal o vertical (en las maquinas con ejes horizontales).
4. El análisis de fase indica lecturas de fase estables.
5. La fase se desplazará 90° si se desplaza el captador 90°.

El desbalance de un rotor saliente a menudo tiene como resultado una gran amplitud de la vibración en sentido axial, al mismo tiempo que en sentido radial.

#### **2.1.1.3.2. Vibración debida a falta de alineamiento**

En la mayoría de los casos los datos derivados de una condición de falta de alineamiento indican lo siguiente:

1. La frecuencia de vibración es de 1x rpm; también 2x y 3x rpm en los casos de una grave falta de alineamiento.
2. La amplitud de la vibración es proporcional a la falta de alineamiento.
3. La amplitud de la vibración puede ser alta también en sentido axial, además de radial.
4. El análisis de fase muestra lecturas de fase inestables.

La falta de alineamiento, aun con acoplamientos flexibles, produce fuerzas tanto radiales como axiales que, a su vez, producen vibraciones radiales y axiales.

Uno de los indicios más importantes de problemas debidos a falta de alineamiento y a ejes torcidos es la presencia de una elevada vibración en ambos sentidos, radial y axial. En general, cada vez que la amplitud de la vibración axial sea mayor que la mitad de la lectura radial más alta, hay un buen motivo de sospechar la existencia de un problema de alineamiento o eje torcido.

Los tres tipos básicos de falta de alineamiento en el acoplamiento son: falta de alineamiento angular, falta de alineamiento en paralelo y una combinación de ambos.

#### **2.1.1.3.2.1. Falta de alineamiento angular**

Una falta de alineamiento angular sujeta principalmente los ejes de las maquinas accionadora y accionada a vibración axial igual a la velocidad de rotación (rpm) del eje.

### **2.1.1.3.2.2. Falta de alineamiento en paralelo**

La falta de alineamiento en paralelo produce principalmente vibración radial con una frecuencia igual al doble de la velocidad de rotación del eje.

### **2.1.1.3.3. Vibración debida a excentricidad**

La excentricidad es otra de las causas comunes de vibración en la maquinaria rotativa. Excentricidad en este caso no significa "ovalización", sino que la línea central del eje no es la misma que la línea central del rotor el centro de rotación verdadero difiere de la línea central geométrica.

La excentricidad es en realidad una fuente común de desbalances, y se debe a un mayor peso de un lado del centro de rotación que del otro.

Una manera de diferenciar entre desbalance y excentricidad es medir la vibración con filtro afuera mientras el motor está funcionando bajo corriente. Luego, se desconecta el motor, observando el cambio de la amplitud de vibración. Si la amplitud se reduce gradualmente mientras el motor sigue girando por inercia, es muy probable que el problema sea debido a desbalance; Si, en cambio, la amplitud de vibración desaparece en el momento mismo en que el motor es desconectado, el problema es seguramente de naturaleza eléctrica, y es muy posible que se deba a excentricidad del inducido.

La excentricidad en rodetes o rotores de ventiladores, sopladores, bombas y compresores puede también crear fuerzas vibratorias. En esos casos las fuerzas son el resultado de fuerzas aerodinámicas e hidráulicas desiguales que actúan contra el rotor.

#### **2.1.1.3.4. Vibración debida a rodamientos de chumacera defectuosos**

Elevados niveles de vibración, ocasionados por rodamientos de chumacera defectuosos, son generalmente el resultado de una holgura excesiva (causada por desgaste debido a una acción de barrido o por erosión química), aflojamientos mecánicos (metal blanco suelto en el alojamiento), o problemas de lubricación.

##### **2.1.1.3.4.1. Holgura excesiva de rodamientos**

Un rodamiento de chumacera con holgura excesiva hace que un defecto de relativamente menor importancia, tal como un leve desbalance o una pequeña falta de alineamiento, u otra fuente de fuerzas vibratorias, se transformen como resultado de aflojamientos mecánicos o en golpes repetidos (machacado).

En tales casos el rodamiento en si no es lo que crea la vibración; pero la amplitud de la misma seria mucho menor si la holgura de los rodamientos fuera correcta.

A menudo se puede detectar un rodamiento de chumacera desgastado por "barrido" efectuando una comparación de las amplitudes de vibración horizontal y vertical. Las maquinas que están montadas firmemente sobre una estructura o cimentación rígidas revelaran, en condiciones normales, una amplitud de vibración ligeramente más alta en sentido horizontal.

#### **2.1.1.3.4.2. Torbellino de aceite**

Este tipo de vibración ocurre solamente en maquinas equipadas con rodamientos de chumacera lubricados a presión, y que funcionan a velocidades relativamente altas normalmente por encima de la segunda velocidad critica del motor.

