

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL PROGRAMA CBM PARA LA EMPRESA
CEMENTOS SAN MARCOS S.A**

ANDRES ELIAS MENDOZA ZULUAGA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION DE GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2017**

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL PROGRAMA CBM PARA LA EMPRESA
CEMENTOS SAN MARCOS S.A**

ANDRES ELIAS MENDOZA ZULUAGA

**Monografía presentada como requisito
Para optar por el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

Daniel Ortiz Plata, Especialista en Gerencia de Mantenimiento



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION DE GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

A Dios por permitirme lograr
Alcanzar mis objetivos

A mis padres por su apoyo y
Amor incondicional

A mi novia Laura Cristina que siempre ha sabido
Esperarme y acompañarme con paciencia y amor.

A mi familia por su acompañamiento
En este proceso.

A mi jefe Andrés Bedoya y el ingeniero
Daniel Ortiz por su guía y apoyo en este proceso

CONTENIDO

INTRODUCCION.....	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1. DESCRIPCION DE LA OPORTUNIDAD DE MEJORA.....	17
1.2. DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACION DEL CEMENTO.....	18
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	20
1.4. OJETIVOS ESPECIFICOS.....	20
2. MARCO TEORICO.....	21
2.1. TEORIA DEL MANTENIMIENTO BASADO EN CONIDCION.....	21
2.2. DESCRIPCION DEL PROCESO MOLIENDA DE CEMENTO.....	34
3. DISEÑO DE LA APLICACIÓN CBM A LA MOLIENDA DE CEMENTO.....	36
3.1. IDENTIFICACION DE LOS EQUIPOS Y DEFINICION DE FUNCIONES.....	36
3.2. ANALISIS DE CRITICIDAD.....	45
3.3. IDENTIFICACION DE LOS MODOS DE FALLO PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE MANTENIMIENTO.....	48
3.4. IDENTIFICACION DE LOS PARAMETROS A MEDIR Y CRITERIOS DE ALARMA.....	55
3.4.1. IDENTIFICACION DE PARAMETROS A MEDIR.....	55
3.4.2. CRITERIOS DE ALARMA.....	64
3.5. SELECCIÓN DE PUNTOS A MEDIR Y FRECUENCIAS DE MEDIDA.....	70
3.5.1. SELECCIÓN DE PUNTOS A MEDIR.....	70
3.5.2. FRECUENCIA DE MEDIDA.....	89
3.6. ESTANDARIZACION FORMATO DE INFORMES DE LAS TECNICAS CBM USADAS.....	92
3.7. DEFINICION DE LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO REQUERIDAS Y GENERACION DE LAS BASES HISTORICAS DE MEDIDA.....	108
3.7.1. DEFINICION DE LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO.....	108
3.7.2. GENERACION DE BASES HISTORICAS DE MEDIDA.....	110
4. POLITICAS DE MEJORA PROGRAMA CBM.....	111
5. CONCLUSIONES.....	112

BIBIOGRAFIA.....114

FIGURAS

1. Diagrama de flujo MBC.....	23
2. Tabla parámetros de medida en equipos.....	32
3. Diagrama de flujo molienda de cemento Loesche.....	34
4. Elevador CTEC01.....	36
5. Ventilador CTVT01.....	36
6. Banda CTBG01.....	37
7. Válvula CTVQ01.....	37
8. Molino CTMV01.....	38
9. Separador CTSD01.....	38
10. Bomba CTUH01-1.....	39
11. Bombas CTUH01-2.....	39
12. Bombas CTUH02.....	40
13. Bombas CTLU01.....	40
14. Ventilador CTVT03.....	41
15. Bomba CTSI01.....	41
16. Banda CTBT01.....	42
17. Ventilador CTVT05.....	42
18. Ventilador CTVT02.....	43
19. Enfriador Chiller.....	43
20. Banda MTBT05.....	44
21. Bomba CTSI02.....	44
22. Participación componentes de falla.....	54
23. Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.....	56
24. Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.....	57
25. Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.....	57
26. Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.....	58
27. Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.....	58
28. Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.....	59

29. Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.....	59
30. Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.....	60
31. Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.....	60
32. Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.....	61
33. Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.....	61
34. Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.....	62
35. Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.....	62
36. Participación técnicas CBM.....	63
37. Esquemático de la transmisión de una banda con puntos de medida.....	70
38. Esquemático de un separador dinámico con puntos de medida.....	73
39. Esquemático de un ventilador con puntos de medida.....	75
40. Esquemático de un ventilador de transmisión por correas con puntos de medida.....	76
41. Esquemático de un ventilador con soportes de chumaceras y con puntos de medida.....	77
42. Esquemático de un motor reductor de una banda dosificadora con puntos de medida.....	79
43. Esquemático de una válvula rotativa con puntos de medida.....	80
44. Esquemático de la transmisión molino de cemento con puntos de medida.....	82
45. Esquemático de bombas hidráulicas con puntos de medida.....	84
46. Esquemático de bombas de inyección de agua y aditivo con puntos de medida.....	85
47. Esquemático de motor y compreso chiller con puntos de medida.....	86
48. Foto de medida de aislamiento motor eléctrico.....	87
49. Esquemático medida de aislamiento motor eléctrico.....	87
50. Foto tablero de control con puntos de medida de termografía.....	88
51. Informe detallado análisis de vibraciones.....	98
52. Informe detallado análisis de vibraciones.....	99
53. Informe detallado análisis de vibraciones.....	100

54. Informe de termografía mecánica.....	102
55. Informe de termografía eléctrica.....	103
56. Informe análisis de aceites.....	105
57. Informe medición de aislamiento.....	107

TABLAS

1. Ficha equipo CTEC01.....	36
2. Ficha equipo CTVT01.....	36
3. Ficha equipo CTBG01.....	37
4. Ficha equipo CTVQ01.....	37
5. Ficha equipo CTMV01.....	38
6. Ficha equipo CTSD01.....	38
7. Ficha equipo CTUH01-1.....	39
8. Ficha equipo CTUH01- 2.....	39
9. Ficha equipo CTUH02.....	40
10. Ficha equipo CTLU01.....	40
11. Ficha equipo CTVT03.....	41
12. Ficha equipo CTSI01.....	41
13. Ficha equipo CTBT01.....	42
14. Ficha equipo CTVT05.....	42
15. Ficha equipo CTVT02.....	43
16. Ficha equipo Chiller.....	43
17. Ficha equipo MTBT05.....	44
18. Ficha equipo CTSI02.....	44
19. Tabla frecuencia de fallas.....	45
20. Tabla consecuencia de la falla.....	46
21. Tabla análisis de criticidad.....	47
22. Porcentaje de tipo de daño en equipos.....	53
23. Participación de los mantenimientos en la molienda.....	54
24. Probabilidades de falla.....	55
25. Porcentaje de participación de los métodos CBM.....	63
26. Especificación de aceites y temperaturas reductores Falk (Temperatura normal 30°C por encima de ambiente).	65

CUADROS

1. Relación equipo con componente de falla, mantenimiento y probabilidad.....	50
2. Clasificación niveles de vibración ISO 10816-3.....	64
3. Niveles de ppm en aceites de los equipos mecánicos.....	65
4. Estándar con valores de aislamiento eléctrico en embobinados.....	66
5. Niveles de alarma según el equipo y la técnica CBM usada.....	66
6. Cronograma frecuencias de medida.....	91
7. Informe de vibraciones general de la molienda de cemento.....	95

RESUMEN

TITULO: DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL PROGRAMA CBM PARA LA EMPRESA CEMENTOS SAN MARCOS S.A.

