

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA LA
REALIZACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE
MEDICIONES TIPO SEMÁFORO PARA LOS EQUIPOS
CRÍTICOS DE UNA PLANTA CEMENTERA

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por

Rosa Andrea Zamora De León

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Tecnología
Industrial

Guatemala

2019

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA LA
REALIZACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE
MEDICIONES TIPO SEMÁFORO PARA LOS EQUIPOS
CRÍTICOS DE UNA PLANTA CEMENTERA

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por

Rosa Andrea Zamora De León

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Tecnología
Industrial

Guatemala

2019

Vo. Bo. :

(f) Luis A. Largo Leal
Ing. Luis Abilio Largo Leal

Tribunal Examinador:

(f) Luis A. Largo Leal
Ing. Luis Abilio Largo Leal

(f) Héctor Alfonso Monzón Guevara
Ing. Héctor Alfonso Monzón Guevara

(f) Henry Olcott
Ing. Henry Olcott

Fecha de aprobación: Guatemala, Octubre 2019

PREFACIO

El mantenimiento, al igual que otras ciencias de la ingeniería, ha evolucionado a gran escala con el paso del tiempo, este cambio ha traído nuevas técnicas que se han adaptado al ritmo de vida de las empresas de clase mundial. Las tecnologías que integran el mantenimiento predictivo sirven para determinar el estado de los componentes de las máquinas y detectar de manera oportuna fallas que puedan afectar el proceso de producción previo a su ocurrencia.

Hace un tiempo dentro de la planta cementera que será objeto del presente proyecto, se produjo una falla en el acople del motor principal del molino, ¿qué es lo que sucedió en ese acople?, nadie tenía previsto que fallaría el rodamiento y menos que el proceso de producción pararía por una semana, este paro no programado implicó una gran pérdida de producción para la empresa, por lo que se decidió implementar un sistema de control de mediciones para los equipos críticos, dicho sistema de monitoreo se basa únicamente en los equipos de clase “A”, quiere decir que son las máquinas más importantes, las que no deben de fallar porque si en algún dado caso fallan, se detiene el proceso de producción por completo.

El sistema de mediciones tipo semáforo que se implementará se define como una serie de acciones orientadas a medir, evaluar, ajustar y controlar el comportamiento de las máquinas críticas de las diferentes áreas, es decir, el área de materias primas (Carga), el área de molienda, y el área de ensacado y paletizado de una planta cementera.

CONTENIDO

PREFACIO	vi
CONTENIDO.....	vii
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	4
A. SISTEMA DE CONTROL DE MEDICIONES TIPO SEMÁFORO PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE UNA PLANTA CEMENTERA	4
B. IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN UNA PLANTA CEMENTERA.....	6
1. Ventajas del mantenimiento predictivo	7
2. Desventajas del mantenimiento predictivo	7
C. ANÁLISIS EN LAS MEDICIONES MECÁNICAS DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES	7
D. DEMOSTRACIÓN DE GRÁFICOS Y ESPECTROS DE LAS MEDICIONES DE VIBRACIÓN.....	10
E. PARÁMETROS DE MEDICIONES MECÁNICAS.....	12
1. Parámetros en mediciones de vibración	12
2. Parámetros en mediciones de temperatura.....	13
3. Parámetros en mediciones de termografía	14
4. Parámetros en medición de ultrasonido acústico.....	15
F. IMPORTANCIA EN LOS RANGOS DE SEVERIDAD PARA CADA MEDICIÓN	16
G. EQUIPO ESPECIALIZADO PARA TOMA DE MEDICIONES	16
1. Medición de vibraciones.....	16
a. Equipo SKF Microlog Analyzer GX series (CMXA 75)	17

b.	Frecuencia y forma de calibración	17
2.	Medición de ultrasonido acústico	18
a.	Pistola Ultraprobe 15000.....	19
b.	Frecuencia y forma de calibración	21
3.	Medición de termografía	21
a.	Cámara termográfica Serie Flir E40.....	22
b.	Frecuencia y forma de calibración	22
4.	Medición eléctrica	23
a.	Megóhmetro MIT 525, 5 kV Insulation tester	23
b.	Frecuencia de medición.....	23
H.	PROCEDIMIENTO EN EL TRASLADO DE LOS DATOS.....	24
1.	Traslado de información al Sistema de Control de Mediciones	24
2.	Información con la rutina de lubricación.....	25
a.	Contenido de los códigos QR.....	25
V.	METODOLOGÍA.....	27
VI.	RESULTADOS.....	29
VII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	34
VIII.	CONCLUSIONES	36
IX.	RECOMENDACIONES	37
X.	BIBLIOGRAFÍA	38
XI.	ANEXOS	40
XII.	GLOSARIO	41

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Comportamiento de los equipos críticos de una planta cementera	5
Cuadro 2. Rangos de criticidad de vibraciones según Norma ISO 10816-3	9
Cuadro 3. Valores de cumplimiento mensual.....	11
Cuadro 4. Parámetros en mediciones de vibración.....	13
Cuadro 5. Parámetros en mediciones de temperatura.....	14
Cuadro 6. Parámetros en mediciones de termografía	14
Cuadro 7. Criterios de ultrasonido acústico.....	15
Cuadro 8. Parámetros de ultrasonido acústico.....	16
Cuadro 9. Inversión Inicial para los aparatos del mantenimiento predictivo.....	29
Cuadro 10. Reducción de costos con la técnica de ultrasonido acústico basado en la lubricación (Molub Alloy 777 – 2)	30
Cuadro 11. Equipos que se lubrican con grasa Molub Alloy	30
Cuadro 12. Reducción de costos con la técnica de ultrasonido acústico basado en la lubricación (aceite ISO 220).....	32
Cuadro 13. Equipos que se lubrican con aceite ISO 220.....	32
Cuadro 14. Análisis económico.....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva de mantenimiento con la confiabilidad.....	6
Figura 2. Cumplimiento y semáforo del mes	10
Figura 3. Gráfico de cumplimiento mensual	11
<i>Figura 4. Espectro de vibración de un rodamiento.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 5. Borne sobrecalentado en un panel de distribución</i>	<i>15</i>
<i>Figura 6. Capturas por termografía de la evolución térmica en un motor bajo carga.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 7. SKF Microlog Analyzer Serie GX</i>	<i>17</i>
Figura 8. Diagrama esquemático del equipo mostrando los puntos de medición.....	18
Figura 9. Pistola Ultraprobe 15000	20
Figura 10. Espectro de ultrasonido acústico	20
<i>Figura 11. Cámara Termográfica FLIR</i>	<i>22</i>
Figura 12. Megger MIT 525, 5kV Insulation tester.....	23
<i>Figura 13. Procedimiento de traslado de los datos</i>	<i>24</i>
Figura 14. Rótulos con códigos QR	25
Figura 15. Rótulos con códigos QR en los equipos.....	25
Figura 16. Información en los códigos QR.....	26

RESUMEN

Este trabajo de graduación consiste en desarrollar una propuesta de un sistema tipo semáforo para el análisis y control de las mediciones de magnitudes físicas, mecánicas y eléctricas, para lograr determinar el estado de los componentes de las máquinas y detectar fallas potenciales e incipientes que puedan afectar el funcionamiento de los equipos como motores de básculas, motores de bandas transportadoras, cajas reductoras, rotary, moto ventiladores, entre otros. Las mediciones se ejecutan en los equipos críticos de las diferentes áreas de la planta, los tipos de mediciones son: vibración, ultrasonido acústico, termografía, temperatura, lubricación, y pruebas eléctricas. La implementación de este proyecto logrará resolver el problema de paros no programados que se ha presentado con frecuencia en el proceso de producción, estos ocasionan pérdidas para la empresa, dejando de producir hasta 11,886 sacos de cemento en un turno de 8 horas. La causa que ha provocado estos paros no programados y las mermas de producción ha sido la falta de control de los parámetros medidos en los equipos críticos y el no llevar un correcto diagnóstico del comportamiento de las máquinas. Al elaborar este sistema tipo semáforo para analizar y controlar los datos medidos del mantenimiento predictivo se preverá los posibles daños en los equipos de clase “A”, que podría ser un eje desalineado en un acople o sobrecalentamiento en un rodamiento por falta de lubricación.

Dicho proyecto logrará llevar un estricto análisis y control de todas las mediciones que se realizan en el mantenimiento predictivo, logrando reducir los tiempos de paros no programados en la línea de producción y la cantidad de paradas forzosas.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las empresas manufactureras carecen del mantenimiento predictivo por la inversión económica que requiere y por ello, con frecuencia se presentan fallas o posibles daños en las piezas de las máquinas, en especial en la zona donde existe más fricción, es decir, en los rodamientos o acoples por lo que se debe de tomar medidas predictivas para que no haya problema de parte del área de mantenimiento, y por esta razón es que se ha decidido realizar la propuesta de la elaboración de un *Sistema de Control de Mediciones Tipo Semáforo para los Equipos Críticos*, dicho sistema consiste en dar la importancia necesaria a la variabilidad de los datos que se obtienen de las mediciones del mantenimiento predictivo, logrando un control inmediato y un análisis exacto en la maquinaria del proceso, obteniendo una reducción en las mermas de producción por haber detectado a tiempo las posibles causas de fallas en dichos equipos, así también la reducción del tiempo de paros no programados y la cantidad de paradas forzosas. El problema que se presenta en el área de mantenimiento es la falta de registro de las mediciones de vibración, ultrasonido acústico, temperatura, termografía y lubricación del mantenimiento durante la operación y no se procura investigar la razón por la cual los datos presentan variación, por consiguiente no se toma un plan de acciones para verificar si el equipo está sufriendo algún desgaste o pueda estar a punto de ruptura sino que solamente se confía en los datos extraídos de los equipos de medición (analizador de vibraciones, cámara termográfica, pistola ultrasónica, etc.). El monitoreo de los datos a través de diferentes técnicas de medición presenta un panorama del estado de la maquinaria, y es por ello que se ha realizado la propuesta de realizar un sistema de control de mediciones tipo semáforo para los equipos críticos de una Planta Cementera, disminuyendo la probabilidad que los equipos presenten fallas sin previo aviso.

El sistema de control de mediciones será aplicable para todos aquellos equipos críticos del proceso de producción del cemento, los cuales pueden provocar la detención del proceso productivo, generando paros no programados por un tiempo prolongado.

Para llevar a cabo dicha propuesta es importante conocer y familiarizarse con el proceso de producción del cemento, conociendo cuáles equipos son de mayor criticidad o puedan ser definidos como clase "A", para agregarlos en las rutinas o procedimientos del mantenimiento predictivo y definir qué tipo de mediciones se debe realizarse en cada uno de ellos, pues no necesariamente se debe de aplicar todas las técnicas de medición a cada uno de los equipos.

En la actualidad las industrias competitivas incluyen en sus organigramas el departamento de la confiabilidad operacional, que tiene como objetivo garantizar el proceso productivo sin desviaciones de índole operacional para mejorar la rentabilidad del negocio con la herramienta más efectiva y principal activo que es el mantenimiento predictivo. El Sistema de Control de Mediciones tipo Semáforo ayudará a los encargados que ejecutan la rutina del mantenimiento predictivo a observar detenidamente si existe variación drástica en las mediciones que se realizan, como puede darse el caso de que no se lubrique correctamente un reductor de velocidad, éste puede que haya tenido una medición de vibración normal de 1.2 mm/s y por no lubricar adecuadamente la vibración aumente y llegue a alarma de 4.4 mm/s, dicho sistema evitará este tipo de problemas y por ende se logrará tomar mediciones predictivas a tiempo.

II. OBJETIVOS

2.1. GENERALES

Realizar una propuesta para la elaboración de un sistema de control de mediciones tipo semáforo de los equipos críticos de una Planta Cementera, a través de la aplicación correcta del mantenimiento predictivo y extrayendo la información de las mediciones mecánicas y eléctricas realizadas por medio de las técnicas instrumentadas de medida y análisis de variables, para caracterizar en términos de fallos potenciales la condición operativa de los equipos productivos, por lo tanto, lograr reducir la cantidad de paros no programados en el proceso.

2.2. ESPECÍFICOS

- Realizar un inventario de los equipos que componen el proceso productivo a través de la recopilación de información de manuales técnicos, planos y entrevistas al personal para definir qué equipos serán tomados como críticos.
- Definir los parámetros de modo de falla y las variables de alerta previamente a la toma de mediciones en los equipos críticos, analizando las condiciones y especificaciones técnicas de los mismos para realizar un diagnóstico al momento de evaluar los resultados.
- Establecer la frecuencia de tiempo en la cual será monitoreado cada uno de los equipos en planta, mediante los criterios de severidad evaluados en los equipos de clase “A” de las diferentes áreas, para llevar a cabo la aplicación correcta de las rutinas del mantenimiento predictivo.
- Calibrar adecuadamente cada equipo que se utilizará para las mediciones de vibración, temperatura, termografía, y eléctricas, a través del cumplimiento de los requisitos establecidos en las normas de calidad, para garantizar la fiabilidad y trazabilidad de las medidas.
- Extraer la información contenida de los equipos de mediciones después de haber realizado la rutina de mantenimiento predictivo, exportándola al sistema de control de mediciones de manera electrónica, haciendo conexiones del equipo a la computadora o bien de manera escrita, para observar el desglose de los datos tomados y la tendencia de los mismo con los colores del semáforo.