La vibración debida a torbellinos de aceite a menudo es muy pronunciada, pero se reconoce fácilmente por su frecuencia fuera de lo común. Dicha frecuencia es apenas menor de la mitad de la velocidad de rotación (en rpm) del eje, generalmente en el orden del 46 al 48% de las rpm del eje.

El problema de los torbellinos de aceite normalmente se atribuye a diseño incorrecto del rodamiento, desgaste excesivo del rodamiento, un aumento de la presión del lubricante o un cambio de la viscosidad del aceite.

Se pueden hacer correcciones temporales modificando la temperatura del aceite (viscosidad), introduciendo un leve desbalance o una falta de alineamiento de manera de aumentar la carga sobre el eje, o rascando y/o ranurando los costados del rodamiento, para desbaratar la "cuña" de lubricante.

Desde luego, una solución más duradera es reemplazar el rodamiento con uno que haya sido diseñado correctamente de acuerdo a las condiciones operativas de la maquina, o con uno que esté diseñado para reducir la posibilidad de formación de torbellinos de aceite.

Los rodamientos con ranuras axiales usan las ranuras para aumentar la resistencia a la formación de torbellinos de aceite en tres puntos espaciados

uniformemente. Este tipo de configuración está limitado a las aplicaciones más pequeñas, tales como turbinas de gas livianas y turbocargadores.

Los rodamientos de chumacera de lóbulos brindan estabilidad contra los torbellinos de aceite al proporcionar tres puntos de concentración de la película de aceite bajo presión, que sirven para centrar al eje.

Los rodamientos de riñón basculante son comúnmente utilizados para las máquinas industriales más grandes, que funcionan a velocidades más altas.

Hay dos causas comunes de vibración que pueden inducir un torbellino de aceite en un rodamiento de chumacera:

#### **2.1.1.3.5. Vibración ocasionada por otros elementos de la máquina misma**

Toda vez que se detecta la vibración característica del torbellino de aceite se deberá realizar una completa investigación de las vibraciones en toda la instalación, incluyendo las fuentes de vibración circunvecina, las estructuras de cimentación y las tuberías relacionadas. Se podrá así quizás descubrir una causa externa de los problemas de torbellino de aceite.

##### **2.1.1.3.5.1. Torbellinos de histéresis**

Este tipo de vibración es similar a la vibración ocasionada por el torbellino de aceite, pero ocurre a frecuencias diferentes, cuando el rotor gira entre la primera y la segunda velocidad crítica.



Un rotor que funcione por encima de la velocidad crítica tiende a flexionarse, o arquearse, en sentido opuesto del punto pesado de desbalance. La amortiguación interna debida a histéresis, o sea la amortiguación de fricción, normalmente limita la deflexión a niveles aceptables. Sin embargo, cuando acontece un torbellino por histéresis, las fuerzas amortiguadoras se encuentran en realidad en fase con la deflexión, y por lo tanto, acrecentan la deflexión del motor. Cuando dicho rotor está funcionando por encima de la primera velocidad crítica pero por debajo de la segunda, el torbellino por histéresis ocurre a una frecuencia exactamente igual a la primera velocidad crítica del rotor.

La frecuencia de formación del torbellino de aceite es levemente menor de la mitad de la velocidad de rotación del rotor.

La vibración ocasionada por un torbellino por histéresis tendrá la misma característica que las ocasionadas por un torbellino de aceite cuando la máquina funcione a velocidades superiores a la segunda velocidad crítica del eje. Es decir, que una severa vibración se producirá a una frecuencia levemente menor que 0.5x las rpm del rotor.

El torbellino por histéresis es controlado normalmente por la acción de amortiguación provista por los rodamientos de chumacera en si. Sin embargo, cuando la amortiguación estacionaria es baja en comparación con la amortiguación interna del rotor, es probable que se presenten problemas.

La solución usual para este problema es aumentar la amortiguación estacionaria de los rodamientos y de la estructura de soporte de los mismos. En algunos casos el problema puede ser solucionado reduciendo la amortiguación dada por el rotor sencillamente, cambiando un acoplamiento de engranajes con una versión sin fricción; por ejemplo, con un acoplamiento de disco flexible.

#### **2.1.1.3.6. Vibración debida a una lubricación inadecuada**

Una inadecuada lubricación, incluyendo la falta de lubricación y el uso de lubricantes incorrectos, puede ocasionar problemas de vibración en un rodamiento de chumacera. En semejantes casos la lubricación inadecuada causa excesiva fricción entre el rodamiento estacionario y el eje rotante, y dicha fricción induce vibración en el rodamiento y en las demás piezas relacionadas. Este tipo de vibración se llama "*dry whip*", o sea látigo seco, y es muy parecido al pasar de un dedo mojado sobre un cristal seco.