AUTOR: ANDRES ELIAS MENDOZA ZULUAGA.

PALABRAS CLAVE: CRITICIDAD, DISPONIBILIDAD, EQUIPOS, FALLA, FUNCION, MANTENIMIENTO POR CONDICION, MEDICION, RENTABILIDAD.

DESCRIPCION:

Debido al ingreso de nuevas Cementeras al mercado nacional y la llegada de cemento importado al país el costo de este producto ha bajado y el mercado está más dividido. Para afrontar estos cambios la empresa Cementos San Marcos ha tomado la estrategia de optimizar sus costos de producción y de mantenimiento exigiendo un 98% de disponibilidad en sus equipos de la molienda de Cemento para evitar pérdidas de producción por paros no programados y sobrecostos en el mantenimiento.

Para lograr este objetivo la dirección de mantenimiento realiza una inversión en el programa de mantenimiento CBM¹ (mantenimiento basado en Condición) para compra de equipos de monitoreo.

Con el fin de hacer el mejor uso de los recursos se diseña y se planea la implementación de un programa de mantenimiento basado en condición orientado por la norma ISO 17359.

Como resultado obtuvimos la identificación de los equipos más críticos del proceso, la determinación de las fallas más típicas y sus síntomas, se identificó el repuesto más crítico y la mejor técnica CBM para monitorearla, y se propuso un método de monitoreo que consiste en el seguimiento de los desgastes ya que esto impacta directamente en la eficiencia operacional.

Como conclusión se obtiene una mayor confiabilidad en los equipos ya que se monitorean adecuadamente los síntomas de la falla de los equipos lo cual nos ha permitido tener planes de mantenimiento adecuados y eficientes.

¹ ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE ESTANDARIZACION, Referencias bibliográficas para normas, 2002, 1 p. (ISO 17359)

SUMMARY

TITLE: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF THE CBM PROGRAM FOR THE COMPANY CEMENTOS SAN MARCOS S.A.

AUTHOR: ANDRES ELIAS MENDOZA ZULUAGA.

KEY WORDS: CRITICITY, AVAILABILITY, EQUIPMENT, FAILURE, FUNCTION, MAINTENANCE BY CONDITION, MEASUREMENT, PROFITABILITY.

DESCRIPTION:

Due to the entrance of new Cement plants to the national market and the arrival of cement imported to the country the cost of this product has fallen and the market is more divided. To address these changes Cement San Marcos has taken the strategy of optimizing its production and maintenance costs by requiring a 98% availability in its Cement grinding equipment to avoid production losses due to unscheduled shutdowns and maintenance costs.

To achieve this goal, the maintenance management makes an investment in the maintenance program CBM² (condition based maintenance) for the purchase of monitoring equipment.

In order to make the best use of resources, a maintenance program based on ISO 17359 is designed and implemented.

As a result we obtained the identification of the most critical equipment of the process, the identification of the most typical faults and their symptoms, the most critical spare and the best CBM technique to be monitored, and a monitoring method was proposed, of wear and tear as this directly impacts on operational efficiency.

In conclusion, we obtain a greater reliability in the equipments as they are properly monitored the symptoms of the equipment failure which has allowed us to have adequate and efficient maintenance plans.

² INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION, Bibliographic references for standards, 2002, 1 p. (ISO 17359)

INTRODUCCION

Cementos San Marcos es una empresa Vallecaucana fundada en 2010 y dedicada al negocio de la producción y comercialización de cemento. Actualmente por el incremento de la competencia se ha visto obligada a generar estrategias que permitan una producción rentable y sostenible en el tiempo. Una de las áreas de oportunidad más llamativas es Mantenimiento donde se encuentran grandes oportunidades de optimización de costos.

Para lograr una producción rentable basada en el mantenimiento la gerencia general es consiente que se requieren de grandes esfuerzos económicos y físicos, por lo cual decide apoyar el proceso de mantenimiento dedicando un recurso económico con el fin de alcanzar una disponibilidad del 98% (actualmente se encuentra en 95% de disponibilidad) en la molienda de cemento, la cual es el área de mayor impacto económico por paros no programados de mantenimiento (80 ton/hora = 24 Millones COP/hora).

Actualmente en mantenimiento existen el área mecánica, eléctrica, instrumentación y predictivo, esta última se encarga de dar soporte a las demás áreas con los diagnósticos de los equipos basado en la medición y análisis de vibraciones. Esta área cuenta con equipos como una cámara termografía, equipo de alineación de ejes, equipo de balanceo, alineador de poleas, lámpara estroboscópica, medidor de espesores por ultrasonido y un estetoscopio, pero no se cuenta con un programa administrativo que permita obtener un óptimo provecho de estos equipos, ya que solamente se poseen las rutas de vibraciones de los equipos de molienda de cemento, pero no se han definido el mantenimiento

requerido para cada equipo, las técnicas de predictivo a usar en los equipos, las frecuencias optimas de las rutas, ni las ventanas de operación para los equipos. Además se observa la carencia de inclusión de otras técnicas de mantenimiento predictivo que permitan un diagnóstico más acertado, no se aprecia un tratamiento adecuado de la información adquirida, ya que se observa ausencia de gestión de repuestos, ausencia de análisis de causa raíz basado en los reportes de predictivo, entre otros.

El presente documento busca dar una solución aplicable a las deficiencias administrativas encontradas en el proceso de mantenimiento predictivo y así obtener una influencia directamente positiva en el indicador de disponibilidad e indirectamente en los costos de mantenimiento.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA OPORTUNIDAD DE MEJORA

En la actualidad del sector industrial Cementero en Colombia cada vez tiene más competidores, en los últimos años se han introducido cerca de 3 cementeras nuevas, la cual su principal modelo de negocio es solamente la molienda de cemento y traer materia prima importada, aunque su inversión inicial es más baja que una planta completa, están sujetos a los precios de la moneda extranjera, pero aun con estas limitantes han logrado acaparar gran parte del mercado.

Debido a esta situación la competencia actual no solamente está basada en la calidad del producto, también está basada en el precio de venta y respuesta al cliente, y en estos indicadores de valor juega un papel muy importante el proceso de mantenimiento, principalmente en ejecutar un mantenimiento efectivo y a bajo costo, con la meta final de ofrecer una disponibilidad y confiabilidad alta para la compañía, cumpliendo finalmente los indicadores que el cliente busca.

Con el presente trabajo escrito se pretende aumentar el indicador de confiabilidad de la planta a un 98% el cual está exigiendo las directivas de la compañía para hacer rentable el negocio, y una de las estrategias más indicadas y rentables que se han escogido es el mantenimiento basado en condición, con el cual pretendemos estructurar y presentar un plan de aplicación adecuado para la necesidad de disponibilidad requerida.

A continuación se presenta una descripción del proceso de fabricación del cemento para contextualizar al lector sobre el proceso.