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente la eficiencia del funcionamiento de las máquinas que componen el proceso productivo dentro de una Planta Cementera ha tenido una decadencia por causa de no aplicar correctamente el mantenimiento predictivo, así mismo porque no se ha podido llevar a cabo el análisis y control sobre las mediciones que se han hecho en un periodo muy corto, esto conlleva a decir que no se ha realizado un debido análisis sobre la maquinaria de mayor criticidad. Por lo que se ha tenido un aumento en la cantidad de paradas forzosas y mayor tiempo de horas de paros no programados por lo tanto se ha decidido hacer una propuesta para la realización de un sistema de control tipo semáforo para los equipos críticos del proceso productivo de cemento. Este sistema de control de mediciones logrará reducir los paros no programados y a través del diagnóstico de las mediciones que se realizarán, se podrá tener un plan de acciones para tener mayor disponibilidad de la maquinaria. El análisis y control de las mediciones lograrán detectar o predecir, averías o deterioros en los componentes de las máquinas antes que sucedan una ruptura, falla o pérdida de alguna pieza.

IV. MARCO TEÓRICO

A. SISTEMA DE CONTROL DE MEDICIONES TIPO SEMÁFORO PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE UNA PLANTA CEMENTERA

La propuesta para el mantenimiento predictivo dentro de una Planta Cementera, busca que todo equipo de clase “A” sea analizado de forma completa para lograr predecir todas aquellas fallas o anomalías que se puedan presentar en el trayecto de vida útil de la maquinaria. El sistema de control de mediciones tipo semáforo dará a conocer el comportamiento de cada equipo, dicho sistema de control tendrá un historial de las mediciones para que se realicen análisis más completos al tener una cantidad considerada de datos, y así de forma fácil analizar las variaciones. El propósito que se obtendrá a través de éste sistema de monitoreo de datos en cada una de las técnicas de medición, es disminuir el tiempo de parada, la cantidad de paradas forzosas y optimizar el ciclo de vida de los activos.

En el sistema de control de mediciones tipo semáforo enfatiza la confiabilidad, pues en grandes industrias se tiene como indicador clave de rendimiento, y no será una excepción en una Planta Cementera. En el caso del equipo industrial, la confiabilidad resulta esencial. Los tiempos de parada no programados no solo son un inconveniente, sino que puede resultar una carga pesada para los recursos de la organización. El ciclo de vida de los activos físicos es difícil de gestionar, especialmente cuando se trata de una flota entera de equipamiento.

El sistema cuenta con el listado de equipos críticos de cada una de las áreas, en el caso de una Planta Cementera se tiene el área de alimentación, que es donde se encuentra toda la materia prima para la elaboración del cemento. En esta primera parte se tienen bandas transportadoras para cada materia prima; clinker, yeso, caliza y puzolana, también corresponden motores y cajas reductoras de engranajes, en esta misma área se encuentran básculas dosificadoras para cada materia prima. El área de molienda es donde se encuentran más equipos críticos como lo es el motor, reductor y separador principal del molino; elevadores de cangilones, ventilador de tiro inducido y tornillo filtro principal. Por último, el área de ensacado y paletizado que se tiene el elevador de cangilones y las ensacadoras.

El análisis y control son dos de las principales características de este sistema de monitoreo de mediciones tipo semáforo, porque realizando un estricto análisis de la tendencia que tendrán los datos en el cuadro de mediciones se podrá concluir cuál es la causa raíz o el problema que presenta el equipo. En cuanto al control, se deben de tomar las mediciones correctamente considerando las mismas condiciones de la máquina, por ejemplo, la velocidad a la que la máquina está trabajando, la frecuencia, la presión, entre otras, porque si no se llegan a considerar éstas condiciones habrá una distorsión en los datos medidos, por eso es muy importante el control en las mediciones de cada una de las técnicas de mantenimiento predictivo.

Conforme se vayan ingresando los datos tomados de las diferentes técnicas se verá cómo es que realmente se está comportando los diferentes equipos, ya sea motores o cajas de engranajes.

Cuadro 1. Comportamiento de los equipos críticos de una planta cementera

MES		CLAVES DE CONDICIÓN		TABLA DE SEVERIDAD
10		NM	NO MEDIDO	0
		N	NORMAL	25
		P	PRECAUCIÓN	35
		A	ALERTA	40
		PT	PARO TÉCNICO / STAN BY	

PLANTA:	CEMENTO
FECHA:	31-dic-17

Nombre o Descripción del Equipo	Equipos	Frecuencia de Medición (Días)	Valor Medición Global Actual	Unidades de la Medición	ENE	FEB	MARZ	ABR	MAY	JUN
Banda A13	Motor Banda A13	7	NM	+C	NM	42.5	NM	NM	37.33	38.63
	Reductor Banda A13	7	NM	+C	NM	33.2	NM	NM	38.92	39.38
	Soporte 1 Banda A13	7	NM	+C	NM	29.1	NM	NM	37.71	36.55
	Soporte 2 Banda A13	7	NM	+C	NM	28.7	NM	NM	35.14	36.60
	Coinete Tensor 1	7	NM	+C	NM	28.6	NM	NM	35.29	31.36
Filtro Materia Prima	Coinete Tensor 2	7	NM	+C	NM	28.3	NM	NM	34.00	31.03
	Motor Turbina	7	NM	+C	NM	48.9	NM	NM	49.43	49.91
Banda A14	Turbina	7	NM	+C	NM	28.1	NM	NM	54.00	28.10
	Motor Esclusa	7	NM	+C	NM	34.1	NM	NM	37.00	45.36
	Motor Banda A14	7	NM	+C	NM	44.9	NM	NM	46.57	43.00
	Reductor Banda A14	7	NM	+C	NM	50.4	NM	NM	52.88	40.18
	Soporte 1 Banda A14	7	NM	+C	NM	34.1	NM	NM	38.71	35.31
	Soporte 2 Banda A14	7	NM	+C	NM	33.4	NM	NM	40.14	36.73
	Soporte Tensoras 1	7	NM	+C	NM	28.6	NM	NM	33.29	32.09
	Soporte Tensoras 2	7	NM	+C	NM	28.6	NM	NM	34.86	32.64
	Soporte Retorno 1	7	NM	+C	NM	32.5	NM	NM	37.00	31.82
	Soporte Retorno 2	7	NM	+C	NM	32.7	NM	NM	37.14	32.55
	Soporte Contrapeso 1	7	NM	+C	NM	29.3	NM	NM	34.57	29.64
	Soporte Contrapeso 2	7	NM	+C	NM	27.7	NM	NM	36.71	30.55
	Soporte Contrapeso 3	7	NM	+C	NM	28.4	NM	NM	33.86	32.00
	Soporte Contrapeso 4	7	NM	+C	NM	28.273	NM	NM	34.13	31.82
	Soporte Contrapeso 5	7	NM	+C	NM	30.636	NM	NM	33.29	36.00
Soporte Contrapeso 6	7	NM	+C	NM	27.8	NM	NM	32.29	36.64	
Banda A15	Motor Banda A15	7	NM	+C	NM	48.3	NM	NM	49.14	44.64
	Reductor Banda A15	7	NM	+C	NM	47.5	NM	NM	51.86	48.73
	Soporte 1 Banda A15	7	NM	+C	NM	36.6	NM	NM	40.57	38.73
	Soporte 2 Banda A15	7	NM	+C	NM	32	NM	NM	41.71	40.00
	Coinete Tensor 1	7	NM	+C	NM	31.8	NM	NM	38.86	36.27
Banda A16	Coinete Tensor 2	7	NM	+C	NM	32.6	NM	NM	36.86	37.27
	Motor Banda A16	7	NM	+C	NM	35.5	NM	NM	40.57	45.00
	Reductor Banda A16	7	NM	+C	NM	34.8	NM	NM	47.43	49.64
	Soporte 1 Banda A16	7	NM	+C	NM	31.9	NM	NM	37.43	40.64
	Soporte 2 Banda A16	7	NM	+C	NM	30.5	NM	NM	37.00	36.00
Banda A18	Coinete Tensor 1	7	NM	+C	NM	30.5	NM	NM	37.14	36.55
	Coinete Tensor 2	7	NM	+C	NM	30.8	NM	NM	34.57	36.55
	Motor Banda A18	7	NM	+C	NM	62.1	NM	NM	44.00	50.55
	Reductor Banda A18	7	NM	+C	NM	52	NM	NM	42.43	44.36
	Soporte 1 Banda A18	7	NM	+C	NM	35.8	NM	NM	37.14	39.00
	Soporte 2 Banda A18	7	NM	+C	NM	31.3	NM	NM	36.00	40.18
Filtro Reversible	Coinete Tensor 1	7	NM	+C	NM	31.3	NM	NM	36.43	37.00
	Coinete Tensor 2	7	NM	+C	NM	32	NM	NM	37.00	36.45
Banda A.3	Motor Turbina	7	NM	+C	NM	53.4	NM	NM	51.43	47.18
	Turbina	7	NM	+C	NM	28.1	NM	NM	50.00	28.10
	Motor Esclusa	7	NM	+C	NM	47.3	NM	NM	42.50	46.31
	Motor Banda A.3	7	NM	+C	NM	43.25	NM	NM	40.14	46.82
	Reductor Banda A.3	7	NM	+C	NM	46.44	NM	NM	43.43	49.31
Banda A.3	Soporte 1 Banda A.3	7	NM	+C	NM	35.89	NM	NM	39.00	43.27
	Soporte 2 Banda A.3	7	NM	+C	NM	31.3	NM	NM	36.57	43.82
	Coinete Tensor 1 A.3	7	NM	+C	NM	30.8	NM	NM	39.43	35.82
	Coinete Tenso 2 A.3	7	NM	+C	NM	29.9	NM	NM	35.71	35.64

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

El sistema controla los datos de enero a diciembre, pero en el Cuadro 1 se muestra una parte de los datos medidos de enero a junio con respecto a la técnica de temperatura y claramente se puede ver cómo es que varía el color conforme al dato medido, esto da a conocer el estado de los equipos, los datos que se encuentran en rojo es porque los equipos indican presencia de falla, por consiguiente cuando la medición excede el parámetro de la alarma pasa a color rojo, y es preciso que ese equipo deje de operar.

Cuando el dato de la medición se encuentra en color amarillo es porque el equipo indica precaución, esto significa que el equipo pueda estar presentando altas temperaturas, presiones, etc., o por lado contrario bajas temperaturas, presiones, etc. El comportamiento del equipo puede estar en precaución cuando las variables que maneje, no se encuentren en el rango establecido.

Cuando el equipo opera normalmente sin ninguna alteración en las variables que posea, el comportamiento de este será bueno, por lo que los datos medidos estarán de color verde.

Cada una de las mediciones realizadas en los diferentes equipos se ingresará de forma manual o automáticamente al Sistema de Análisis y Control de Mediciones Tipo Semáforo, dicho sistema posee un rango de severidad para cada una de las técnicas de medición.

B. IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN UNA PLANTA CEMENTERA

Hoy en día es importante considerar en toda industria, la implementación de una estrategia de mantenimiento predictivo para aumentar la vida de los componentes de las máquinas, o bien para incrementar la disponibilidad y productividad en la misma.

Es necesario tener como fundamento qué es el mantenimiento predictivo y cuáles son los beneficios que se obtendrán del mismo, ahora bien, el mantenimiento predictivo es el que analiza el deterioro de piezas a través de mediciones realizadas con diferentes tecnologías y análisis estadístico para lograr determinar el punto exacto de cambio o reparación, antes que se produzca la falla. El mantenimiento predictivo mejora la confiabilidad, minimizando costos de mantenimiento.

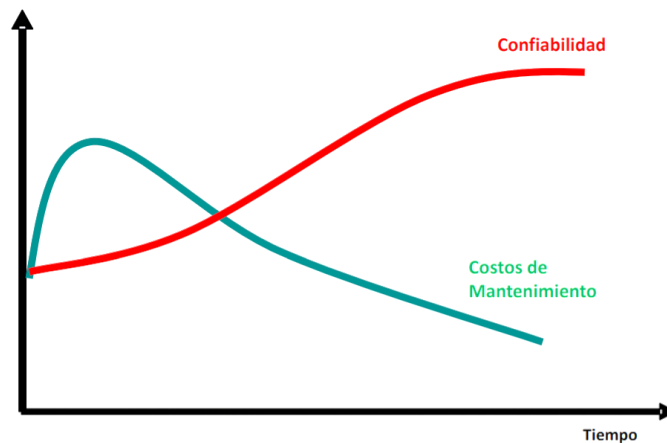


Figura 1. Curva de mantenimiento con la confiabilidad

Fuente: (Congreso de Mantenimiento y Confiabilidad de México, s.f.)

La Figura 1 muestra claramente que, mientras haya más confiabilidad en los equipos, los costos del mantenimiento disminuyen.

Por eso, en una Planta Cementera se realizan las diferentes técnicas del mantenimiento predictivo, porque una de las ventajas del mantenimiento predictivo es que se diagnostique y se tomen mediciones en los diferentes componentes de las máquinas aun estando en funcionamiento, no hay necesidad que el equipo deje de operar, por ejemplo el caso del análisis por medio de ultrasonido acústico o vibraciones, estos se realizan cuando un motor está en funcionamiento total.

En el área de molienda se toman las mediciones en los equipos aun estando en operación, se le hace toma de mediciones al motor principal del molino, a los soportes principales, al separador y reductor que son los componentes que hacen que el molino esté en funcionamiento. Y así sucesivamente como lo es en el área de ensacado y paletizado.