La frecuencia de la vibración debida al látigo seco generalmente es muy alta y produce el sonido chillón característico de los rodamientos que están funcionando en seco. No es muy probable que dicha frecuencia sea algún múltiplo integral de las rpm del eje, de manera que no es de esperarse ningún patrón significativo bajo la luz estroboscópica. En este respecto, la vibración ocasionada por el látigo seco es similar a la vibración creada por un rodamiento antifricción en mal estado.

Toda vez que se sospeche que un látigo seco sea la causa de la vibración se deberá inspeccionar el lubricante, el sistema de lubricación y la holgura del rodamiento.

#### **2.1.1.3.7. Vibración debida al aflojamiento mecánico**

El aflojamiento mecánico y la acción de golpeo (machacado) resultante producen vibración a una frecuencia que a menudo es  $2x$ , y también múltiplos más elevados, de las rpm. La vibración puede ser resultado de pernos de montaje sueltos, de holgura excesiva en los rodamientos, o de fisuras en la estructura o en el pedestal de soporte.

La vibración característica de un aflojamiento mecánico es generada por alguna otra fuerza de excitación, como un desbalance o una falta de alineamiento. Sin embargo, el aflojamiento mecánico empeora la situación, transformando cantidades relativamente pequeñas de desbalance o falta de alineamiento en amplitudes de vibración excesivamente altas. Corresponde por lo tanto decir que el aflojamiento mecánico permite que se den mayores vibraciones de las que ocurrirían de por sí, derivadas de otros problemas.

Un aflojamiento mecánico excesivo es muy probable que sea la causa primaria de los problemas cuando la amplitud de la vibración  $2x$  las rpm es más de la mitad de la amplitud a la velocidad de rotación,  $1x$  las rpm.

#### **2.1.1.3.8. Vibración debida a bandas de accionamiento**

Las bandas de accionamiento del tipo en "V" gozan de mucha popularidad para la transmisión del movimiento puesto que tiene una alta capacidad de absorción de golpes, choques y vibraciones.

Los problemas de vibración asociados con las bandas en "V" son clasificados generalmente por:

- Reacción de la banda a otras fuerzas, originadas por el equipo presente, que causan alteraciones.
- Vibraciones creadas por problemas de la banda en sí.

Las bandas en "V" son consideradas a menudo como fuente de vibración porque es tan fácil ver las bandas que saltan y se sacuden entre poleas. Por lo general, el reemplazo de las bandas es a menudo una de las primeras tentativas de corrección de los problemas de vibración.

Sin embargo es muy posible que la banda esté sencillamente reaccionando a otras fuerzas presentes en la maquina. En tales casos la banda es solamente un indicador de que hay problemas de vibración y no representan la causa misma.

La frecuencia de vibración de las bandas es el factor clave en la determinación de la naturaleza del problema. Si la banda está sencillamente reaccionando a otras fuerzas de alteración, tales como desbalance o excentricidad en las poleas, la frecuencia de vibración de la banda será muy probablemente igual a la frecuencia alterante. Esto significa que la pieza de la maquina que realmente está causando el problema aparecerá estacionaria bajo la luz estroboscópica del analizador.

Si es defecto de la banda la frecuencia de vibración será un múltiplo integral –1, 2, 3 ó 4 – de las rpm de la banda. El múltiplo verificado dependerá de la naturaleza del problema y de la cantidad de poleas, sea de accionamiento como locas, presentes en el sistema.

Es fácil determinar las rpm de una banda de la siguiente manera:

Rpm de la banda =  $(3.14 \times \text{diám. de la polea} \times \text{rpm de la polea}) / \text{longitud de la banda}$ .

#### **2.1.1.3.9. Vibración debida a problemas de engranaje**

La vibración que resulta de problemas de engranaje es de fácil identificación porque normalmente ocurre a una frecuencia igual a la frecuencia de engrane de los engranajes; es decir, la cantidad de dientes del engranaje multiplicada por las rpm del engranaje que falla.

Problemas comunes de los engranajes, que tienen como resultado vibración a la frecuencia de engrane, comprenden el desgaste excesivo de los dientes, inexactitud de los dientes, fallas de lubricación y materias extrañas atrapadas entre los dientes.

No todos los problemas de engranajes generan frecuencias de vibración iguales a las frecuencias de engrane. Si un engranaje tiene un solo diente roto o deformado, por ejemplo, el resultado puede ser una frecuencia de vibración de 1x las rpm. Mirando la forma de onda de esa vibración en un osciloscopio conectado con un analizador, la presencia de señales de impulso permitirá distinguir entre este problema y las demás averías que también generan frecuencias de vibración de 1x las rpm. Desde luego, si hay más de un diente deformado, la frecuencia de vibración es multiplicada por una cantidad correspondiente.