1.2. DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACION DEL CEMENTO

Para la fabricación del cemento se requieren de unos sub procesos los cuales describiremos a continuación:

- A) Explotación de la materia prima: De las minas o canteras de piedra con certificado de explotación se extrae la caliza, bauxita y arcilla a través de la detonación con explosivos, constantemente se verifica con topografía y estudios de suelos la cantidad y ubicación de la materia prima en la mina.
- B) Transporte de la Materia prima: Una vez se tiene la materia prima fuera de la mina se procede a trasladar la piedra en volquetas Dumper o cargadores hacia la fase de trituración en la planta.
- C) Trituración: La materia prima que llega de la mina es fragmentada por medio de una trituradora de martillos que por medio de impactos reduce la piedra al tamaño adecuado para la molienda.
- D) Pre homogenización: Es la etapa donde se mezclan los diferentes tipos de caliza con yeso u otros materiales según sea el requerimiento de la molienda.
- E) Almacenamiento materias primas: Las materias primas son transportadas por una banda transportadora hacia los diferentes silos para su almacenamiento y disposición.
- F) Molienda de Crudo: Esta molienda se realiza mediante un molino vertical de rodillos, los cuales ejercen presión contra una mesa giratoria moliendo el material que esta entre estas dos partes, en esta etapa se muele principalmente caliza para su posterior clinkerización.
- G) Clinkerización: Para esta fase se usa un horno rotatorio donde se manejan diferentes estados del material (fase líquida y fase sólida) teniendo una

temperatura interna hasta de 1200°C y obteniendo al final un mineral sintético llamado Clinker en forma de pequeñas rocas de 2 cm aproximadamente.

- H) Molienda de Cemento: En esta molienda se usa otro molino vertical de rodillos, en la cual su materia prima básicamente es Clinker con yeso y otras adiciones que permitan un mejor tiempo de fraguado, el material resultado de esta molienda es el producto final listo para ser almacenado y empacado.
- I) Empaque y despacho del Cemento: El producto final almacenado en los silos se extrae y se empaca en sacos de 50 kg o se despacha a granel por medio de camiones cisterna.

1.3.OBJETIVO GENERAL

Diseñar un Programa de mantenimiento basado en condición, teniendo como referencia la norma ISO 17359, que permita optimizar los recursos de mantenimiento en el área de Molienda de Cemento.

1.4.OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar la función de los equipos en la molienda de cemento y su criticidad.
- Identificar el mantenimiento adecuado para los equipos en la molienda de Cemento.
- Seleccionar el método de medición más adecuado para los equipos molienda de cemento.
- Definir criterios de alerta y alarma para el análisis de estado de los equipos molienda de cemento.
- Estandarizar formato de informes de las técnicas no destructivas usadas.
- Definir las acciones de mantenimiento requeridas y generar histórico.

2. MARCO TEORICO

2.1. TEORIA DEL MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICION

En los últimos años debido a la competencia entre industrias que se ha desarrollado, las empresas han optado por reducir costos de operación disminuyendo la cantidad de personal de mantenimiento y esto paralelamente ha afectado los tiempos de respuesta a fallos y disminución de inspecciones proactivas en planta, así que una de las estrategias que tomaron para mitigar este factor fue controlar la aparición de la falla “Hago algo antes que me lo hagas a mi” con esta filosofía se implementaron los preventivos con base a los periodos de vida de los equipos y los repuestos, pero este tipo de manteniendo tiene puntos débiles importantes, ya que se basa principalmente en los tiempos que da el fabricante de reposición y no se tiene en cuenta que la operación de los equipos en planta están expuestos a diferentes variables que pueden acelerar la falla y detener el equipo, además si se reemplaza la pieza averiada probablemente no este reparando la causa raíz del problema, otra de las grandes desventajas que tiene este mantenimiento es el alto costo que tiene el ejecutarlo, ya que en muchos casos se puede estar cambiando piezas que todavía tengan hasta la mitad de la vida útil (desechando dinero en repuestos).

Con base en las experiencias y la necesidad de hacer más rentable el mantenimiento nace la metodología del Mantenimiento Basado en Condición, el cual consiste básicamente en monitorear y diagnosticar una determinada variable con un instrumento tecnológico con el fin de determinar el estado de la pieza y programar su cambio o reparación, sin afectar la operación con paros no programados ni incurrir en costos elevados por reparación de equipos. Además

esta estrategia al verificar el estado de la pieza se garantiza que se está obteniendo el máximo provecho de la pieza de repuesto sin poner en peligro la integridad del equipo y adicionalmente encontrando (en la mayoría de los casos) la causa del fallo del repuesto, lo cual evita fallas recurrentes.

Los principales retos de la implementación del mantenimiento basado en condición son los siguientes:

- Conocer las técnicas de mantenimiento “a condición” que existen en el mercado (hay gran variedad de técnicas CBM, teniendo en cuenta su grado de desarrollo).
- Decidir cuál técnica de mantenimiento basado a condición es la más adecuada técnicamente para sus equipos.
- Evaluar el factor costo beneficio de la implementación del CBM.
- Contar con el apoyo completo de la dirección o gerencia de mantenimiento.
- Capacitar al personal sobre la técnica CBM a implementar.

Para comenzar con la estructuración del MBC es indispensable generar un plan de implementación que permita una alta probabilidad de éxito en la aplicación y en los resultados.

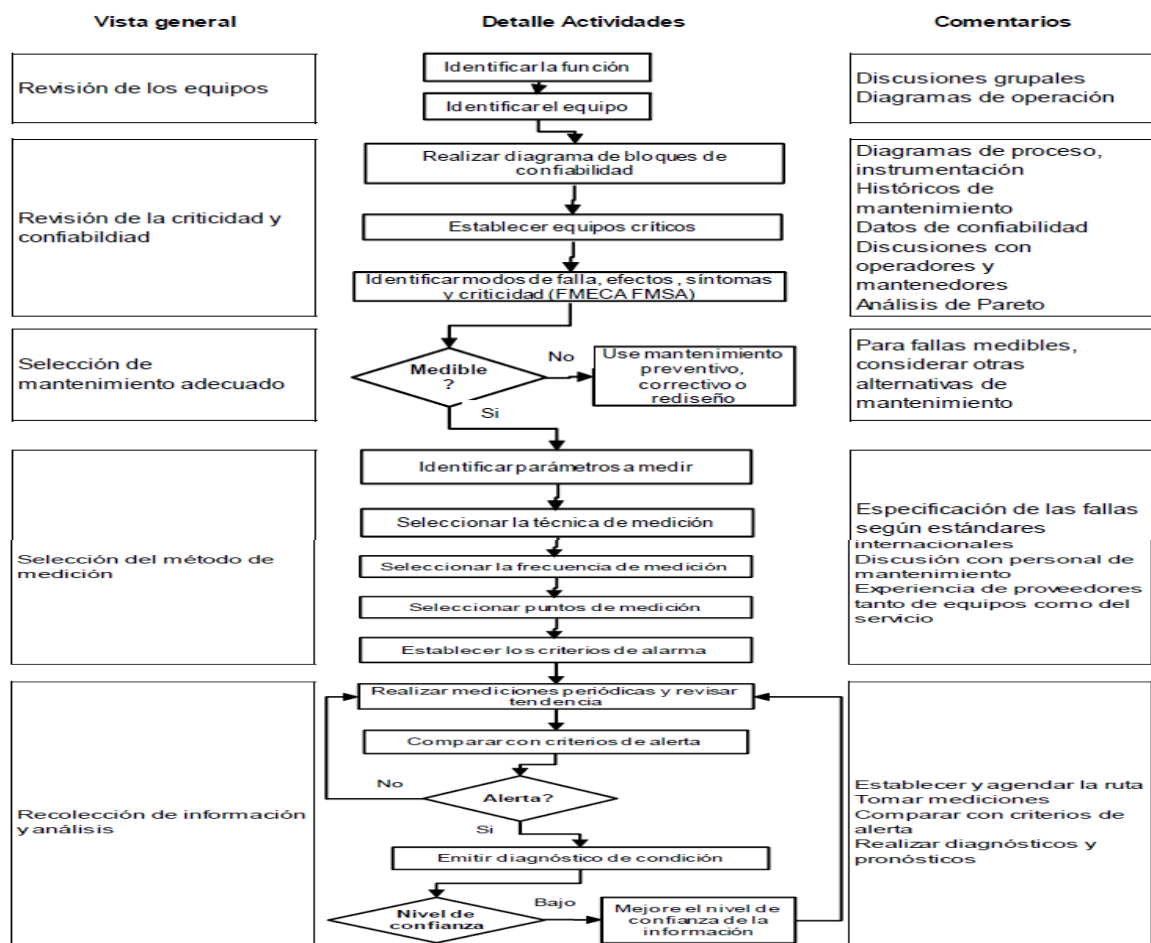
Para generar este plan, nos basamos en la norma ISO 17359 en el cual muestran un modelo de diagrama de flujo con los pasos, donde se indican las tareas básicas a tener en cuenta para generar el plan típico de mantenimiento basado en condición.