Para obtener el mejor beneficio en una Planta Cementera, en cuanto a patrones de rendimiento y operatividad, es necesario realizar y aplicar una planificación de mantenimiento adecuada, que incluya un estricto cumplimiento del mantenimiento predictivo, que controle y prevenga el daño de equipos esenciales en el proceso de producción de la empresa. Asimismo, es importante llevar un buen registro de sucesos y acciones incurridas sobre los bienes que se posee, medida que sirve para poder realizar eventualmente análisis de fallas y comportamiento de la maquinaria de trabajo. Todas estas maniobras contribuyen a la sustentabilidad de una empresa mediante una correcta organización de sus bienes y procedimientos.

1. Ventajas del mantenimiento predictivo

- Ejecución sin interrumpir ni alterar el normal funcionamiento de instalaciones y equipos.
- Mejora del conocimiento sobre el funcionamiento y estructura del sistema.
- Mejora de las condiciones de higiene y seguridad en la planta (control de ruido, vibraciones, emisiones toxicas etc.).
- Mejora del control de fiabilidad de los elementos y contribuye a la consecución de información suplementaria para los fabricantes.

2. Desventajas del mantenimiento predictivo

- Limitaciones a la hora de elegir las instrumentaciones de medida y diagnóstico, derivadas de la necesidad de no apartar a la máquina de su funcionamiento normal durante el proceso de análisis.
- Mayores inversiones iniciales ya que la amortización de un sistema de mantenimiento predictivo resulta inicialmente costosa debido a la incorporación de los equipos de medida y recolección de datos.
- Necesidad de un nivel de formación para los técnicos de mantenimiento, pues deben de estar familiarizados con el manejo de equipos de alto nivel tecnológico y conocer a profundidad tanto el funcionamiento de las máquinas como las disciplinas relacionadas con ella.

C. ANÁLISIS EN LAS MEDICIONES MECÁNICAS DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES

El programa proyecta una simulación de semáforo en cuanto a los rangos de severidad para cada medición, tomando en cuenta que el color verde indicará que el equipo se encuentra en condiciones normales y aceptables, por lo tanto, esta zona comprenderá valores de máquinas recién puestas en funcionamiento o reacondicionadas. El color amarillo indicará que en el equipo hay alguna falla detectada, por lo que deberá de estar en precaución, y el valor en esta zona probará que la máquina puede trabajar indefinidamente sin restricciones y el color rojo demostrará que la condición de la máquina no es adecuada para una operación continua, sino solamente para un período de tiempo limitado, cuando los valores están comprendidos en la zona roja, se debería de llevar a cabo medidas correctivas en la siguiente parada programada, porque dichos valores muestran una tendencia alta de alerta y puede ser peligroso para los equipos.

Los criterios de severidad de medición de vibración se han basado en cuanto a la norma ISO 10816-3, que establece las condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de la vibración, utilizando mediciones realizadas sobre partes no rotativas de las máquinas. El criterio general de evaluación se basa, tanto en la monitorización operacional como en pruebas de validación que han sido establecidas fundamentalmente con objeto de garantizar un funcionamiento fiable de la máquina a largo plazo. Esta norma reemplaza a las ISO 2372 e ISO 3945, que han sido objeto de revisión técnica. Este estándar consta de cinco partes:

- Parte 1: Indicaciones generales.
- Parte 2: Turbinas de vapor y generadores que superen los 50 MW con velocidades típicas de trabajo de 1500, 1800, 3000 y 3600 RPM.
- Parte 3: Maquinaria industrial con potencia nominal por encima de 15 kW y velocidades entre 120 y 15000 RPM.
- Parte 4: Conjuntos movidos por turbinas de gas excluyendo las empleadas en aeronáutica.
- Parte 5: Conjuntos de máquinas en plantas de hidrogenación y bombeo.

La norma evalúa la severidad de la vibración de maquinaria rotativa a través de mediciones efectuadas en planta, en partes no giratorias de las mismas. Engloba y amplía los estándares citados anteriormente. Los criterios de vibración de este estándar se aplican a un conjunto de máquinas con potencia superior a 15 kW y velocidad entre 120 RPM y 15,000 RPM. Los criterios son solo aplicables para vibraciones producidas por la propia máquina y no para vibraciones que son transmitidas a la máquina desde fuentes externas. (10816-3:1998)

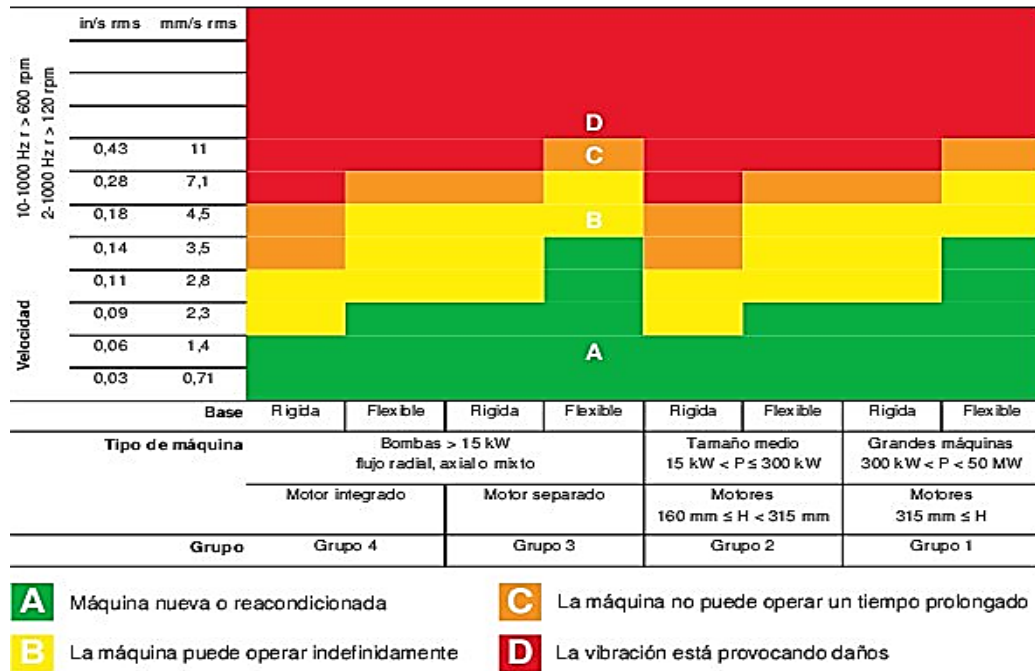
El valor eficaz (RMS) de la velocidad de la vibración se utiliza para determinar la condición de la máquina. Este valor se puede determinar con casi todos los instrumentos convencionales para la medición de vibración. Se debe prestar especial atención para asegurar que los sensores estén montados correctamente y que tales montajes no degraden la precisión de la medición. Los puntos de medida típicamente son tres, dos puntos ortogonales en la dirección radial en cada caja de descanso y un punto en la medición axial.

Las mediciones deben realizarse cuando el rotor y los paros principales han alcanzado sus temperaturas estacionarias de trabajo y con la máquina funcionando bajo condiciones nominales o específicas (por ejemplo de velocidad, voltaje, flujo, presión y carga). En máquinas con velocidad o carga variable, las velocidades deben realizarse bajo todas las condiciones a las que se espera que la máquina trabaje durante períodos prolongados de tiempo. Los valores máximos medidos, bajo estas condiciones, serán considerados representativos de la vibración. Si la vibración es superior a lo que el criterio permite y se sospecha de excesiva vibración de fondo, las mediciones se deben realizar con la máquina detenida para determinar el grado de influencia de la vibración externa. Si con la máquina detenida excede el 25% de la vibración medida con la máquina operando, son necesarias acciones correctivas para reducir el efecto de la vibración de fondo.

En algunos casos el efecto de la vibración de fondo se puede anular por análisis espectral o eliminando las fuentes externas que provocan las vibraciones de fondo. La severidad de la vibración se clasifica conforme a los siguientes parámetros:

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

Cuadro 2. Rangos de criticidad de vibraciones según Norma ISO 10816-3



Fuente: (10816-3, s.f.)

1. Resultados en mediciones

El problema que se ha presentado en algunas ocasiones en las diferentes áreas de producción de la industria cementera es que han habido muchos riesgos y fallas en varios equipos principales, y esto ha sido consecuencia de no llevar el control correcto del comportamiento en dichos equipos, pues, en el peor de los escenarios, ha sido una falla interna y ésta no puede ser visible al trabajador por lo que ese equipo esté probablemente trabajando forzosamente con un alto porcentaje a que llegue a arruinarse. Al momento de implementar el cuadro y llevar el control de las tendencias y comportamiento de los equipos críticos, se preverá pérdidas en cuanto a paros de producción no programados. El tener un sistema que monitoree el comportamiento de los equipos principales tomando en cuenta todas las mediciones del mantenimiento predictivo se logrará la máxima producción en la planta.

Al momento de llevar a cabo la toma de mediciones se deben de considerar algunas condiciones para no alterar los análisis de los datos medidos por la variación que se haya dado. Algunos de los parámetros operativos son: peso de materia prima, frecuencia, amplitud, desplazamiento, carga 4060 o 5800 PSI, voltaje de suministros, corriente de alimentación, velocidad, temperatura ambiente, factor de potencia, nivel de aceite, presión interna.

El sistema de control de mediciones tipo semáforo puede diagnosticar problemas como pérdida de alineación, desbalance, soldaduras mecánicas, rodamientos dañados, defectos en engranes, bandas defectuosas, fallas en baleros, resonancia, problemas eléctricos en motores, excentricidades, rozamientos, ejes pandeados o doblados en la maquinaria, para lograr tomar medidas predictivas antes de que la falla llegué a su punto final.

D. DEMOSTRACIÓN DE GRÁFICOS Y ESPECTROS DE LAS MEDICIONES DE VIBRACIÓN

El sistema de control de mediciones de los equipos críticos en una Planta Cementera incluye un gráfico que muestra el cumplimiento del mes en cuanto a las mediciones que se deben de realizar mensualmente.

El gráfico de la Figura 2 da a conocer el porcentaje de la cantidad de veces de que se tomaron las mediciones a los equipos críticos y dichos resultados se encontraron dentro del rango en que se evalúan las mediciones y aparecen en color verde, se identifican como las mediciones normales identificadas con la letra “N”, también la gráfica da a conocer las mediciones que se mantiene en precaución identificado con la letra “P”, de igual forma para las que salen en rojo como alerta identificada con la letra “A”, las que se encuentran en color azul que identifica a todos los paros técnicos y con las letras “PT”, y por último las que aparecen en color celeste que aparece con las letras “NM” que significa no medido.

Por lo tanto en el mes, independientemente el que sea se dará a conocer el porcentaje de cumplimiento de cada medición realizada en los equipos críticos de la Planta Cementera.

N	P	A	PT	NM
40.7%	28.8%	0.0%	0.0%	30.5%

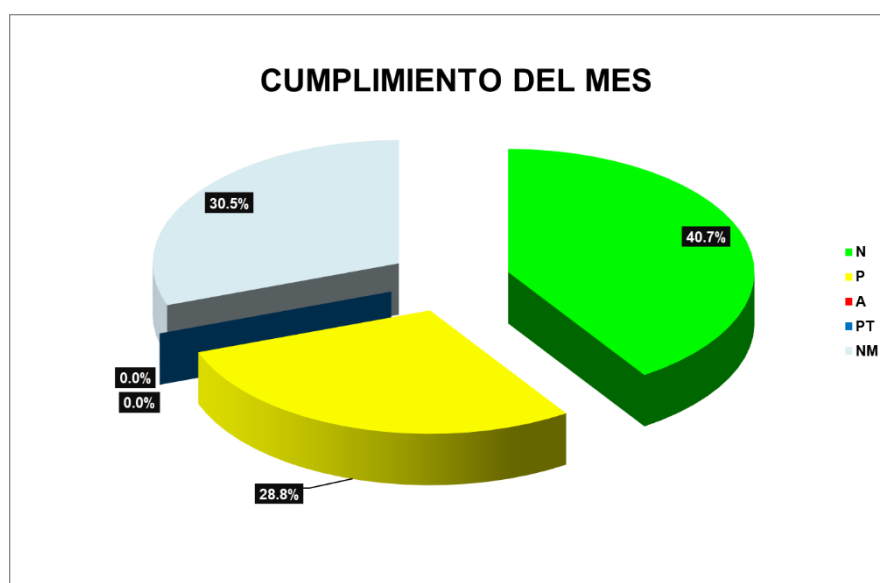


Figura 2. Cumplimiento y semáforo del mes

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

Parte del sistema de monitoreo incluye también la meta de mediciones realizadas por mes con el objetivo de que cumplan todas las rutinas del mantenimiento predictivo, se puede apreciar que la meta u objetivo es la media estándar del gráfico de barras, el gráfico es basado en la tabla de valores del cumplimiento mensual. Para una Planta Cementera es de suma importancia llevar el historial de todas las mediciones que se realizan, y sí realmente se llevan a cabo para que se pueda a proceder mantenimientos a máquinas y no a que lleguen a parar por falta de mantenimiento.