La amplitud y frecuencia de vibración debida a los engranajes pueden también parecer erráticas a veces. Dicho tipo de vibración errática ocurre normalmente cuando un conjunto de engranajes está funcionando en condiciones de carga muy liviana. En tales condiciones la carga puede desplazarse repetidamente de un engranaje a otro de modo irregular.

Los problemas de rodamientos son predominantes en el punto de falla de los mismos, mientras que los problemas de engranajes pueden ser detectados en dos o más puntos de la máquina.

### **2.1.1.3.10. Vibración debida a causas eléctricas**

Esté tipo de vibración es normalmente el resultado de fuerzas magnéticas desiguales que actúan sobre el rotor o sobre el estator. Dichas fuerzas desiguales pueden ser debidas a:

- Rotor que no es redondo
- Chumaceras del inducido que son excéntricas
- Falta de alineamiento entre el rotor y el estator; entrehierro no uniforme
- Perforación elíptica del estator
- Devanados abiertos o en corto circuito
- Hierro del rotor en corto circuito

En líneas generales, la frecuencia de vibración resultante de los problemas de índole eléctrica será 1x las rpm, y por tanto se parecerá a desbalance. Una manera sencilla de hacer la prueba para verificar la presencia eventual de vibración eléctrica es observar el cambio de la amplitud de la vibración total (filtro fuera) en el instante en el cual se desconecta la corriente de esa unidad. Si la vibración desaparece en el mismo instante en que se desconecta la corriente, el problema con toda posibilidad será eléctrico. Si solo decrece gradualmente, el problema será de naturaleza mecánica.

Las vibraciones ocasionadas por los problemas eléctricos responden generalmente a la cantidad de carga colocada en el motor. A medida que se modifica la carga, la amplitud y/o las lecturas de fase pueden indicar cambios significativos. Esto explica por qué los motores eléctricos que han sido probados y balanceados en condiciones sin carga muestran cambios drásticos de los niveles de vibración cuando vuelven a ser puestos en servicio.

## **2.1.2. Lubricación**

La lubricación, se refiere a la modificación de las características relativas a la fricción, y a la reducción del daño y el desgaste en la superficie de los sólidos, al moverse uno en relación con el otro. Cualquier cosa que se introduzca entre dos superficies de ese tipo para realizar lo antes mencionado se llama lubricante.

### **2.1.2.1. Tipos de lubricantes**

A continuación se hace mención de los diferentes tipos de lubricantes utilizados, y la función en cada una de sus aplicaciones.

#### **2.1.2.1.1. Lubricantes líquidos**

Aunque hay muchos líquidos, incluso el agua, que se pueden usar como lubricantes, los de uso más frecuente son los que se basan en fracciones de petróleo refinado o en fluidos sintéticos.

Los aceites lubricantes derivados del petróleo se preparan mediante muchos procesos disponibles para refinación a partir de hidrocarburos naturales. Estos lubricantes son los de uso más extenso, debido a su adaptabilidad general a la mayoría de los equipos existentes o por su disponibilidad a un costo moderado, o ambas cosas.

Los lubricantes sintéticos, como su nombre lo indica, no son derivados naturales del petróleo. Por lo general, los sintéticos son productos químicos orgánicos. Estos lubricantes por su alto costo, con frecuencia sólo se utilizan en donde su propiedad particular es esencial.

#### **2.1.2.1.2. Lubricantes sólidos**

Un lubricante sólido es una película delgada constituida por un sólido o una combinación de sólidos introducida entre dos superficies en rozamiento con el fin de modificar la fricción y el desgaste. El funcionamiento de mecanismos sometidos a temperaturas, presiones y ambientes severos, en los cuales los fluidos orgánicos no son adecuados, ha promovido el perfeccionamiento de lubricantes sólidos, algunos ejemplos de lubricantes sólidos son: el grafito y el molibdeno.

#### **2.1.2.1.3. Lubricantes gaseosos**

Algunos agentes utilizados como lubricantes en forma de gas son: el oxígeno, el aire y algunos gases nobles.

En los últimos años ha entrado en el vocabulario el término “tribología” La tribología puede definirse como la ciencia y la tecnología de las superficies interactuantes que se encuentran en movimiento relativo, incluyendo los fenómenos de fricción, desgaste y lubricación.

### **2.1.2.2. Propiedades de los lubricantes**

#### **2.1.2.2.1. Viscosidad**

La viscosidad (también conocida como “cuerpo” o “peso”), es la medida de la fuerza necesaria para vencer la fricción de fluidos y permitir a un aceite que fluya. Probablemente la viscosidad es la propiedad individual más importante del lubricante y puede ser afectada por la temperatura, la presión y las fuerzas de corte (movimiento de fluidos).