Antes de iniciar un plan de implementación de monitoreo basado en condición se recomienda tener una persona que tenga los conocimientos básicos sobre análisis de criticidad y modos de falla, con el fin de comenzar la recolección de la información de los equipos y el análisis adecuado de esta información, además

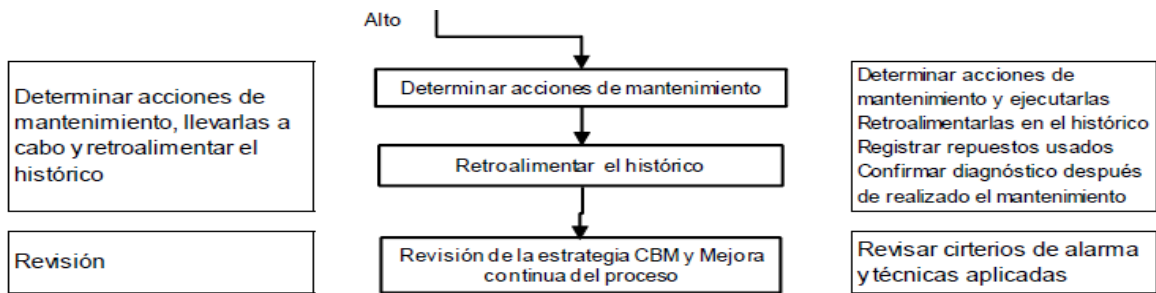
esta persona debe estar de tiempo completo en esta actividad, no se recomienda asignar esta actividad al personal técnico que realice otras actividades en la planta, ya que del levantamiento de información y la calidad del análisis inicial depende el éxito futuro de la aplicación del plan MBC.

A continuación se muestra el diagrama³ de flujo típico para la implementación del mantenimiento basado en condición:

Figura. 1 Diagrama de flujo MBC



³ ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE ESTANDARIZACION, Referencias bibliográficas para normas, 2002, 3 p. (ISO 17359)



A continuación se describen los pasos de aplicación sugeridos por el diagrama de flujo:

1- Auditoria de equipos:

- Identificación del equipo: Enumerar e identificar claramente todos los equipos y fuentes de alimentación asociados, los sistemas de control y de vigilancia existentes.

- Identificar la función del equipo: se deben hacer las preguntas como ¿Qué es lo que debe hacer el equipo? Y ¿Cuáles son las condiciones de funcionamiento?

2- Auditoria de fiabilidad y criticidad de equipos:

- Diagrama de bloque de fiabilidad: Puede resultar útil producir un diagrama de bloque simple de alto nivel de fiabilidad, incluyendo si el equipo tiene un efecto de fiabilidad paralelo o en serie. Se recomienda el uso de factores de fiabilidad y disponibilidad para mejorar los procesos de monitoreo de condiciones.

- Establecer la criticidad del equipo: Se recomienda la evaluación de la criticidad de todas las maquinas, para crear una lista de máquinas priorizadas incluido en el programa de mantenimiento basado en condición. Este puede ser un sistema de calificación imple basado en factores tales como: Costo del tiempo de

inactividad, tasa de falla, daño consecuente, costo de reposición del equipo, costo del mantenimiento, costo del ciclo de vida, costo del sistema de monitoreo, seguridad e impacto ambiental.

- Modos de falla, efectos y criticidad: Se recomienda realizar un análisis de modos de fallo (FMEA) o efecto de modo de falla y criticidad (FMECA) con el fin de identificar los fallos esperados, los síntomas y los posibles parámetros a indicar la presencia u ocurrencia de los fallos. Las auditorías FMEA y FMECA producirá información sobre el rango de parámetros a medir para los modos de fallo. Los parámetros a considerar son generalmente aquellos que indicaran una condición de falla, ya sea por un aumento o disminución del valor medido total, o por algún otro cambio a un valor característico tal como una bomba o curvas de compresor.
- Tareas alternativas de mantenimiento: Si el modo de falla no tiene un síntoma medible, esto implica que haya que aplicar un método de mantenimiento alternativo, ya sea un preventivo o incluso un correctivo programado.

3- Método de medida:

- Técnica de medición: Para el parámetro particular medible considerado a través del método anterior, uno o más métodos de medición pueden ser aplicados, los sistemas de monitoreo de condición pueden tomar muchas formas.
- Precisión de los parámetros de monitoreo: En la mayoría de los casos, la precisión requerida de los parámetros de medición que se utilizarán para el diagnóstico no es necesariamente tan absoluto como la precisión que puede ser necesaria para otras mediciones tales como pruebas de rendimiento.
- Factibilidad de la medición: Debería considerarse la factibilidad de adquirir la medida, incluida la facilidad de acceso, la complejidad del sistema de adquisición

de datos requerido, nivel de procesamiento de datos requerido, requisitos de seguridad, costo y si existen sistemas de vigilancia o control que ya están midiendo parámetros de interés. Se recomienda que el sistema completo de la máquina se incluya en el proceso de decisión y monitoreo.

- Condiciones de funcionamiento durante las mediciones: En la medida de lo posible, cuando la máquina haya alcanzado un conjunto predeterminado de (por ejemplo, temperatura de funcionamiento normal), o para transitorios, una condición predeterminada de inicio y finalización. Estas son también condiciones que pueden ser usadas para una máquina específica, configuraciones para establecer líneas de base. Las mediciones subsiguientes se comparan con los valores basales para detectar cambios. La tendencia de las mediciones es útil para resaltar el desarrollo de las fallas.
- Intervalo de medida: Debería considerarse el intervalo entre mediciones, y si se trata de intervalos continuos o periódicos se requiere el muestreo. El intervalo de medida depende principalmente del tipo de falla, su velocidad de progresión (y por lo tanto la tasa de cambio de los parámetros pertinentes). Sin embargo, el intervalo de medición también depende de factores tales como ciclos de trabajo, costo y criticidad.
- Tasa de adquisición de datos: Para condiciones de estado estacionario, la velocidad de adquisición de datos debe ser lo suficientemente rápida para capturar un conjunto completo de datos antes de que cambien las condiciones. Durante transitorios, la adquisición de datos de alta velocidad puede ser necesaria.

- Registro de los parámetros monitorizados: Los registros de los parámetros supervisados deben incluir como mínimo la siguiente información: Datos esenciales que describen la máquina, la posición de medición, las unidades de medida, el procesamiento, y la fecha y la hora información. Otra información útil para permitir la comparación incluye detalles de los sistemas de medición, exactitud de cada sistema de medición. Se recomienda que los detalles de la configuración de la máquina y de cualquier componente también se incluyan en los cambios.