Cuadro 3. Valores de cumplimiento mensual

Cumplimiento	Cumplimiento del mes	Objetivo
Enero	69.5%	92%
Febrero	69.5%	92%
Marzo	69.5%	92%
Abril	69.5%	92%
Mayo	75.1%	92%
Junio	0.0%	92%
Julio	0.0%	92%
Agosto	15.8%	92%
Septiembre	42.4%	92%
Octubre	62.7%	92%
Noviembre	37.9%	92%
Diciembre	83.1%	92%
Media	49.6%	92%

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

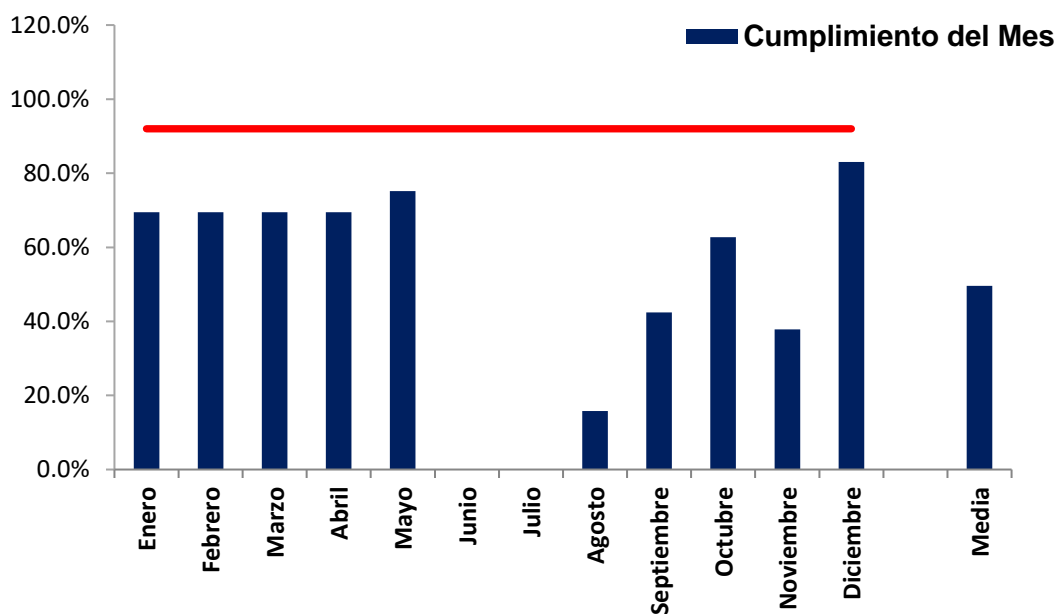


Figura 3. Gráfico de cumplimiento mensual

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

Para realizar un correcto diagnóstico de una falla en la máquina es necesario acudir al gráfico de la Figura 3, para poder saber si se le ha estado aplicando el mantenimiento predictivo basado en la vibración de las máquinas, en el gráfico anterior se puede observar que en los meses de junio y julio no se realizó la toma de datos con el equipo de medición (Microlog Analyzer SKF).

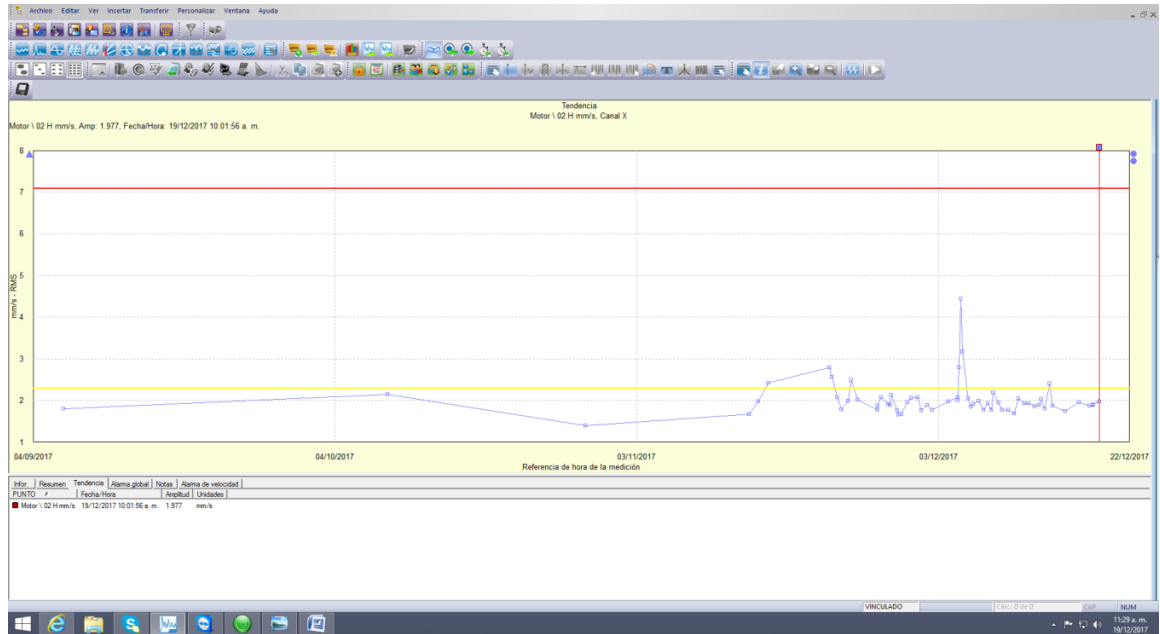


Figura 4. Espectro de vibración de un rodamiento

Fuente: (Espectro de Vibración de SKF Microlog Analyzer GX series CMXA 75)

La Figura 4, muestra un espectro de vibración que fue extraído del equipo Microlog Analyzer SKF y se evidencia la tendencia que tiene el rodamiento del motor principal del molino, éste gráfico se analiza a profundidad porque cada pico y descenso que tiene diagnostica pequeñas fallas en el desarrollo del funcionamiento de dicho rodamiento.

E. PARÁMETROS DE MEDICIONES MECÁNICAS

1. Parámetros en mediciones de vibración

Los parámetros de severidad para la técnica de medición de vibración constan en que la normalidad del componente estará de 0.2 milímetros sobre segundos al cuadrado (mm/s^2) a 2.99 milímetros sobre segundos al cuadrado (mm/s^2), la advertencia del componente estará de 3 milímetros sobre segundos al cuadrado (mm/s^2) a 6.99 milímetros sobre segundos al cuadrado (mm/s^2), la alerta del componente estará de 7 milímetros sobre segundos al cuadrado (mm/s^2) en adelante.

Un equipamiento que contiene partes móviles, vibra bajo una gran variedad de frecuencias. Dichas frecuencias son gobernadas por la naturaleza de las fuentes de vibración y pueden variar dentro de un rango o espectro muy amplio. Por ejemplo, las frecuencias de vibración asociadas a una caja reductora incluyen las frecuencias primarias (y sus armónicas) causadas por la rotación de los ejes, las frecuencias de la rodadura de las bolillas de los engranajes, etc. Si alguno de estos componentes comienza a fallar, cambia su vibración característica, por lo que un análisis de vibración consiste en detectar y analizar dichos cambios.

Esto se hace midiendo cuánto vibra el ítem como un todo, y luego usando técnicas de análisis de espectro para identificar la frecuencia de vibración de cada componente individual para poder distinguir cuando algo está cambiando.

Sin embargo, la situación es complicada por el hecho que es posible medir tres características diferentes de la vibración. Estas son: amplitud, velocidad y aceleración. Entonces el primer paso será decidir cuáles de estas características se medirá (y qué elemento de medición se utilizará) y luego como segundo paso decidir qué técnica se usará para analizar la señal generada por el elemento de medición (o sensor). En general, los sensores de amplitud (o desplazamiento) son más sensitivos a bajas frecuencias, los de velocidad a rangos medios y los acelerómetros a altas frecuencias. Para cualquier frecuencia la potencia de la señal también es influenciada por la proximidad entre la fuente de la señal, a esa frecuencia, y dónde están montados los sensores. (Moubray, 1991)

Los rangos que se tienen para las mediciones de vibración se han establecido con base a las variables que manejan la mayoría de las máquinas críticas. El Sistema de Control de Mediciones es tipo semáforo porque el programa da a conocer una serie de colores, y son los colores de un semáforo.

Cuadro 4. Parámetros en mediciones de vibración

CLAVES DE CONDICIÓN			TABLA DE SEVERIDAD
NM	NO MEDIDO	. =	0
N	NORMAL	<	0.25 mm/s ²
P	PRECAUCIÓN	>	3 mm/s ²
A	ALERTA	>	7 mm/s ²
PT	PARO TÉCNICO / STAN BY		

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

El color verde indica que la medición cumple con el parámetro establecido, el color amarillo indica que la medición se encuentra fuera de rango por lo que es de analizar qué es lo que provoca ese aumento o disminución en el dato medido, ahora bien, el color rojo indica que la medición sobrepasó el límite de alarma que se tenía de alerta y esto ocasiona a que el equipo salga de operación de inmediato.

2. Parámetros en mediciones de temperatura

La temperatura es una de las tecnologías que se considera importante en el plan del mantenimiento predictivo, pues esta técnica de monitoreo busca las fallas potenciales que provocan un aumento de la temperatura en un equipo en sí (en lugar de un aumento en la temperatura del material que se está procesando con el equipo), por consiguiente es importante establecer los rangos de temperaturas aceptables para la flota de equipamiento en una Planta Cementera por lo que consta en que la normalidad del componente estará de 25 grados Celsius (°C) a 35 grados Celsius (°C), la advertencia del componente estará de 35 grados Celsius (°C) a 39.99 grados Celsius (°C), la alerta del componente estará de 40 grados Celsius (°C) en adelante.

Cuadro 5. Parámetros en mediciones de temperatura

CLAVES DE CONDICIÓN			TABLA DE SEVERIDAD
NM	NO MEDIDO	. =	0
N	NORMAL	<	25 °C
P	PRECAUCIÓN	>	35 °C
A	ALERTA	>	40 °C
PT	PARO TÉCNICO / STAN BY		

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

3. Parámetros en mediciones de termografía

Los problemas en las instalaciones eléctricas y mecánicas suelen dar aviso prematuramente mediante anomalías térmicas. Las cámaras termográficas hacen visibles los cambios en el estado y los puntos débiles, todo ello sin necesidad de contacto y sin causar daños. Para cada equipo el valor de la termografía será diferente porque dependerá del voltaje y amperaje que posean. Hay una gran diferencia en tomar un valor de termografía en subestaciones de alta tensión como en líneas de baja tensión. Es por ello que es necesario establecer parámetros para que no se tenga una distorsión en los datos medidos.

Los parámetros de la técnica de termografía fueron definidos por los técnicos que operan la maquinaria del área de molienda en una Planta Cementera, pues estos equipos son los que requieren de constantes monitoreos para que no se detenga el proceso de producción por aumento de temperatura en un motor, caja reductora o bien, en un rodamiento. El proceso de producción en dicha Planta Cementera posee equipos similares en diferentes áreas, y estos equipos suelen trabajar con los mismos parámetros como la velocidad o la frecuencia. Los datos de medición se realizan en grados Celsius.

Cuadro 6. Parámetros en mediciones de termografía

CLAVES DE CONDICIÓN			TABLA DE SEVERIDAD
NM	NO MEDIDO	. =	0
N	NORMAL	<	40 °C
P	PRECAUCIÓN	>	80 °C
A	ALERTA	>	90 °C
PT	PARO TÉCNICO / STAN BY		

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

La cámara termográfica muestra imágenes como las figuras 3 y 4, donde se puede apreciar la gama de colores de recepción de temperatura en los bornes de un panel de distribución, como también los cambios térmicos que tiene un motor de baja carga.

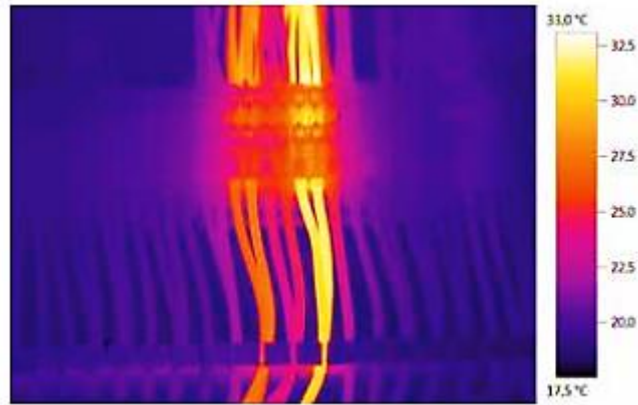


Figura 5. Borne sobrecalentado en un panel de distribución

Fuente: Cámara termográfica FLIR

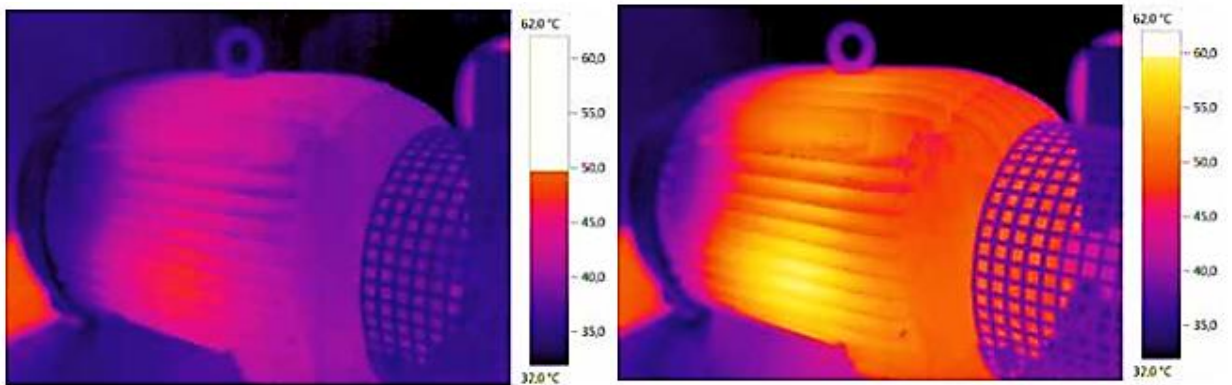


Figura 6. Capturas por termografía de la evolución térmica en un motor bajo carga

Fuente: Cámara termográfica FLIR

4. Parámetros en medición de ultrasonido acústico

Los criterios definidos para la técnica de ultrasonido acústico son los siguientes:

Cuadro 7. Criterios de ultrasonido acústico

Normal	Se obtiene mediante una línea base cuando el rodamiento es nuevo
Alerta Media	Incremento de 7 dB sobre su línea base, normalmente se lubrica para devolverlo a su estado normal (línea base)
Alarma Crítica	Se configura cuando se supera 15 dB sobre su línea base, es el momento de programar cambio del rodamiento

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

La técnica de ultrasonido acústico se lleva a cabo en los diferentes equipos como lo son los motores, ventiladores, en los acoples (rodamientos), cajas reductoras, paneles eléctricos, entre otros.