#### **2.1.2.2.2. Índice de viscosidad (IV)**

Es un sistema empírico para expresar la razón de cambio de la viscosidad de un aceite con cambio en la temperatura. En otras palabras puede decirse que el índice de viscosidad, es la propiedad que tiene un aceite de resistir a cambios en la viscosidad debido a incrementos en la temperatura. Cuanto mayor es el índice de viscosidad, menor es el cambio relativo de la viscosidad con la temperatura.

#### **2.1.2.2.3. Aditivos**

Son productos químicos que a menudo se mezclan con aceites derivados del petróleo o sintéticos, para modificar o hacer resaltar ciertas características relacionadas con el rendimiento. Sus concentraciones en los lubricantes preparados pueden variar mucho, desde sólo unas cuantas partes por millón hasta porcentajes apreciables.

#### **2.1.2.3. Monitoreo tribológico**

Es el seguimiento de la condición de una máquina, mediante análisis de muestras sucesivas de aceite usado, aplicando técnicas diseñadas especialmente para este objetivo, durante el periodo de vida de la máquina, es decir, desde el periodo de desgaste normal, periodo de desgaste anormal hasta la falla.

Las técnicas aplicadas deben tener suficiente sensibilidad como para determinar la presencia de partículas de 2 micrones en tamaño (0.002) o mayores y concentraciones desde una parte por millón (1 ppm) o más. Estos resultados deben ser seguidos por tendencias.

Tradicionalmente el análisis de aceite se ha usado para establecer el momento óptimo para realizar el cambio de aceite, que permite extraer del sistema contaminantes indeseables. Actualmente, mediante monitoreo tribológico se utilizan muestras de aceite usado para obtener valiosa información sobre la condición de operación de la maquina y para realizar mantención predictiva.

Los métodos de análisis aplicados, que ocupan poca muestra, casi no requieren intervención del operador se realizan en forma muy rápida y automáticamente entregan gran cantidad de información.

El tamaño de las partículas generadas en un proceso de desgaste, esta en relación directa con el grado de severidad del desgaste de algún elemento de la maquina. Es así como en general se da que durante el desgaste normal encontraremos partículas de hasta 15 micrones. Durante el desgaste anormal, encontraremos partículas cada vez mayores. Cuando encontramos que partículas de 50 micrones están presentes en las muestras de aceite, con tendencias al aumento en cantidad y tamaño, podemos asumir que la anomalía ya detectada, se ha transformado en una falla.

Si se continúa trabajando con esa maquina sin realizar una mantención adecuada, podremos llegar a una situación catastrófica. En este periodo, encontraremos partículas de hasta 100 micrones y mayores, en concentraciones crecientes, si es que esa maquina no se detiene espontáneamente o la detenemos por síntomas muy evidentes.

Las partículas de desgaste alcanzan un equilibrio dinámico después de cierto periodo de operación con un sistema de purificación.

Mientras mayor es la eficiencia del sistema de purificación, menor es la concentración de partículas que quedan en el sistema.

Cuando la velocidad de generación de las partículas, se iguala a la velocidad con que un filtro las retiene, se establece un equilibrio dinámico.

Sin embargo habrá un tamaño de partículas, bajo el cual, estas no son retenidas por el filtro. En este caso su concentración aumentará permanentemente en el sistema. Cada proceso está diseñado para soportar la presencia de partículas con algún límite de tamaño y concentración.

Podremos decir que cada sistema tendrá partículas, chicas en concentración creciente en el tiempo y partículas grandes en equilibrio dinámico.

Al presentarse una anomalía, la concentración de las partículas en general aumentará, debido a que la anomalía genera partículas más rápidamente, rompiendo la tendencia de aumento controlado, en la concentración de partículas chicas y rompiendo el equilibrio dinámico de las partículas grandes.

El equilibrio también se rompe por filtraciones no habituales, rellenos o cambios de aceite, pero se restablece en las próximas 4 a 6 horas de operación.

Los cambios de tendencias pueden ser detectados en forma muy prematura, mediante análisis automático de partículas. Este análisis permite realizar el seguimiento de la concentración y distribución de tamaños de partículas en forma muy exacta.

La determinación de una anomalía mediante análisis de partículas, no necesariamente dirá cual es la anomalía, por esta razón es necesario apoyar esta técnica con otras, como espectrometría de emisión RDE (Fine) para partículas finas, espectrometría de emisión RFS (Coarse) para partículas mayores, espectrometría infraroja, ferrografía analítica. Los resultados de estos análisis, manejados por tendencias en un software apropiado constituye la técnica de monitoreo tribológico.