- Selección de la ubicación de medición: Los lugares de medición deben elegirse para ofrecer la mejor posibilidad de detección de fallos. Los puntos de medición deben ser identificados de manera única. Se recomienda el uso de una etiqueta permanente o una marca de identificación. Los factores a tener en cuenta son: la seguridad, alta sensibilidad al cambio en la condición de falla, sensibilidad reducida a otras influencias, repetibilidad de la medición, atenuación o pérdida de señal, ambiente, costo.

- Criterios iniciales de Alerta/Alarma: Los criterios iniciales de alerta / alarma deben ajustarse para dar la indicación más temprana posible de la ocurrencia de un fallo. Las alarmas pueden ser valores únicos o múltiples niveles que aumentan o disminuyen. Cambios de paso que ocurren previamente establecidos, mientras que no exceder los límites de alerta aún puede requerir investigación. Los criterios de alerta/alarma pueden también resultar del procesamiento de varias mediciones, o ser fijados como señales dinámicas. Los criterios de alerta / alarma deben optimizarse con el tiempo como un proceso iterativo.

- Datos de referencia: Los datos de línea de base son datos o conjuntos de datos que se miden u observan cuando se sabe que el funcionamiento del equipo es aceptable y estable. Las mediciones subsiguientes pueden compararse con

estos valores de referencia para detectar cambios. Los datos de la línea de base deben definir con precisión la condición estable inicial de la máquina, preferiblemente operando en su estado normal. Para máquinas con varios estados operativos, puede ser necesario establecer líneas de base para cada uno de estos estados. Para equipos nuevos y revisados puede haber un período de desgaste. Como resultado, es común ver un cambio en los valores medidos durante los primeros días o semanas de funcionamiento. Por lo tanto, se debe asignar tiempo para el desgaste antes de adquirir los datos de referencia. Para equipos que han estado funcionando durante un período significativo y que han sido monitoreados por primera vez, se debe establecer un punto de tendencia referencial.

4- Recolección de datos y análisis:

- Medición y tendencias: El procedimiento general para la recopilación de datos consiste en tomar medidas y compararlas con las tendencias históricas, la línea de base, o datos representativos para las mismas máquinas o máquinas similares. La gestión de la vigilancia de la condición, este procedimiento se realiza a menudo mediante la organización de las medidas a tomar en una ruta o visita de una planta. Las rutas son que entonces se programarán para ser llevado a cabo en una periodicidad regular inicial que es más frecuente que el modo de falla esperado. Los sistemas basados en computadora están disponibles para muchas técnicas de monitoreo de condición que ayudan en la administración de las rutas de recolección de datos, registro y tendencias de las mediciones.
- Comparación de las medidas con los criterios de alerta/ alarma: Si los valores medidos son aceptables en comparación con los criterios de alerta / alarma, no se graban los valores y se continua monitoreando. Si los valores medidos no son aceptables en comparación con el alerta / alarma, entonces se debe iniciar el proceso de diagnóstico. Puede haber ocasiones en que no se presenten

anomalías. sospecha o se detecta, pero el diagnóstico y el pronóstico se siguen realizando, debido a un requisito para una máquina, por ejemplo cuando se lleva a cabo una inspección de la condición del equipo antes de una parada importante.

- Diagnóstico y pronóstico: El proceso de diagnóstico generalmente es desencadenado por la detección de anomalías. Esta detección se lleva a cabo mediante comparación entre los presentes descriptores de una máquina, y los valores de referencia (generalmente llamados valores de referencia o datos) elegidos de la experiencia, de las especificaciones del fabricante, de las pruebas de puesta en marcha, o calculado a partir de datos estadísticos (por ejemplo, promedio a largo plazo). Diferentes enfoques se pueden utilizar para diagnosticar una máquina. Dos enfoques de este tipo son: enfoque de fallas / síntomas, y enfoque causal.
- Mejorar el diagnóstico y/o la confianza en el pronóstico: Con el fin de aumentar la confianza en el diagnóstico / pronóstico, puede ser necesario llevar a cabo uno o más de las siguientes acciones: Volver a tomar las medidas para confirmar la (s) medición (es) y las condiciones de alarma, comparar la (s) medida (s) con las tendencias históricas pasadas, Reducir el intervalo entre las sucesivas medidas previstas, Tomar mediciones adicionales en el mismo lugar y / o en lugares adicionales, Utilice un proceso o técnica más sofisticada, Utilizar técnicas alternativas para la correlación, Modificar las condiciones de funcionamiento o la configuración de la máquina para ayudar en el diagnóstico, Llame a otros expertos en la máquina / modo de fallo en particular.

5- Determinar la acción de mantenimiento:

La acción más simple, que puede tomarse en ciertas circunstancias, como en las máquinas de baja criticidad, es no tomar una acción inmediata, y continuar monitoreando a intervalos normales. En general, dependiendo del nivel de confianza en el diagnóstico / pronóstico de ocurrencia de falla, la decisión de mantenimiento y la acción deben ser llevadas a cabo tales como iniciar la inspección o el trabajo correctivo. Si los criterios de alerta / alarma indican una condición de falla grave, puede ser necesario iniciar una parada inmediata. Otras opciones pueden incluir: reducir la carga de la máquina, la velocidad o el rendimiento. Cuando se han completado las acciones de mantenimiento, se recomienda registrar cualquier actividad de mantenimiento y cambios en la máquina, incluidos los detalles de los repuestos utilizados, las habilidades utilizadas, reparación / restauración. Estos deben ser alimentados de nuevo para formar un registro histórico, que puede ayudar en el diagnóstico futuro y pronóstico, y también será útil cuando se revise el proceso de monitoreo de la condición.

Cuando se han llevado a cabo las acciones de mantenimiento, es útil inspeccionar componentes para confirmar que el diagnóstico o pronóstico fue correcto. Los fallos repetitivos pueden reducir la confiabilidad del sistema y aumentar los costos operativos. Si la causa raíz de los fallos puede ser identificadas, la acción de mantenimiento puede ser revisada y optimizada para evitar o reducir el impacto de la fallas. La acción de mantenimiento apropiada puede incluir técnicas de supervisión de condiciones más sofisticadas, tareas de mantenimiento adicionales, discusión con el fabricante y modificación (diseño).

6- Revisión:

El proceso de monitoreo de la condición es un proceso continuo, de técnicas que pueden no estar disponibles, o el tiempo considerado demasiado costoso, o demasiado complicado, o inviable de alguna otra manera (falta de acceso, seguridad problemas, etc.), puedan ser revisados. Se recomienda que el procedimiento de control de la condición incluye un proceso de revisión para permitir que se realicen dichas reevaluaciones. Asimismo, la eficacia de las técnicas que se están llevando a cabo en el marco del programa, y que las técnicas que se consideren necesarias. Los criterios de alerta / alarma también pueden ser revisados debido a cambios en la máquina, tales como desgaste progresivo, envejecimiento, modificación, operación o cambio de ciclo de servicio. Los valores medidos y las líneas de base también pueden cambiar, incluido el cambio de componentes, el ajuste o el cambio de servicio. En algunos casos, la línea de base debe restablecerse tras dichos cambios. Cabe señalar que los cambios en los valores de medición pueden ser debido a cambios normales o controlados en las condiciones de funcionamiento, y no necesariamente indica una condición de fallo.

7- Entrenamiento⁴:

Información sobre los requisitos de formación y certificación para que el personal lleve a cabo los diagnósticos de máquinas.