Cuadro 8. Parámetros de ultrasonido acústico

Equipos	Normal	Alerta	Alarma
Motores	30 dB	37 dB	45 dB
Ventiladores	35 dB	42 dB	50 dB
Reductores	20 dB	27 dB	35 dB

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

F. IMPORTANCIA EN LOS RANGOS DE SEVERIDAD PARA CADA MEDICIÓN

Las técnicas de medición que se aplican en una Planta Cementera son totalmente distintas una de la otra, a excepción de la termográfica con la de temperatura láser, que tienen en común la unidad de medida, pero su análisis es diferente.

Es muy importante tener conocimiento que la mayoría de los componentes de las máquinas reaccionan diferente por lo que es necesario establecer rangos de severidad para cada uno de ellos. En el caso del análisis de vibraciones no se puede comparar con el análisis de Ultrasonido acústico porque estas dos técnicas son totalmente diferentes, una su unidad de medida es en milímetros sobre segundos al cuadrado y la otra es en decibeles.

Al momento de realizar la rutinas del mantenimiento predictivo es necesario que los equipos de clase A, se encuentren en el rango de estado normal que se identifican en el Cuadro de Análisis y Control de Mediciones con el color verde, porque si estos equipos entran a la fase de precaución que es el color amarillo es donde se debe de empezar a actuar con acciones correctivas.

G. EQUIPO ESPECIALIZADO PARA TOMA DE MEDICIONES

1. Medición de vibraciones

El mantenimiento predictivo mediante análisis de vibraciones es, hoy en día, uno de los métodos concretos en los que más se ha avanzado dentro de las tecnologías de mantenimiento de tercera generación. Su fundamento es relativamente simple: por muy perfectas que sean las máquinas, tuberías, válvulas, intercambiadores de calor, entre otros, vibran en funcionamiento, y dentro de dicha vibración se almacena gran cantidad de información que puede ser útil para conocer el estado de la máquina. El estado de una máquina se puede conocer con una eficaz base de datos, un análisis de tendencias y comparaciones con espectros de vibración patrones, para así, programar la intervención de los equipos en el momento en que realmente es necesaria, es decir, cuando las condiciones de deterioro han pasado de un determinado punto y antes de que se llegue a producir la avería. (González, 2005)

Análisis de vibraciones: Esta técnica de mantenimiento predictivo se basa en el estudio del funcionamiento de las máquinas rotativas a través del comportamiento de sus vibraciones. Todas las máquinas presentan ciertos niveles de vibración aunque se encuentren operando correctamente, sin embargo cuando se presenta alguna anomalía, estos niveles normales de vibración se ven alterados indicando la necesidad de una revisión del equipo.

Para que este método tenga validez, es indispensable conocer ciertos datos de la máquina como lo son: su velocidad de giro, el tipo de cojinetes, de correas, el número de alabes, palas, etc. También es muy importante determinar los puntos de las máquinas en donde se tomaran las mediciones y el equipo analizador más adecuado para la realización del estudio. (RENOVETEC, 2009-2018)

a. Equipo SKF Microlog Analyzer GX series (CMXA 75)

El analizador de vibraciones como se puede observar en la Figura 7, es un equipo especializado que muestra en su pantalla el espectro de la vibración y la medida de algunos de sus parámetros.



Figura 7. SKF Microlog Analyzer Serie GX

Fuente: (Sede principal del Grupo SKF , s.f.)

Las vibraciones pueden analizarse midiendo su amplitud o descomponiéndolas según su frecuencia, así cuando la amplitud de la vibración sobrepasa los límites permisibles o cuando el espectro de vibración varía a través del tiempo, significa que algo malo está sucediendo y que el equipo debe ser revisado. Los problemas que se pueden detectar por medio de esta técnica, son: desalineamiento, desbalance, resonancia, soldaduras mecánicas, rodamientos dañados, problemas en bombas, anomalías en engranes, problemas eléctricos asociados con motores, problemas de bandas. (Trujillo, 2015)

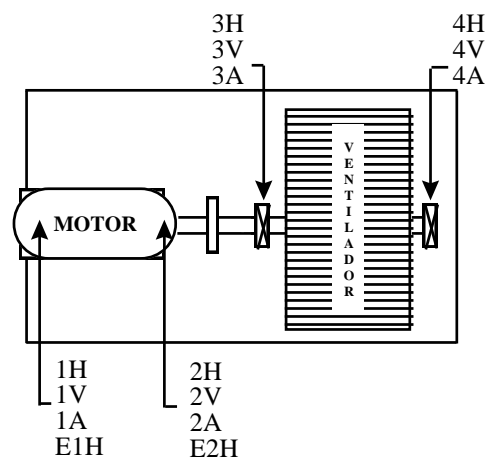
b. Frecuencia y forma de calibración

La frecuencia de la medición de vibración en los equipos críticos fue determinada por el personal técnico y profesional de operación de las máquinas. Dada la importancia del control de las mediciones de vibración en el equipo, se estableció que la frecuencia de medición sea mensualmente (30 días), pues la información de las vibraciones en los equipos ayudan a predecir desviaciones en el funcionamiento con respecto a sus parámetros de diseño, el mayor resultado se obtiene al estudiar las tendencias periódicas de registro más que los análisis puntuales.

La forma de calibración del equipo *SKF Microlog Analyzer Serie GX*, realizan los técnicos que comercializan los dispositivos para el mantenimiento, la manera en que se lleva a cabo es la siguiente:

- Selección del equipo crítico que será monitoreado de acuerdo a su prioridad en el proceso y costos del mantenimiento.
- Captura en formato de los datos técnicos del equipo necesario para el sistema de control.
- Definición de los puntos de medición y marcaje de los mismos en los equipos.
- Definición de los parámetros de análisis de banda espectral y niveles de alarma para los equipos críticos.
- Selección de los transductores apropiados para cada equipo y punto de medición en particular.
- Prueba para definir parámetros con un equipo nuevo y en funcionamiento (medición de vibración horizontal, vertical y axial).

Por ejemplo, en la Figura 8, se tiene un motor y un ventilador, éstos equipos se unen a través de los acoples, el eje y el rodamiento generan vibración por la fuerza y fricción, entonces los puntos principales de medición se realizan en el lado de carga y en lado libre. La calibración se inicia con un equipo nuevo, midiendo su vibración horizontal, vertical y axialmente, luego conforme a los datos técnicos del equipo, se establecen los parámetros y se guardan en el *Microlog Analyzer Serie GX*.



E1H y E2H se utilizarán para detectar frecuencias eléctricas.

Figura 8. Diagrama esquemático del equipo mostrando los puntos de medición

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

2. Medición de ultrasonido acústico

El análisis por ultrasonido acústico se basa en el estudio de las ondas de sonido de alta frecuencia producidas por las máquinas cuando presentan algún tipo de problema. El oído humano puede percibir el sonido cuando su frecuencia se encuentra entre 20 Hz y 20 kHz, por tal razón el sonido que se produce cuando alguno de los componentes de una máquina se encuentra afectado, no puede ser captado por el hombre porque su frecuencia es superior a los 20 kHz.

Las ondas de ultrasonido acústico tienen la capacidad de atenuarse muy rápido debido a su corta longitud, esto facilita la detección de la fuente que las produce a pesar de que el ambiente sea muy ruidoso. Los instrumentos encargados de convertir las ondas de Ultrasonido acústico en ondas audibles se llaman medidores de Ultrasonido acústico o detectores ultrasónicos.

El análisis de ultrasonido acústico permite:

- Detectar fricción en máquinas rotativas
- Detectar fallas y/o fugas en válvulas
- Detectar fugas en fluidos
- Detectar pérdidas de vacío
- Detectar arco eléctrico
- Verificar la integridad de juntas de recintos estancos (Olarte C., Botero A., & Cañon A., 2010)

En el análisis del ultrasonido acústico las condiciones observadas se encuentran los cambios en los patrones de sonido (sintonía acústica) causados por fugas, desgastes, fatiga o deterioro.

El ultrasonido acústico puede aplicarse en las fugas de los sistemas de presión o vacío (por ej.: calderas, intercambiadores de calor, condensadores, sistemas de enfriamiento, columnas de destilación, recipientes de vacío, sistemas de gas especializados): Desgaste o fatiga de cojinetes, trampas de vapor, desgaste de válvulas y de asientos de válvulas, cavitación de bombas, corona de engranajes en cajas reductoras, descargas estáticas, la integridad de sellos y empaquetaduras de tanques, sistemas de tuberías y grandes cajas de entrada, fugas en tuberías y tanques bajo tierra.

El funcionamiento de la tecnología ultrasónica se ocupa de las ondas de sonido que están más allá de la percepción humana en el rango entre 20 kHz a 100 kHz. Las ondas de sonido de alta frecuencia son extremadamente cortas y tienden a ser bastante direccionales, con lo cual es fácil aislar estas señales de los ruidos del ambiente y detectar su localización exacta. Todo equipo en funcionamiento y la mayoría de los problemas de fugas producen un amplio rango de sonidos. Como con el deterioro comienzan a ocurrir cambios sutiles, la naturaleza del sonido ultrasónico transmitido por el aire, permite que esas señales de alarma sean detectadas en etapas tempranas. El ultrasonido acústico detectado por los instrumentos es convertido al rango audible en el traductor ultrasónico donde los usuarios usando auriculares pueden escucharlos y reconocerlos. (Moubray, 1991)

a. Pistola Ultraprobe 15000

La pistola UE system INC, trae la tecnología de inspección de ultrasonido acústico a un nivel completamente nuevo. Con este sistema, se pueden realizar análisis de condición, grabar sonidos, almacenar y administrar los datos.



Figura 9. Pistola Ultraprobe 15000

Fuente: (UE Systems INC, 2018)

Una de las principales funciones que tiene este equipo es que puede detectar el efecto corona en subestaciones eléctricas o paneles eléctricos. Detecta descargas parciales y arcos voltaicos. El ultrasonido acústico depende de la tensión, no de la carga. Otros de los beneficios que ofrece esta técnica es que se puede realizar la inspección a cualquier hora y en cualquier tipo de ambiente, la humedad es una de las ventajas.

En la Figura 10, se muestra el espectro de sonido que ofrece este equipo, donde se puede apreciar el comportamiento que tiene la máquina que se está analizando mostrando en el eje horizontal la frecuencia de las ondas y en el eje vertical los decibeles que tiene.