Cada una de las etapas de desgaste de una máquina podrá ser controlada por monitoreo tribológico y si se complementa con Análisis Vibracional, tendremos una, poderosa técnica de mantenimiento predictiva y sintomática, por su potencial de ahorro en mantenimiento y aumento de productividad.

El control del desgaste mediante monitoreo tribológico y el uso de procesos de filtración, técnicamente adecuados, constituyen en conjunto una poderosa técnica de mantenimiento predictiva

### **2.1.3. Hidráulica**

Los sistemas hidráulicos están formados por dispositivos y redes que trabajan mediante la presión de líquidos. El líquido predominante es el agua, el segundo es el aceite.

Los fluidos se trasladan de un punto a otro con una cantidad de energía determinada. Debido a la resistencia que existe en el sistema, una parte de la energía de presión se pierde en la red en forma de energía calorífica.

Cuando no existe otra fuente de presión, la bomba se convierte en el componente esencial del sistema hidráulico. Otra fuente común de presión es el recipiente que tiene cierta elevación (o energía potencial).

En nuestro caso, nos enfocaremos a los sistemas hidráulicos que utilizan como fluido de trabajo el aceite, y utilizan como fuente de presión una bomba, pues los equipos con que se cuenta en el área de despacho de cemento son de este tipo.

#### **2.1.4. Neumática**

La tecnología de la neumática juega un papel importante en la mecánica desde hace mucho tiempo, y es incluida cada vez más en el desarrollo de aplicaciones automatizadas.

Los sistemas neumáticos con que se cuenta en el área de despacho de cemento son: del tipo de presión positiva (aire comprimido), y presión negativa (de trabajo en vacío).

Los sistemas neumáticos emplean gases (por lo general, aire comprimido, incluyendo las presiones manométricas negativas para un sistema de vacío). Por lo tanto, el componente más importante del sistema neumático es el compresor, soplador o ventilador si es un sistema de presión positiva, y la bomba de vacío, si es un sistema de presión negativa.

Otros de sus componentes son: filtros, postenfriadores, separadores de humedad, acumuladores de aire, secadores de aire, tuberías, válvulas, unidades de mantenimiento, etc., cuyas funciones básicas pueden deducirse por sus nombres.

Para el buen funcionamiento de todos los componentes de un sistema neumático, se requiere de una buena calidad en el fluido de trabajo (aire), y la presión estable requerida por cada uno de los componentes del sistema.

#### **2.1.4.1. Calidad del fluido de trabajo (aire)**

Cuando hablamos de calidad del aire, nos referimos a un aire apto para el buen desempeño de cada uno de los componentes que forman parte del sistema, esta calidad de aire la obtenemos, con el tratamiento del mismo desde que se almacena en el acumulador proveniente del ambiente, ya que desde ese momento en que es succionado por el compresor el aire debe de ser filtrado para evitar impurezas y evitar un estrangulamiento a la entrada del aire.

#### **2.1.5. Diferentes indicadores del desempeño**

Como parte de la integración al proceso del monitoreo de condición, es necesario que a todo el personal involucrado se le capacite, sobre los diferentes indicadores de rendimiento que se manejen en la planta; tanto como para medir la eficiencia del trabajo que realizan las personas como para las diferentes maquinas. Dichos índices nos permitirán identificar los diferentes problemas que afecten el rendimiento del servicio que se presta o bien el de las diferentes maquinas que intervienen en el proceso productivo.

##### **2.1.5.1. Indicadores de mantenimiento**

Los indicadores que están relacionados al mantenimiento y que deben de manejar las personas involucradas en el mismo son:

#### **2.1.5.1.1. Cumplimiento del plan (%)**

El propósito de éste indicador es asegurar y monitorear el cumplimiento del plan diario-semanal de mantenimiento, para el cálculo de este indicador se toman en cuenta, sólo las tareas que fueron planeadas por adelantado, por ejemplo, si una tarea se realizó, y dicha tarea no se encuentra en el plan semanal (emergencia), esta tarea no se considera para el calculo del indicador.

$$\text{Cumplimi. del plan \%} = \frac{\text{Hrs. estimadas ejecutadas en OT's planificadas}}{\text{Horas estimadas totales}} \times 100$$

#### **2.1.5.1.2. Trabajos no planeados (emergencias) %**

Es la medida del nivel de actividades de mantenimiento no planificadas comparado con la carga total de mantenimiento. Este indicador refleja la cantidad de trabajos de emergencia que se llevan a cabo en el área.