A continuación se muestra una tabla de parámetros⁵ a medir en diferentes tipos de equipos, propuesto por la norma ISO 17359.

⁴ ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE ESTANDARIZACION, Referencias bibliográficas para normas, 2002, 8 p. (ISO 17359)

⁵ Adriana Maria Ruiz Acevedo. Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo, Bucaramanga, 2012. 47

Figura.2 Tabla parámetros de medida en equipos

Parámetros	Tipo de equipos						
	Motor eléctrico	Turbina a gas	Bomba	Compresor	Generador eléctrico	Motores combustión interna	Ventilador
Temperatura	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Presión		✓	✓	✓		✓	✓
Cabeza de presión			✓				
Flujo de aire		✓		✓		✓	✓
Flujo de combustible		✓				✓	
Flujo de fluido de trabajo		✓	✓	✓			
Corriente	✓				✓		

Voltaje	✓				✓		
Resistencia	✓				✓		
Entrada/ Salida energía	✓		✓	✓	✓		
Ruido	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vibración	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Técnicas acústicas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Presión de aceite	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Consumo de aceite	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tribología	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Torque	✓	✓		✓	✓	✓	
Velocidad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Eficiencia		✓	✓	✓		✓	

final. Este material de las bandas dosificadoras la recibe la Banda de alimentación del molino (MTBT05) la cual transporta el material por un ducto que va hacia una triverter la cual se encarga de direccionar el material hacia patio, válvula rotativa (CTVQ01) entrada del molino o el silo de rechazos, cuando el material está bien dosificado y la calidad es aceptada la triverter se selecciona hacia la válvula rotativa la cual entrega el material al molino y a su vez hace sello de aire para no permitir que los gases calientes se salgan del molino, una vez el material en el molino los cuerpos moledores se encargan de triturar el material hasta una finura que es determinada por la velocidad del separador dinámico (CTSD01) el cual es el encargado de seleccionar el material que va al silo de terminado o el que va a rechazos, el material de rechazos cae por la corona de alabes y sale del molino por medio de unos barredores o scrapers que tiene internos y caen a la banda de rechazos (CTBT01) que a su vez descarga el material al elevador de rechazos (CTEC01) el cual es el encargado de dirigir el material nuevamente a la banda de alimentación (MTBT05) o al silo de rechazos por medio de una diverter. El silo de rechazos entrega su material por medio de una banda dosificadora (CTBG01) a una válvula diverter hacia el elevador CTEC01 o hacia patio.

Para el funcionamiento del molino se necesitan de otros equipos auxiliares como son la unidad de lubricación del reductor (CTLU01) las unidades hidráulicas de los rodillos (CTUH01 y CTUH02), el ventilador de despolvado CTVT01 y ventilador de sello masas molino CTVT03, además se necesita de un generador de gases calientes el cual es el equipo CTVT05 y de un ventilador de filtrado principal el cual se encarga de absorber todo el productor terminado del molino que sale por el separador dinámico, este filtro es el CTVT02, el sistema de inyección de agua y aditivo el cual se compone de una bomba (), el sistema de enfriamiento del reductor principal del molino el cual es un Chiller y un separador magnético de metales para la banda MTBT05.

3. DISEÑO Y PLANEACION DE LA APLICACION CBM A LA MOLIENDA DE CEMENTO

3.1. IDENTIFICACION DE LOS EQUIPOS Y DEFINICION DE FUNCIONES

- Elevador de Recirculación CTEC01: Elevador de Cangilones de cadena, compuesto por un motor y reductor⁶ y transmisión por correas y su función es transportar el material de rechazos del molino o del silo de rechazos hacia la banda de alimentación molino (MTBT05), la capacidad del elevador es de 30 T/H.

Tabla. 1 ficha equipo CTEC01

Ficha Equipos CTEC01		
Componente	Marca	Referencia
Motor	US motors	CV57
Reductor	Falk	5407 j25
Transmisión	Súper HC	5VX1150
Soportes	Dodge	SAF-XT528

Figura.4 Elevador CTEC01



- Ventilador Despolvado CTVT01: Ventilador con transmisión por correas y soporte de rodamientos PDN o mono bloque, su función es de despolvar la banda 5, llevando el material hacia el filtro CTFM01.

Tabla.2 Ficha equipo CTVT01

Ficha Equipos CTVT01		
Componente	Marca	Referencia
Motor	ABB	M2BA160ML
Reductor	N/A	N/A
Transmisión	Súper HC	SPA2382
Soportes	PDN	OMB 50, ROD 6310

Figura.5 Ventilador CTVT01



⁶ Rexnord Industries, Gear Group, Manual reductores de velocidad Falk, Milwaukee, 1995, p.1

- Banda dosificadora CTBG01: Banda Shenck compuesta por un motor y reductor con transmisión directa, las chumaceras son de pedestal (no se encuentra referencia visible de estas) y su función es dosificar el materia que le entrega el silo de rechazos hacia el elevador CTEC01 o hacia patio.

Tabla.3 Ficha equipo CTBG01

Ficha Equipos CTBG01		
Componente	Marca	Referencia
Motor	N/A	N/A
Reductor	SEW- Eurodriv	SA47DT80K4
Transmisión	(Directa)	N/A
Soportes	N/A	N/A

Figura.6 Banda CTBG01



- Válvula Rotativa alimentación molino CTVQ01: Válvula rotativa de 8 alabes compuesta por un motor y reductor de transmisión directa, la función de este equipo es entregar el materia desde la banda 5 hacia el molino sin dejar escapar el aire caliente del molino (válvula de sello).

Tabla.4 Ficha equipo CTVQ01

Ficha Equipos CTVQ01		
Componente	Marca	Referencia
Motor	N/A	N/A
Reductor	SEW- Eurodriv	RF137DRE132M4
Transmisión	Directa	N/A
Soportes	N/A	N/A

Figura.7 Válvula CTVQ01



- Molino de Cemento CTMV01: Molino vertical de Cemento marca Loesche referencia LM35:2+2 el cual lo compone un motor⁷ y un reductor de configuración planetaria la cual tiene como función principal moler 80 ton/h de cemento.

Tabla.5 Ficha equipo CTMV01

Ficha Equipos CTMV01		
Componente	Marca	Referencia
Motor	WEG	MAF560C KL20470-SS43-
Reductor	SANTASALO	AKS450-12
Transmisión	Directa	
Soportes	N/A	N/A

Figura.8 Molino CTMV01

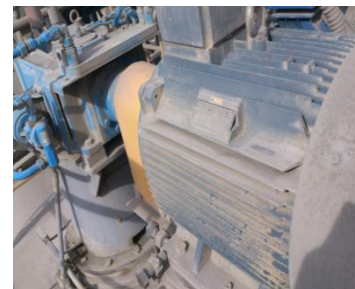


- Separador dinámico CTSD01: Separador compuesto por un motor y un reductor con acople directo marca Flender, la salida del reductor va conectada hacia una canastilla de aspas, y la función principal del equipo es clasificar el material de salida del molino de acuerdo a la finura requerida (velocidad normal de 126,33 RPM).

Tabla.6 Ficha equipo CTSD01

Ficha Equipos CTSD01		
Componente	Marca	Referencia
Motor	MENZEL	MEBK280M-04-190
Reductor	SIEMENS	B2 SV 06 C
Bomba reduct	Birkenbeul	5APE80M
Transmisión	Directa	
Soportes	N/A	N/A

Figura.9 Separador CTSD01



⁷ Grupo Weg, Unidad de automatización, Guía práctica de capacitación técnico comercial motor eléctrico, Brasil, 2016, p.5.