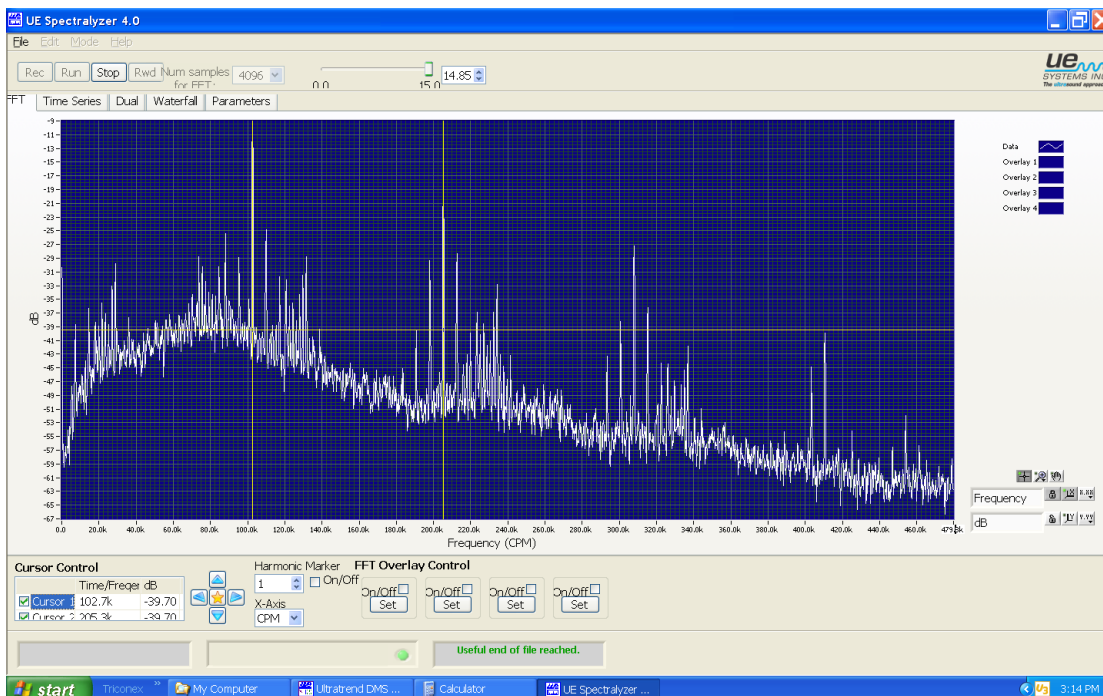


Figura 10. Espectro de ultrasonido acústico

Fuente: UE Systems INC

b. Frecuencia y forma de calibración

La frecuencia de medición de ultrasonido es quincenalmente, es decir cada quince días, esto es debido a la importancia que se tiene en el diagnóstico de los equipos, así mismo del tiempo en que se realiza la medición (se requiere más tiempo en llevar a cabo esta rutina). La forma de calibración de la *Pistola Ultraprobe 15000*, es la siguiente:

- Seleccionar 40 kHz como frecuencia de prueba y anotar "40" en la columna de frecuencia para el módulo.
- Seleccionar del kit de extensión del estetoscopio la varilla que prefiera, pero asegurarse de usar siempre la misma.
- Escribir la varilla que ha seleccionado.
- Colocar el generador de ultrasonidos del lado largo con el frente hacia uno, en una superficie plana.
- Colocar la varilla sobre la superficie, haciendo contacto en el centro formando un ángulo de 90°.
- Seleccionar un nivel de volumen para el generador de ultrasonidos (bajo o alto).
- Anotar el nivel (L o H) en la tabla de validación.
- Colocar el Ultraprobe 15000 de lado para que éste descansa sobre la superficie de prueba con el mango de frente hacia uno y el Módulo de Escaneo encarando al generador de ultrasonidos.
- Deslizar el Ultraprobe suavemente de modo que la placa frontal toque la varilla y que dicha varilla siga en contacto. Alinear el módulo de escaneo de manera que el centro del módulo este de frente al transductor.
- Apretar suavemente el gatillo. Luego ajustar la sensibilidad hasta que el gráfico de barras de intensidad se encuentre en la línea media y se muestre el nivel de decibeles en pantalla.
- Observar y registrar la lectura de decibeles para la validación de sensibilidad.

3. Medición de termografía

Una termografía es la medición en tiempo real de la radiación emitida por la superficie de un objeto, produciendo una imagen visible de la radiación infrarroja que es invisible. Se basa en el principio de que todo objeto que está a una temperatura superior al cero absoluto (-273 °C) emite radiación infrarroja. Los sistemas de imágenes térmicas son cámaras electrónicas que hacen que la radiación sea ópticamente visible en una imagen en colores (o en blanco y negro). Estas imágenes pueden ser grabadas en una cinta de vídeo convencional o en soporte electrónico.

La termografía es una técnica que estudia el comportamiento de la temperatura de las máquinas con el fin de determinar si se encuentran funcionando de manera correcta.

La energía que las máquinas emiten desde su superficie viaja en forma de ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz; esta energía es directamente proporcional a su temperatura, lo cual implica que a mayor calor, mayor cantidad de energía emitida. Debido a que estas ondas poseen una longitud superior a la que puede captar el ojo humano, es necesario utilizar un instrumento que transforme esta energía en un espectro visible, para poder observar y analizar la distribución de esta energía. (RENOVETEC, 2009-2018)

a. Cámara termográfica Serie Flir E40



Figura 11. Cámara termográfica FLIR

Fuente: (NASDAQ FLIR, 2013)

En la Figura 11, se muestra el instrumento utilizado para generar una imagen de radiación infrarroja a partir de la temperatura superficial de las máquinas, el cual se llama Cámara termográfica.

Gracias a las imágenes térmicas que proporcionan las cámaras termográficas, se pueden analizar los cambios de temperatura. Un incremento de esta variable, por lo general representa un problema de tipo electromecánico en algún componente de la máquina. Las áreas en que se utilizan las Cámaras termográficas son las siguientes:

- Instalaciones eléctricas
- Equipamientos mecánicos
- Estructuras refractarias

b. Frecuencia y forma de calibración

La frecuencia de las mediciones termográficas es semanalmente, es decir cada siete días, fue establecida por el personal técnico y jefe del área de mantenimiento. La forma de calibración de la Cámara Termográfica es la siguiente:

- Definir los equipos críticos de radiación térmica en indicaciones directas de temperatura.
- Realizar parámetros operativos (amperaje por fase, voltaje de fase, factor de potencia, temperatura ambiente, temperatura en devanados, entre otros) conforme a la ficha técnica de cada equipo crítico.
- Determinar las condiciones operativas de los equipos eléctricos.

- Marcaje de puntos de medición en los equipos eléctricos (subestaciones, transformadores, motores, aisladores, tableros, entre otros.)
- Cámara termográfica reseteada y equipo nuevo en funcionamiento, se definen los parámetros, alertas y alarmas a través del software de fábrica del equipo.

4. Medición eléctrica

La técnica de monitoreo eléctrico busca todos aquellos cambios que se presenten en las conexiones eléctricas como la resistencia, conductividad, tensión y resistencia dieléctrica.

Los Megóhmetros (medidores de resistencia de aislación) y otros generadores de voltajes: El funcionamiento de ésta técnica consiste en que al equipo se le aplica un ensayo del voltaje determinado de corriente alterna (250 volts a 10 Kv) resultando un flujo pequeño. Si no hay corriente de retorno al equipamiento de testeo desde el equipo ensayado, este flujo de corriente debe estar descargándose a tierra. La corriente que se descarga a tierra se llama “corriente de fuga”. La resistencia de la aislación puede entonces ser calculada usando la ley de ohm.

En el proceso de producción de cemento se tienen una gran cantidad de motores a los cuales se les aplica esta técnica de meggeo, para lograr el tiempo de vida útil correcto y la confiabilidad de estos.

a. Megóhmetro MIT 525, 5 kV Insulation tester



Figura 12. Megger MIT 525, 5kV Insulation tester

Fuente: (Corporation, 2018)

El Megóhmetro es el instrumento que sirve para medir la resistencia de aislamiento, puede ser en los cables y bobinados; o bien puede ser respecto a tierra o entre fases, con el Megóhmetro también se puede hallar el índice de polarización. La unidad de medida de esta técnica es en mega óhmetros ($M\Omega$).

b. Frecuencia de medición

La frecuencia de medición eléctrica en los equipos críticos es quincenalmente, es decir cada quince días se lleva a cabo la toma de mediciones eléctricas en los equipos de clase A, esto es por el tiempo en que se demora en tomar la medición y así mismo por la cantidad de equipos que se les debe realizar las mediciones.

H. PROCEDIMIENTO EN EL TRASLADO DE LOS DATOS

1. Traslado de información al Sistema de Control de Mediciones

Se realiza la toma de mediciones en las diferentes tecnologías del mantenimiento predictivo y luego se trasladan al Sistema de Control de Mediciones. En la Figura 13, claramente se puede ver que se tiene la señal física, por ejemplo un analizador de vibraciones nos brinda esa señal física, pasa por el transductor o bien por el acelerómetro, quien es el que recibe esa señal y luego se traslada para un acondicionamiento de señal que es donde se estabiliza la señal para que el receptor pueda leer correctamente el resultado obtenido por el aparato de vibración.

Es muy importante que se lleve a cabo este procedimiento para que al final, en la computadora se aprecie como es que con el tiempo el comportamiento de la maquinaria varía y así cuando se detecte una falla se empiecen a realizar acciones correctivas para que la falla no aumente.

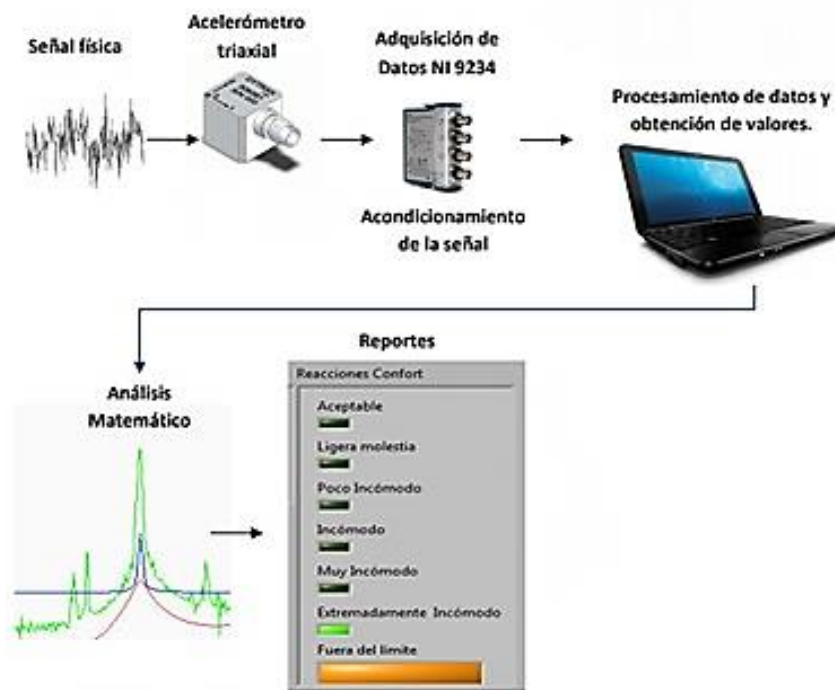


Figura 13. Procedimiento de traslado de los datos

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

Así mismo se extrae información de la técnica de lubricación que se lleva a cabo en el mantenimiento de los equipos, dicha técnica se tiene nombrada como sistema de control de mediciones para la rutina de lubricación.

2. Información con la rutina de lubricación

En la rutina de lubricación se implementó un sistema de códigos QR para cada uno de los equipos, estos consisten en un rótulo con código de barras para que el encargado de ejecutar el mantenimiento escanee el código con su dispositivo y realice correctamente su labor. En la Figura 14 y Figura 15, se puede observar el código de barras y el nombre del equipo a lubricar.

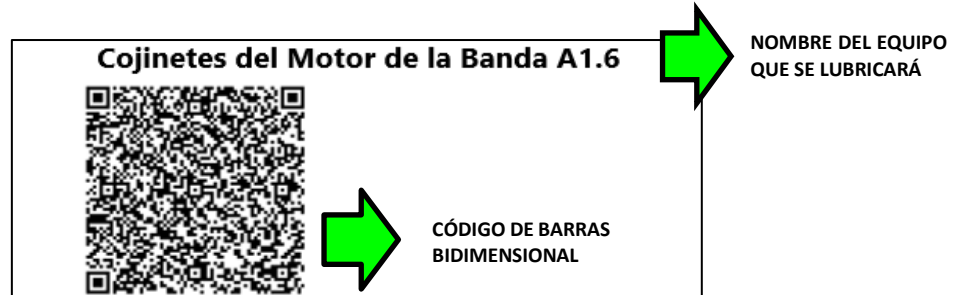


Figura 14. Rótulos con códigos QR

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019



Figura 15. Rótulos con Códigos QR en los equipos

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

a. Contenido de los códigos QR

Cada código QR fue diseñado para el equipo correspondiente y proveen información detallada como; lubricante recomendado, cantidad por aplicar de lubricante, puntos a lubricar, equipo con el que aplicará el lubricante y la relubricación. La Figura 16, muestra el contenido después de haber escaneado el código de barras.

TEXT	TEXT	
<p>LUBRICACION DE EQUIPOS CEMEX GUATEMALA - PLANTA ARIZONA</p> <p>#Banda A1.4</p> <ul style="list-style-type: none"> - Equipo a lubricar: Cojinete Tensor - Lubricante recomendado: Grasa Molub 777-2 - Cantidad a aplicar: 10 Bombazos - Equipo con el que se le aplica: Engrasadora o graseras manual o eléctrica (etiqueta roja) - Relubricar: Dentro de 10 días - Puntos a lubricar: En 2 puntos 	<p>INSTRUCCIONES GENERALES ***** *****</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Informar al operador del área. 2.- Llene la engrasadora con grasa limpia según requiera el equipo que se lubricará. (Por favor, revisar la Carta de Lubricación de Planta Arizona, ubicada en el taller de mantenimiento mecánico). 3.- Limpie la graseras donde se conectará la engrasadora. 4.- Aplique el tipo y la cantidad indicada de grasa o aceite para cada equipo, según la Carta de Lubricación de Planta Arizona. 5.- Limpie el exceso de grasa de la graseras. <p>***** *****</p>	
Copy content	Share	Send email
Send message		Close

Figura 16. Información en los Códigos QR

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

V. METODOLOGÍA

La elaboración del Sistema de Control de Mediciones Tipo Semáforo para los Equipos Críticos de una Planta Cementera, busca hacer realidad la ejecución programada y planeada del mantenimiento predictivo para que de esta forma se eviten las paradas de emergencia que afectan el plan de producción disminuyendo la calidad del producto final, busca también mantener la mayor disponibilidad y en condiciones operacionales adecuadas los equipos que hacen parte de estos procesos.

El sistema de monitoreo llevará controladamente todos los datos medidos para que también garantice una adecuada gestión del mantenimiento, estableciendo planes y rutinas que desarrollan las acciones más pertinentes y adecuadas aportando beneficios en la disponibilidad de los equipos y reflejándose en un excelente estado de la planta, aumentando su producción y protegiendo la inversión de nueva maquinaria.