El propósito de este indicador es, monitorear la tendencia de las horas utilizadas para emergencias como un indicador de la calidad del mantenimiento.

$$\% \text{ Trabajos no planeados} = \frac{\text{Hrs. reales en la OT's de emergencia}}{\text{Hrs. reales en OT's completadas}} \times 100$$

#### **2.1.5.1.3. Tiempo promedio entre fallas (MTBF)**

Este indicador nos da el tiempo promedio que un equipo se mantiene trabajando, entre una falla y otra. Es decir nos indica que tan confiable es un equipo en su operación, y por lo tanto la calidad de los mantenimientos. El objetivo de este indicador, es evaluar el funcionamiento de los equipos y la prevención de fallas o averías

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tiempo de marcha}}{\text{Número de fallas} + 1}$$

#### **2.1.5.1.4. Tiempo promedio entre fallas por la misma causa (MTBCF)**

Este indicador nos da el tiempo promedio que un equipo se mantiene trabajando entre fallas por la misma causa, con este indicador podemos ver de una forma mas clara la causa que nos esta causando paros repetitivos, y así poder solucionarlos de una forma rápida.

$$\text{MTBCF} = \frac{\text{Tiempo de marcha}}{\text{Número de fallas idénticas} + 1}$$

#### **2.1.5.1.5. Tiempo promedio para reparar (MTTR)**

Este indicador mide el tiempo promedio que se tarda el personal de mantenimiento para reparar o corregir cualquier avería que sufra un equipo. El objetivo de este indicador, es reducir el tiempo de paro y mejorar la disponibilidad de los equipos,

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Suma del tiempo de reparación de fallas}}{\text{Número de fallas}}$$

#### **2.1.5.1.6. Disponibilidad (%)**

Este indicador nos da el porcentaje del tiempo en el que un equipo está en condiciones de operar, es decir de las 24 horas del día cuanto tiempo esta disponible la maquinaria para producir.



Para nuestro interés, únicamente se tomara en cuenta la disponibilidad neta, ya que este cálculo excluye las causas externas por las que la maquinaria deja de operar.

Cuando se calcula la disponibilidad neta, el tiempo disponible deberá excluir los períodos en que el proceso no pudo funcionar debido a causas externas. Sin embargo, cualquier tiempo dentro de éstos períodos que hayan sido utilizados para mantenimiento no debe excluirse del tiempo disponible.

Se considera como causas externas:

- Falta de demanda
- Limitaciones de logística, por ejemplo silos llenos
- Falta de suministro de energía
- Fenómenos naturales: huracanes, tormentas, etc.
- Huelgas generales (la dirección de la plantas pueden influenciar las huelgas locales (como por ejemplo en situaciones salariales)

Disponibilidad neta (%)=  $\frac{\text{Tiempo real de marcha en horas}}{\text{T. disponible} - \text{T. de paro causa externa}} \times 100$

#### **2.1.5.1.7. Rendimiento (%)**

Es la relación entre la producción actual y la mejor practica demostrada (*Best Demonstrated Practice*), es decir la mejor producción alcanzada.

El propósito de este indicador es, maximizar el rendimiento de un proceso, identificando las pérdidas durante la operación. Con este indicador debemos saber que si una máquina posee un BDP de 2,850 sacos por hora, esta debe operar a esa misma capacidad o mas, ya que si la máquina es

operada a una capacidad menor disminuirá su rendimiento, ya que esta ha demostrado una mayor capacidad.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Toneladas producidas}}{\text{Mejor Práctica Demostrada}} \times 100$$

#### **2.1.5.1.8. Tasa de rendimiento total (TRT)**

La TRT son las siglas que identifican la tasa de rendimiento total de un equipo, considera y mide la disponibilidad, rendimiento y su calidad, es por eso la importancia de contar con una buena disponibilidad de los equipos, acompañado de una operación al máximo para obtener el rendimiento esperado, y así poder alcanzar la TRT deseada.

$$\text{TRT Neto} = \text{Disponibilidad neta} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad}$$

Para nuestro caso, consideramos la calidad igual a 1, ya que otra cantidad menor que 1, sería rechazo.

## **2.2. Equipo necesario para la implementación del monitoreo de condición**

### **2.2.1. Indicadores de temperatura**

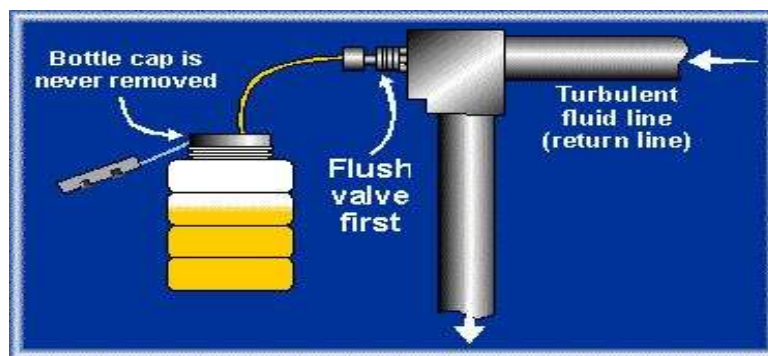
Este instrumento será de gran importancia, para poder darle un seguimiento adecuado del comportamiento a los equipos críticos clase "A" y poder notar en un tiempo relativamente corto, alguna variación que pudiera presentar un equipo determinado. Los motores eléctricos, son equipos que es

necesario monitorearles la temperatura, ya que una variación en la misma podría darnos una alarma de posible falla.