- Unidad hidráulica CTUH01-1 serie HSLM 630/45: Unidad hidráulica presión de molienda, cuenta con 1 motor bomba y un reservorio de aceite hidráulico, su función es dar la presión a las masas M (principales) para la molienda de cemento, la presión va de 70 a 100 bar.

Tabla.7 Ficha equipo CTUH01-1

Ficha Equipos CTUH01 -1		
Componente	Marca	Referencia
Motor	SIEMENS	1AV2164B
Bomba	Integral Hydra	PT 3-25
Transmisión	Directa	
Soportes	N/A	N/A

Figura.10 Bomba CTUH01-1



- Unidad hidráulica CTUH01-2 HSLM 630/45: Unidad hidráulica lubricación masas M molino Loesche, está compuesto por 4 motor bombas y un reservorio de aceite, (los 4 motor bombas son de la misma referencia), la función del este equipo es recircular, enfriar y filtrar el aceite de las masas M, se maneja una presión en la línea de 20 psi.

Tabla.8 Ficha equipo CTUH01- 2

Ficha Equipos CTUH01-2		
Componente	Marca	Referencia
Motor	SIEMENS	1AV2090C
Bomba	BONDIOLI	
Transmisión	Directa	
Soportes	N/A	N/A

Figura.11 Bombas CTUH01-2



- Unidad Hidráulica CTUH02: Está compuesto por 2 motores bomba (ambos de la misma referencia), y un reservorio de aceite con sus respectivos manómetros y niveles, la función de este sistema es mantener la presión de las masas S o masas auxiliares de molienda, la presión manejada es de 10,7 bar.

Tabla.9 Ficha equipo CTUH02

Ficha Equipos CTUH02		
Componente	Marca	Referencia
Motor	SIEMENS	1AV2104C
Bomba	Bondioli	N/A
Transmisión	Directa	
Soportes	N/A	N/A

Figura.12 Bombas CTUH02



- Unidad de Lubricación CTLU01: El equipo está compuesto por 1 bomba principal y 4 secundarias, y la función principal es mantener el flujo de lubricante hacia el molino con presiones de 2,23 bar y conservar el aceite en temperaturas inferiores a 65°C.

Tabla.10 Ficha equipo CTLU01

Ficha Equipos CTLU01		
Componente	Marca	Referencia
Motor ppal	SIEMENS	1CV2204C
Motores secun	SIEMENS	1AV2133C
Bomba ppal	N/A	N/A
Bomba secund	HAWE	R2,8-145
Transmisión	Directa	
Soportes	N/A	N/A

Figura.13 Bombas CTLU01



- Ventilador de sello CTVT03: Está compuesto por 1 motor con acople directo, la función de este ventilador es mantener un flujo de aire de sello hacia el molino y sus cuerpos moledores (presión de 27,44 mbar).

Tabla.11 Ficha equipo CTVT03

Ficha Equipos CTVT03		
Componente	Marca	Referencia
Motor	SIEMENS	1CV3163A
Bomba	N/A	N/A
Transmisión	Directa	
Soportes	N/A	N/A

Figura.14 Ventilador CTVT03



- Sistema de inyección de aditivo molienda CTSI01: Equipo compuesto de un motor y una bomba, su función es inyectar aditivo de molienda a razón de 12,55 Lt/h.

Tabla.12 Ficha equipo CTSI01

Ficha Equipos CTSI01		
Componente	Marca	Referencia
Motor	SIEMENS	TLA 7073
Bomba	N/A	N/A
Transmisión	Directa	N/A
Soportes	N/A	N/A

Figura.15 Bomba CTSI01



- Banda de rechazos CTBT01: Equipo compuesto por un motor y un reductor, con transmisión por correas, soporte de los rodillos por chumaceras, su función es transportar el material de rechazos del molino hacia el elevador CTEC01.

Tabla.13 Ficha equipo CTBT01

Ficha Equipos CTBT01		
Componente	Marca	Referencia
Motor	SIEMENS	1LA9
Reductor	FALK SUPER	5203 J25 A
Transmisión	HC	3VX630
Soportes	SKF	513-611

Figura.16 Banda CTBT01



- Generador de gases calientes CTVT05: Equipo compuesto solamente por un motor con acople directo al ventilador y su función es suministrar el caudal del aire caliente desde el quemador hacia el molino.

Tabla.14 Ficha equipo CTVT05

Ficha Equipos CTVT05		
Componente	Marca	Referencia
Motor	WEG	AL132S-04
Reductor	N/A	N/A
Transmisión	N/A	N/A
Soportes	N/A	N/A

Figura.17 VentiladorCTVT05



- Ventilador de Filtro CTVT02: Ventilador compuesto de un motor con acople directo flender, rotor sostenido por 2 chumaceras y su función es generar la corriente de aire de tiro del molino hacia el filtro para extraer el producto terminado, el motor trabaja a una velocidad de 1195 RPM.

Tabla.15 Ficha equipo CTVT02

Ficha Equipos CTVT02		
Componente	Marca	Referencia
Motor	WEG	HGF EAC
Reductor	N/A	N/A
Transmisión	DIRECTA	
Soportes	FAG/DODGE	SAF 526/522

Figura.18 Ventilador CTVT02



- Sistema de enfriamiento Chiller: Sistema de enfriamiento compuesto por un moto compresor y un reservorio de agua glicol y su función principal es enfriar a 60 °C el agua glicol e impulsarlo por la tubería de refrigeración del reductor principal molino de cemento (CTMV01) y del separador dinámico (CTEC01).

Tabla.16 Ficha equipo Chiller

Ficha Equipos Chiller		
Componente	Marca	Referencia
Motor	Siemens	N/A
Compresor	N/A	N/A
Transmisión	N/A	N/A
Soportes	N/A	N/A

Figura.19 Enfriador Chiller



- Banda alimentación molino MTBT05: Banda compuesta por un motor y un reductor con transmisión por correas y apoyado su salida con chumaceras, la función principal del equipo es entregar 80 Ton/h de material al molino de Cemento.

Tabla.17 Ficha equipo MTBT05

Ficha Equipos MTBT05		
Componente	Marca	Referencia
Motor	SIEMENS	1LA11
Reductor	FALK	5215 j25
Transmisión	Correas	N/A
Soportes	SKF	SAF 526

Figura.20 Banda MTBT05



- Sistema de inyección de agua al molino CTSI02: Sistema compuesto por un motor y una bomba con transmisión directa, la función principal de la bomba es inyectar agua al molino a razón de 0,9 m3/h

Tabla.18 Ficha equipo CTSI02

Ficha Equipos CTSI02		
Componente	Marca	Referencia
Motor	SIEMENS	TLA522
Bomba	Pedrollo	N/A
Transmisión	Directa	N/A
Soportes	N/A	N/A

Figura.21 Bomba CTSI02



3.2. ANALISIS DE CRITICIDAD

Para realizar el análisis de criticidad primero se revisan los históricos de paro del molino y se definen por que causa o fallo de equipo causo este evento.

Además se consulta con los técnicos los promedios de reparación de los equipos en el área de molienda dependiendo del tipo de daño que sufran.

Antes de consolidar esta información para cada equipo primero se definirán las tablas de frecuencia y consecuencia.

La tabla de frecuencia queda considerada de la siguiente manera, teniendo en cuenta que el tiempo de operación de la planta ha sido relativamente cortó (5 años).