Para probar la importancia y urgencia de la elaboración del sistema de control de mediciones en una planta cementera, se realizó inicialmente un diagnóstico del sistema actual del mantenimiento empleado en la empresa, tomando como primera medida, índices que califican la necesidad del mantenimiento predictivo y realizando a detalle un estudio de diferentes aspectos que evidenciaban las muchas debilidades y pocas fortalezas del mantenimiento.

Como primera etapa para la implementación del sistema de medición se reunió la información técnica proveniente de catálogos, manuales, planos y las conversaciones realizadas con los operarios y mecánicos acerca de las experiencias con los equipos, se dio a la implementación de un Sistema de Control de Mediciones Tipo Semáforo para los Equipos Críticos en una Planta Cementera, éste sistema de información manual con formatos pertinentes busca la facilidad y agilidad en su diligenciamiento, por ende se realizó un historial de las mediciones obtenidas años anteriores y dicha información fue extraída de los resultados de las rutinas del mantenimiento predictivo realizado en cada área.

Es imprescindible la recopilación de la información de las tecnologías del mantenimiento predictivo y de la maquinaria de una Planta Cementera, porque dicha información orienta acerca de las condiciones o parámetros a considerar cuando se realicen las mediciones mecánicas para que la variación que haya no altere los resultados, los datos de los equipos, las técnicas de medición, los aparatos que se utilizan para realizar la medición en los equipos. Al realizar la recopilación de datos en base a los formatos que ya han sido llenados, se busca entre otras cosas medir la efectividad de las actividades y del programa desarrollado a través de índices de gestión de mantenimiento.

Luego de estructurar el Sistema de Control de Mediciones Tipo Semáforo para los Equipos Críticos en una Planta Cementera, se debe de adquirir conocimientos a través de las rutas de las diferentes tecnologías y se lleva la práctica de la buena toma de datos con los equipos especializados de vibraciones, temperatura, termografía, lubricación, eléctricas (meggeo) y de ultrasonido acústico.

En el siguiente punto se debe de analizar el proceso de producción para poder identificar los equipos de clase “A”, o bien analizar la criticidad de estos. Se realiza un inventario de la maquinaria que será la más importante de las diferentes áreas como de alimentación (Materias Primas), molienda, ensacado y paletizado. Luego se realiza la clasificación respectiva de los equipos críticos para cada una de las técnicas de medición, será por medio de pestañas en el programa, cada pestaña contendrá los equipos que se le realizan la medición, por ejemplo, la pestaña de vibraciones contendrá los equipos críticos que se le realizan análisis de vibraciones.

Es importante que con base a lo anteriormente mencionado se establezcan los rangos de severidad para cada una de las técnicas de medición, porque en cada una es totalmente diferentes las variables a considerar y por supuesto que la unidad de medida en cada técnica es diferente, para vibraciones la medición es en milímetros por segundo, para la de temperatura y termografía es en grados Celsius, para la eléctrica es en mega ohmios ($M\Omega$) y para ultrasonido acústico son decibeles (dB).

Otro fundamento del sistema de monitoreo de datos es que analiza los resultados de las mediciones a través de los gráficos de tendencia, espectros y sobre los gráficos de promedios mensuales de las condiciones normales, de precaución, de alerta, de no medidos y de paros técnicos programados. Esta última gráfica será una proyección del comportamiento de la máquina y de la realización del mantenimiento predictivo. El sistema logrará mostrar la simulación de un semáforo, donde se apreciará el comportamiento de cada equipo mensualmente.

VI. RESULTADOS

El resultado que se obtiene a través de la elaboración de un sistema de monitoreo de los datos medidos (Cuadro de Análisis y Control de Mediciones Tipo Semáforo para una Planta Cementa) de cada una de las técnicas del mantenimiento es disminuir el tiempo de parada, eliminar los paros no programados y optimizar el ciclo de vida de los activos más críticos.

En el proceso de producción del cemento hay más de veinte equipos críticos por gestionar, a estos se les debe de monitorear con mayor frecuencia porque son indispensables en el proceso, y por dicha razón se le da importancia al mantenimiento predictivo para que el ciclo de vida de esta flota de equipamiento permanezca en funcionamiento el tiempo establecido de fábrica.

La inversión inicial en aparatos para el mantenimiento predictivo en una Planta Cementera ha sido aproximadamente de medio millón de quetzales (Q503,632.07), pero a pesar de que se ha hecho la compra de todos los equipos y se han ejecutado las rutinas del mantenimiento han resultado fallas en las máquinas, ¿a qué se debe esto?, esto ha sucedido porque no se le da la importancia a esos datos medidos y no se analizan a profundidad los espectros de vibración, los audios del ultrasonido, las imágenes termográficas, entre otros., por lo que el sistema de monitoreo al momento de ingresar los datos medidos, mostrará cómo es realmente el comportamiento de un equipo en específico.

Cuadro 9. Inversión Inicial para los Aparatos del Mantenimiento Predictivo

EQUIPO	PRECIO
Pistola de ultrasonido acústico ULTRAPROBE 15000	\$17,500.00
Cámara termográfica Serie Flir E40	\$4,996.20
SKF Microlog Analyzer GX series (CMXA 75)	\$40,715.17
Megger MIT 525, 5 kV Insulation tester	\$4,700.00
Tacómetro infrarrojo Multifuncion Chauvin Arnoux C. A. 25.	\$530
Total	\$68,521.37

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

La propuesta de la elaboración de un sistema de monitoreo de análisis y control de mediciones en los equipos críticos ha logrado la disminución de paros no programados en el proceso de producción del cemento. Antes de la elaboración del sistema de monitoreo se tenía mensualmente un aproximado de 15 paros no deseados en el proceso, y ahora se ha reducido a 2 paros mensualmente.

Realizando un análisis sobre la técnica de ultrasonido acústico basado en la lubricación se ha obtenido una reducción de costos con respecto al desperdicio que se tenía en los lubricantes como grasas o aceites. La aplicación del ultrasonido acústico relacionado con la rutina de lubricación puede llegar a indicar qué es lo que necesita el rodamiento y cuánto de lubricante necesita, en el caso de la grasa Molub Alloy 777 – 2, se tuvo un ahorro de:

Cuadro 10. Reducción de Costos con la Técnica de Ultrasonido acústico Basado en la Lubricación (Molub Alloy 777 – 2)

ANTES	
Lubricante	Grasa Mineral, Molub - Alloy 777-2 Castrol
Total de dosis	328 dosis = 328g
Total de equipos	47
Total invertido por rutina	Q265.56
Total invertido mensual	Q1062.24

DESPUÉS	
Lubricante	Grasa Mineral, Molub - Alloy 777-2 Castrol
Total de dosis	289 dosis = 289g
Total de equipos	47
Total invertido por rutina	Q233.98
Total invertido mensual	Q935.92

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

1 Cubeta = 16,782.9 g

Precio de Cubeta = Q13,587.93

AHORRO ANUAL = Q12,746.88 – Q11,231.04 = Q1,515.84

Los equipos que se lubrican con mayor frecuencia son los que aparecen en la Tabla 11, es un listado de máquinas que se encuentran en toda la línea de producción de cemento, desde el área de materias primas hasta el área de ensacado y paletizado.

Cuadro 11. Equipos que se lubrican con grasa Molub Alloy

Equipo para lubricar	Cantidad de lubricante aplicado (anterior)	Cantidad de lubricante aplicado (nuevo)
Rodamientos tensor banda transportadora A1.3	10 dosis	10 dosis
Rodamientos motriz banda transportadora A1.3	10 dosis	10 dosis
Rodamientos retorno banda transportadora A1.3	10 dosis	10 dosis
Rodamientos tensor banda transportadora A1.4	8 dosis	8 dosis
Rodamientos motriz banda transportadora A1.4	20 dosis	10 dosis
Rodamientos retorno banda transportadora A1.4	10 dosis	10 dosis
Rodamientos tensor banda transportadora A1.5	10 dosis	10 dosis
Rodamientos motriz banda transportadora A1.5	10 dosis	10 dosis
Rodamientos tensor banda transportadora A1.6	10 dosis	10 dosis
Rodamientos motriz banda transportadora A1.6	10 dosis	10 dosis
Rodamientos tensor banda transportadora A1.8	10 dosis	10 dosis
Rodamientos motriz banda transportadora A1.8	10 dosis	10 dosis

Equipo para lubricar	Cantidad de lubricante aplicado (anterior)	Cantidad de lubricante aplicado (nuevo)
Rodamientos tensor banda magnética	5 dosis	5 dosis
Rodamientos motriz banda magnética	5 dosis	5 dosis
Filtro reversible	8 dosis	8 dosis
Rodamientos tensor banda báscula clinker	3 dosis	3 dosis
Rodamientos motriz banda báscula clinker	3 dosis	3 dosis
Rodamientos tensor banda báscula yeso	3 dosis	3 dosis
Rodamientos motriz banda báscula yeso	3 dosis	3 dosis
Rodamientos tensor banda báscula caliza	3 dosis	3 dosis
Rodamientos motriz banda báscula caliza	3 dosis	3 dosis
Rodamientos tensor banda báscula puzolana	3 dosis	3 dosis
Rodamientos motriz banda báscula puzolana	3 dosis	3 dosis
Rodamientos tensor banda A3	12 dosis	10 dosis
Rodamientos motriz banda A3	12 dosis	10 dosis
Rodamiento cuello 1 del molino	5 dosis	5 dosis
Rodamiento cuello 2 del molino	5 dosis	5 dosis
Rodamientos tensor eje del piñón	5 dosis	5 dosis
Rodamientos motriz eje del piñón	5 dosis	5 dosis
Rodamiento rodo tensor elevador cangilones A6	3 dosis	3 dosis
Rodamiento rodo motriz elevador cangilones A6	10 dosis	10 dosis
Rodamientos cabeza elevador cangilones A6	20 dosis	10 dosis
Rodamiento eje canasta separador A.8 SD90	3 dosis	3 dosis
Rodamientos ejes de compuerta aire frío A9	3 dosis	3 dosis
Rodamientos ejes de compuerta aire caliente A15	3 dosis	3 dosis
Rodamientos tornillo filtro principal A11	20 dosis	10 dosis
Rodamiento rodo tensor elevador cangilones B1	3 dosis	3 dosis
Rodamiento rodo motriz elevador cangilones B1	3 dosis	3 dosis
Rodamientos cabeza elevador cangilones B1	10 dosis	10 dosis
Rodamiento rodo tensor elevador cangilones D4	3 dosis	3 dosis
Rodamiento rodo motriz elevador cangilones D4	3 dosis	3 dosis
Rodamientos cabeza elevador cangilones D4	10 dosis	10 dosis
Rodamientos tensor criba vibratoria	5 dosis	5 dosis
Rodamientos motriz criba vibratoria	5 dosis	5 dosis
Rodamientos filtro ensacado	5 dosis	5 dosis
Rodamientos rotary filtro principal	5 dosis	5 dosis

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

El ahorro anual que se tuvo fue porque al momento de aplicar la técnica de ultrasonido acústico resultó que se aplicaba más lubricante del que debía de ser a los siguientes equipos:

En cuanto a las cajas reductoras de engranajes que se lubrican con aceite ISO 220 y la capacidad a aplicar se obtuvo un ahorro de:

Cuadro 12. Reducción de costos con la técnica de ultrasonido acústico basado en la lubricación (Aceite ISO 220)

ANTES	
Lubricante	Aceite ISO 220
Total de lubricante al mes	549.1 galones
Total de equipos	16 cajas de engranajes
Total invertido por rutina al mensual	Q205,022.96

DESPUÉS	
Lubricante	Aceite ISO 220
Total de lubricante al mes	234.1 galones
Total de equipos	16 cajas de engranajes
Total invertido por rutina al mensual	Q87,408.26

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

Galón = 3.7843 litros

Precio de Galón = Q373.38

AHORRO ANUAL = Q1,411,376.4

Este tipo de lubricante es aplicado únicamente a las cajas de engranajes que se encuentran en el proceso de producción de cemento, y son las siguientes:

Cuadro 13. Equipos que se lubrican con aceite ISO 220

Equipos para lubricar	Cantidad de lubricante aplicado (nuevo)
Caja de engrane banda A1.3	5 galones
Caja de engrane banda A1.4	5 galones
Caja de engrane banda A1.5	5 galones
Caja de engrane banda A1.6	5 galones
Caja de engrane banda aA.8	5 galones
Sistema central lubricación alimentación molino	55 galones
Sistema central lubricación salida molino	55 galones
Caja de engrane principal elevador cangilones A6	10 galones
Caja de engrane secundaria elevador cangilones A6	5 galones
Caja de engrane compuerta aire frío	0.1 galones
Caja de engrane tornillo filtro principal A11	2 galones
Caja de engrane de rotary filtro principal	2 galones
Caja de engrane principal elevador cangilones B1	10 galones
Caja de engrane secundaria elevador cangilones B1	5 galones
Caja de engrane elevador cangilones D4	5 galones
Caja de engrane exclusiva	5 galones

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

Solamente en la reducción de dos de los lubricantes que se utilizan en una planta Cementera se tiene un ahorro anual de Q1,422,607.44, por lo que con la aplicación de una tecnología del mantenimiento predictivo se logra grandes resultados y beneficios para la empresa.

VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La propuesta del Sistema de Control de Mediciones Tipo Semáforo para los Equipos Críticos en una Planta Cementera ha logrado solucionar muchos de los problemas que había en el área de mantenimiento de la industria porque no solamente ha permitido que la ejecución de la toma de mediciones con las diferentes tecnologías sea correctamente, a través de las capacitaciones al personal del mantenimiento predictivo, sino que se ha logrado concientizar la importancia del traslado de la información de los aparatos al Sistema de Control, de igual forma el análisis crítico con respecto a la tendencia del comportamiento de la maquinaria que se tiene mensualmente.

Al ser evaluados los datos medidos en las diferentes tecnologías, se tienen resultados muy explicativos y beneficios económicamente para la industria. En la técnica del ultrasonido acústico basado en la lubricación, se obtuvieron resultados buenos porque en algunas ocasiones cuando se lubricaba los rodamientos se le aplicaba gran cantidad o se le aplicaba muy poco lubricante, y esto realmente alteraba el tiempo de vida útil del rodamiento, caja reductora, motor, entre otros. Por lo que con el ultrasonido acústico se le aplica la cantidad que debe de ser de lubricante, logrando así un ahorro notorio al año.

El resultado ha sido positivo al momento que fueron evaluados los lubricantes que más se consumen, que son; grasa mineral Molub Alloy 777 - 2 y aceite ISO 220, estos son los más frecuentes en utilizar en la maquinaria de todo el proceso productivo, y se logró tener un ahorro significativo de Q1,422,607.44 en el año. Se evidencia que si se realiza una correcta aplicación de las técnicas del mantenimiento predictivo, se puede mejorar muchas cosas, como fue la frecuencia en cuanto a la lubricación y la cantidad a aplicar, para la técnica de ultrasonido basado en la lubricación.

En el caso de la eliminación de los paros no programados, se espera que con el control de las mediciones de las diferentes técnicas, se tenga un panorama del comportamiento de la maquinaria para preparar todas las acciones correctivas a tiempo y se logre reducir la cantidad de horas del evento que permite que el proceso productivo esté en pausa. La Tabla 1 muestra la producción diaria en una planta cementera, teniendo en cuenta el total de sacos que se pierden en un día que la producción de cemento esté parada, se realiza el análisis económico de la pérdida por cuestiones de no realizar una correcta evaluación de los datos medidos del mantenimiento predictivo.

Precio de un saco de cemento = Q66.00

Cuadro 14. Análisis económico

PÉRDIDA ECONÓMICA POR PARO DE PRODUCCIÓN		
TURNO	SACOS	QUETZALES
1	11,886	Q784,476.00
2	13,377	Q882,882.00
3	8,559	Q564,894.00
TOTAL	33,822	Q2,232,252.00

Fuente: Rosa A. Zamora, Tesis UVG 2019

En una Planta Cementera se acaba de presentar el inconveniente de que el acople del motor principal del molino tuvo un sobrecalentamiento lo cual hizo que el rodamiento se dañara, lo que implicó fue parar el molino y por consiguiente se detuvo todo el proceso. Para el cambio del rodamiento se demoraron más de un día porque no se tenía previsto y en el almacén no contaban con otro rodamiento por lo que la producción pasó en *stop* más de tres días y eso dio un resultado catastrófico para la empresa. Si en tan solo un día por haber estado detenido el proceso de producción se tuvo una merma estimada de Q2,232,252.00. El sistema de monitoreo busca eliminar estos paros no programados porque si bien perjudican en gran manera a la empresa y mejorar las rutinas del mantenimiento.

VIII. CONCLUSIONES

- La propuesta que se realizó para la Planta Cementera resultó siendo un proyecto importante, dio inicio con la implementación de monitorear los equipos de clase “A”, se evaluó la condición operativa de la maquinaria y se logró prevenir a tiempo fallas o daños en los equipos críticos por la ejecución del mantenimiento predictivo, también se contó con un plan de acciones correctivas que manejó el personal del área de mantenimiento, y por consiguiente se logró reducir el tiempo de paradas forzosas y la cantidad de paros que no habían sido programados.
- Se llevó a cabo el recorrido por toda la planta para realizar el inventario de los equipos que son clasificados por su criticidad y las condiciones a las que trabajan en las diferentes áreas. La información que se necesitó se obtuvo a través de los manuales digitales y físicos, planos y también de las placas de especificaciones técnicas que trae cada equipo.
- Dentro del sistema de control de mediciones se logró definir los parámetros de modo de falla y las alarmas para las vibraciones, temperaturas, ultrasonido, etc., con base a la información evaluada de cada equipo de clase “A” y por medio de entrevistas con técnicos especializados en el mantenimiento predictivo.
- Según la criticidad de la maquinaria del proceso de producción, se determinó la frecuencia en tiempo en la que se realiza las mediciones para que periódicamente se diagnostique la información de las diferentes técnicas.
- Se logró calibrar los instrumentos utilizados en el mantenimiento predictivo, porque mensualmente venían los técnicos profesionales a capacitar al personal de mantenimiento para verificar que se estuviera ejecutando correctamente la toma de mediciones, y que los parámetros no se hayan modificado.
- Se realizó la extracción de la información obtenida de la cámara termográfica, la pistola de ultrasonido acústico, la cámara de temperatura láser, el analizador de vibraciones, entre otros aparatos., por medio de la transcripción o exportación hacia el sistema de medición, luego se realizó una evaluación de la tendencia de los datos con respecto a los colores del semáforo.

IX. RECOMENDACIONES

- Para la implementación de la propuesta de un sistema de control tipo semáforo se debe de tomar en cuenta la calibración de cada equipo con que se medirá de acuerdo a los parámetros definidos por las máquinas, dicha calibración se debe de realizar para la técnica de vibraciones, temperatura, ultrasonido acústico, termografía y eléctricas, puesto que las magnitudes a medir son diferentes.
- Se recomienda que antes de realizar las mediciones de vibración en cada una de las máquinas del proceso productivo, se establezcan e identifiquen los puntos donde serán tomadas las mediciones, es decir, las vibraciones se miden en tres puntos diferentes; punto vertical, horizontal y axial. Estos serán identificados como 1V, 1H y 1A.
- Para poder realizar la rutina del mantenimiento predictivo es importante que el personal operativo esté capacitado para que al momento de realizar su recorrido utilice de manera adecuada cada uno de los equipos de medición, ya que la mayoría de estos equipos son de altos precios y si no se utilizan bien pueda que se dañen.
- Se recomienda que previamente a realizar la rutina del mantenimiento del predictivo se realice un chequeo de los equipos para verificar que estén en buen estado de funcionamiento, es decir, que estén calibrados correctamente, que estén con todos los elementos a utilizar, y que estén cargados.
- Optar por mantenimiento basado en la confiabilidad.

X. BIBLIOGRAFÍA

10816-3:1998, N. I. (s.f.). *Rodesprex Export - Import S.L.* Obtenido de Vibración mecánica - Evaluación de vibración de la máquina por mediciones en partes no giratorias. Parte 3: Máquinas industriales con potencia nominal superior 15 kW y velocidades nominales entre 120 RPM y 15000 RPM cuando se mide in situ: <http://www.rodamientos.com/assets/img/services/servbenf04.pdf>

Congreso de Mantenimiento y Confiabilidad de México. (s.f.). Obtenido de <https://cmc-latam.com/>
Corporation, F. (2018). *Test Equipment Depot.* Obtenido de
<http://www.testequipmentdepot.com/megger/megohmmeters-and-insulation-testers/5kv-diagnostic-dc-insulation-resistance-tester-mit525.htm>

González, F. (2005). *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial avanzado.* España: Editorial FC, Segunda Edición.

Moubray, J. M. (1991). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance).* 6 Deerfield Rd, Ashville, North Carolina, USA: Edición en español en 2004.

NASDAQ *FLIR.* (2013). Obtenido de http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/IND_002/IND_002_ES.pdf

OLARTE C., W., BOTERO A., M., & CAÑÓN A., B. (Agosto de 2010). *Scientia Et Technica.* Obtenido de Scientia et Technica Año XVI, No 45, Agosto de 2010. Universidad Tecnológica de Pereira. Pág. 225: <http://www.redalyc.org/pdf/849/84917249041.pdf>

RENOVETEC, ©. R.-2. (2009-2018). *Técnicas de Mantenimiento Condicional basadas en la medición de variables físicas.* Mantenimiento Predictivo.

Sede principal del Grupo SKF . (s.f.). Obtenido de <http://www.skf.com/uy/products/condition-monitoring/portables-data-collectors-and-analyzers/vibration-analyzers/skf-microlog-analyzer-gx-series/index.html>

Sistema de Control de Mediciones Tipo Semáforo para los Equipos Críticos en una Planta Cementera. (2018).

Trujillo, G. (2015). *Integrando el Análisis de Aceite con el Análisis de Vibración.* México, Distrito Federal de México.

UE Systems INC. (2018). Obtenido de <http://www.uesystems.eu/es/productos/ultraprobe-15000/>

Drew D. Troyer - Noria Corporation - "Effective Integration of vibration analysis and Oil Analysis"
– Maintenance Technology Magazine November 2009.

González, Francisco. 2005. *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial avanzado*, Segunda Edición, España: Editorial FC, 148 págs.

John Mitchell Moubray IV, 1991. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance)*, Segunda edición en 1997, Edición en español en 2004, North Carolina, USA, 433 págs.

Norma ISO 10816 – 3:1998 (E), *Vibración mecánica - Evaluación de vibración de la máquina por mediciones en partes no giratorias. Parte 3: Máquinas industriales con potencia nominal superior 15 kW y velocidades nominales entre 120 RPM y 15000 RPM cuando se mide in situ*, Rodesprex, export – import S.L., 20 págs. (10816-3:1998)

Ramón Gabriel González Carvajal. Barcelona, Noviembre de 2009. *Implementación del mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibración en los compresores de tornillo de una empresa procesadora y enlatadora de productos del mar*. 148 págs.

RENOVETEC. *Mantenimiento Predictivo. Técnicas de Mantenimiento Condicional basadas en la medición de variables físicas. Volumen 3*, 150 págs.

Scientia et Technica Año XVI, No 45, Agosto de 2010. Universidad Tecnológica de Pereira. Pág. 225

Trujillo, G. (2015). *Integrando el Análisis de Aceite con el Análisis de Vibración*. México, Distrito Federal de México.

XI. ANEXOS

Se ha llevado a cabo la propuesta de la implementación de este sistema de control y análisis de los datos medidos del mantenimiento predictivo en una planta cementera.



Carretera Puerto Quetzal, Escuintla, 01 de noviembre de 2018

A quien interese:

Por este medio hago constar que la señorita **Rosa Andrea Zamora de León**, quien se identifica con el número de DPI 3443 56698 0501, extendido en el municipio de Escuintla, departamento de Escuintla; realizó su trabajo de graduación en la empresa Cementos Mexicanos S.A., de la carrera de Ingeniería Industrial UVG.

Tiempo en el cual desarrolló el trabajo de investigación (Elaboración de una Propuesta para la Realización de un Sistema de Control de Mediciones Tipo Semáforo para los Equipos Críticos de una Planta Cementera).

Sin otro particular, atentamente,


Ing. Luis Abilio Largo Leal

Jefe de Mantenimiento Mecánico

CEMEX S.A.

XII. GLOSARIO

Arco eléctrico: Es una descarga que se produce entre dos puntos cuando están sometidos a una diferencia de potencial.

Área/Sección: Se refiere al área donde el equipo está instalado en planta y en el sistema de mantenimiento

Basicidad: Es el conjunto de propiedades que caracterizan las bases químicas.

Confiabilidad: Condición satisfactoria del recurso físico para proporcionar un estándar de desempeño deseado.

Constante dieléctrica: Es una cantidad física que representa la interacción entre el campo eléctrico y un material no conductor.

Control: Es la vigilancia estrecha de los parámetros definidos para una operación haciendo los ajustes necesarios cuando exista una desviación.

Desgaste: Es el daño sobre una superficie que se produce cuando existe pérdida de material en una o ambas superficies sólidas que se encuentran en movimiento.

Espectro: Es una gráfica que muestra el comportamiento de una vibración en función de la frecuencia.

Equipo clase A: En este grupo deberán ser incluidos todos aquellos equipos que deben estar en operación para una producción continua. Es decir, la pérdida o falla de cualquiera de ellos resultará en un paro total de la planta o línea de producción, causando pérdida total de producción durante un lapso mayor de 12 horas.

Frecuencia de medición (días): Es la frecuencia de monitoreo del equipo

Frecuencia: Es el número de vibraciones que un cuerpo hace por segundo se denomina frecuencia y es comúnmente medida en Hertz.

Nota: este valor se llenará en automático al llenar los valores en la columna de cada mes y cambiará conforme cambiemos el número del mes que estemos evaluando.

Recinto estanco: Es un depósito destinado a contener líquidos.

Técnica de medición: Esta puede ser la técnica de vibraciones, temperatura, termografía, eléctricas (megger), lubricación.

Ultrasonido acústico: Son ondas de sonido con frecuencias por encima del límite audible humano, o en exceso de 20000 Hertz.

Unidades de la medición (vibración): Unidades en las que se estableció la alarma del equipo (in/seg o mm/seg)

Unidades de temperatura y termografía: Unidades en las que se estableció la alarma del equipo (grados Celsius, C).

Unidades de ultrasonido acústico: Unidades en las que se estableció la alarma del equipo (decibeles, dB).

Valor medición global actual: Es el valor de vibración del equipo, obtenido durante la colección de datos de la ruta.

Vibración: Es la oscilación de un objeto con respecto a su posición de reposo.

Viscosidad: Es la resistencia del fluido al flujo con respecto a la temperatura.