### 2.2.2. Muestreadores de aceite

Los muestreadores de aceite, ver figura 7, son una herramienta necesaria para poder llevar un análisis de aceite usado (monitoreo tribológico), como se menciona anteriormente, el monitoreo tribológico nos da una gran información desde el desgaste normal de una máquina, hasta la falla, es por eso la necesidad de contar con muestreadores, que no solo nos sirvan para tomar las muestras de aceite, sino también nos den la confianza de que ningún otro agente ha contaminado la muestra que se enviará al laboratorio para su respectivo análisis, y se puedan obtener datos erróneos.

**Figura 7. Equipo para el muestreo de aceites usados**



### 2.2.3. Multímetros

Los instrumentos para mediciones eléctricas son importantes en todos los aspectos de mantenimiento y control de la planta. Algunas tareas solo

necesitan una simple verificación de sí o no, por ejemplo, continuidad, presencia o ausencia de voltaje en la línea de energía y flujo de la corriente.

El multímetro es el instrumento de prueba más versátil, ya que combina la medición de voltaje de corriente alterna (ca) y corriente directa (cd), resistencia (*ohms*) y corriente (*amperes*) según sea necesario. Estos instrumentos son necesarios para el monitoreo respectivo de los equipos eléctricos y electrónicos, instalados en el área de despacho de cemento.

#### **2.2.4. Amperímetro de pinza**

Un amperímetro mide la corriente que pasa por determinado punto de un circuito; es posible que se necesite un amperímetro para medir desde microamperes ( $\infty A$ ) hasta mas de 1000 A en equipos de soldadura y manufactura. Estos amperímetros tienen mordazas que cierran sobre el conductor y toman la lectura sin interrumpir el circuito, y además tienen un rango de corriente mayor que los de conexión directa al alambre

Una aplicación de estos instrumentos de medición, en el monitoreo de condición será, el control de consumo de corriente de los motores instalados en los equipos críticos clase "A", y una variación del consumo nos alerta a una posible falla.

#### **2.2.5. Equipos de medición de vibraciones**

El dataPAC es un colector de datos portátil para mantenimiento preventivo y diagnósticos de vibración de una maquina. Este permite recopilar datos de magnitud, de espectro, de tiempo, y de fase, así como mediciones de proceso. Estas mediciones se pueden pasar a un programa de software para su

análisis. Se pueden recopilar datos por ubicaciones definidas en una lista, o mediciones no programadas no asociadas con una lista.

### 2.2.6. Equipos de medición de temperatura portátiles

La diferencia ente el calor y temperatura, es que el calor es una forma de energía y la temperatura es el nivel o valor de esa energía.

Los termómetros, son instrumentos que se utilizan para medir la temperatura de los cuerpos; Todos los instrumentos de medición de temperatura cualquiera que fuese su naturaleza dan la misma lectura en cero por ciento (0%) y 100%, si se calibra adecuadamente, el indicador de temperatura portátil, es una herramienta necesaria para poder monitorear cualquier variación en la temperatura de los equipos críticos.

Las unidades de temperatura son °C, °F, °K, °Rankine, °Reamur, la conversión más común es de °C a °F.

**Figura 8. Escalas de temperatura**

#### RELACIÓN ENTRE ESCALAS DE TEMPERATURA

Escala	Cero Absoluto	Fusión del Hielo	Evaporación
Kelvin	0°K	273.2°K	373.2°K
Rankine	0°R	491.7°R	671.7°R
Reamur	-218.5°Re	0°Re	80.0°Re
Centígrada	-273.2°C	0°C	100.0°C
Fahrenheit	-459.7°F	32°F	212

A continuación se mencionan algunos efectos producidos por la temperatura:

1. Aumento de las dimensiones (Dilatación).
2. Aumento de presión o volumen constante.
3. Cambio de fem. inducida.
4. Aumento de la resistencia.
5. Aumento en radiación superficial.
6. Cambio de temperatura.
7. Cambio de estado sólido a líquido.
8. Cambio de calor.

**Figura 9. Equipo de medición de temperatura digital portátil**



### **2.2.7. Medidor de ultrasonido (desgaste de piezas)**