Tabla.19 Tabla frecuencia de fallas.

Categoría	tiempo promedio entre fallas TMEF, en años	Numero de fallas por año	interpretación
5	$TMEF < 1$	$\alpha > 1$	Probabilidad alta de que ocurra varias veces en el año
4	$1 < TMEF < 2$	$0,5 < \alpha$	Es probable que ocurra en 2 años pero poco probable que ocurra en 1 año
3	$2 < TMEF < 3$	$0,3 < \alpha$	Es probable que ocurra en 3 años pero poco probable que ocurra en 2 años
2	$3 < TMEF < 5$	$0,2 < \alpha$	Es probable que ocurra en 5 años pero poco probable que ocurra en 3 años
1	$5 < TMEF < 10$	$0,1 < \alpha$	Es probable que ocurra en 10 años pero poco probable que ocurra en 5 años

La tabla de consecuencias queda definida de la siguiente manera:

Tabla.20 Tabla consecuencia de la falla.

Categoría	Impacto en producción	Impacto económico	Impacto al personal	Impacto ambiental
5	Se dejan de producir 10000 toneladas de cemento o perdida de producción del 50%/hora	Se dejan de percibir o se pierden 3 mil millones COP	Muerte o incapacidad total o parcial de 1 o más colaboradores	Derrame de aceites mayores a 55 gl a fuentes hídricas o suelos y polución mayor a 50 micro gramos/m3
4	Se deja de producir 5000 toneladas de cemento 35%/hora	Se dejan de percibir o se pierden 1,5 mil millones COP	Incapacidad parcial o permanente de con pérdida de miembros de 1 o más colaboradores	Polución en planta de 50 micro gramos/m3 o derrames de aceite de 55 gl
3	Se dejan de producir 3000 toneladas de cemento o perdida de eficiencia de 25%/hora	Se dejan de percibir o se pierden 900 millones COP	Heridas o daños a una persona que puede dar incapacidad de varios días	polución en planta de 40 micro gramos/m3 o derrames de aceite de 30 gl
2	Se dejan de producir 1000 toneladas de cemento o perdida de eficiencia de 15%/hora	Se dejan de percibir o se pierden 300 millones COP	Lesiones a 1 colaborador sin incapacidad	Polución en planta de 20 micro gramos/m3 o derrames de aceites de 10 gl.
1	Se dejan de producir 500 toneladas de cemento o menos, o perdidas de eficiencia de 5%/hora	Se dejan de percibir o se pierden 150 millones COP o menos	No tiene incidencia en los trabajadores	No tiene efectos a largo plazo en el medio ambiente

La evaluación de los activos queda de la siguiente manera:

Tabla.21 Tabla análisis de criticidad.

Evaluacion de los equipos							
Equipo	Frecuencia	Cons. Produc	Cons. Econom	Cons. Pers	Cons. Ambien	Total	Observaciones
CTEC01	4	3	3	2	1	36	Daño de cadena despues de año y medio de operación
CTVT01	2	1	1	2	3	14	No hay reporte de daños
CTBG01	2	2	1	1	1	10	No hay reporte de daños
CTVQ01	4	3	3	1	1	32	Daño en el acople despues de año y medio de operación
CTMV01	4	4	5	1	1	44	Daño en motor (escobillas) despues de 1 año de operación
CTSD01	2	4	4	2	1	22	No hay reporte de daños
CTUH01-1	2	2	2	1	2	14	No hay reporte de daños
CTUH01-2	2	2	2	1	2	14	No hay reporte de daños
CTUH02	2	2	1	1	2	12	No hay reporte de daños
CTLU01	4	3	3	1	2	36	Se tapa la unidad de intercambio despues de año y medio de operación
CTVT03	2	3	3	1	1	16	No hay reporte de daños
CTSI01	2	2	1	1	1	10	No hay reporte de daños
CTBT01	2	3	3	1	1	16	No hay reporte de daños
CTVT05	2	3	3	1	1	16	No hay reporte de daños
CTVT02	4	4	4	2	1	44	Daño en el eje despues de año y medio de operación
CHILLER	5	2	2	1	2	35	El chiller no refrigera lo suficiente y la falla es constante
MTBT05	2	3	3	1	1	16	No hay reporte de daños
CTSI02	4	2	1	1	1	20	Se daña la bomba después de 2 años de operación

De acuerdo al análisis de criticidad la prioridad en las inspecciones de mantenimiento basado en condición (MBC) se define de la siguiente manera:

- Equipos Críticos: CTEC01, CTVQ01, CTMV01, CTLU01, CTVT02, Chiller.
- Equipos de criticidad moderada: CTSD01, CTSI02.
- Equipos no críticos: CTVT01, CTBG01, CTUH01-01, CTUH01-02, CTUH02, CTVT03, CTSI01, CTBT01, CTVT05, MTBT05.

3.3.IDENTIFICACION DE LOS MODOS DE FALLO PARA SELECCIÓN DEL TIPO DE MANTENIMIENTO

Se revisa cada equipo enunciado en el punto 2.1 donde se evalúan sus principales componentes de desgaste (según manual) que pueda llevar a la suspensión de la función total o parcial del equipo (falla), se describen en el siguiente cuadro por cada equipo y se sugiere el tipo de mantenimiento más adecuado basados en la naturaleza de la operación del componente y de las experiencias recolectadas de los técnicos mecánicos y eléctricos de la planta.

Los elementos de condición de falla y desgaste principales en los equipos que se incluyen en el análisis son los siguientes:

- Rodamientos.
- Aislamiento.
- Alimentación.
- Piñones.
- Backstop.
- Correas.
- Poleas.
- Chumacera.

- Cuña.
- Elastómeros.
- Escobillas.
- Pats.
- Impulsor.
- Rotex.

Los tipos de mantenimiento que se sugieren en la tabla son los siguientes:

Mantenimiento basado en condición (CBM): Se sugiere este tipo de mantenimiento cuando se determina que el tipo de daño puede ser diagnosticado con anterioridad con alguna de las técnicas de CBM como lo son Vibraciones, termografía, análisis de aceite, ultrasonido o medición de resistencia (impedancia).

Mantenimiento preventivo: Se sugiere este mantenimiento cuando el tipo de daño es difícil de determinar por alguna de las técnicas de CBM, pero el fabricante da un tiempo de vida útil al componente o se puede controlar la condición mediante inspecciones visuales o ajustes programados en los mantenimientos.

Correr a Falla: Se sugiere esta técnica cuando el tipo de fallo no se puede determinar con una técnica predictiva ni con una inspección o ajuste preventivo, en este caso se propone un plan de acción en el momento de la falla (correctivo planeado) disminuyendo el impacto de este evento.

En el siguiente cuadro también se define unas probabilidades de falla basado principalmente en las experiencias de los técnicos de mantenimiento mecánico y eléctrico, y en los documentos históricos de fallo en planta.

Cuadro.1 Relación equipo con componente de falla, mantenimiento y probabilidad

EQUIPO	COMPONENTES	TIPO DE DAÑO	TIPO DE MANTENIMIENTO	PROBABILIDAD DE FALLA
CTECT01	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
	REDUCTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		PIÑONES	CBM	BAJA
		BACKSTOP	FALLA	ALTA
	TRANSMISION	CORREAS	CBM	ALTA
		POLEAS	PREVENTIVO	BAJA
	SOPORTES	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
CHUMACERA		CBM	MEDIA	
CTVT01	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
	SOPORTE PDN	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		CHUMACERA	CBM	MEDIA
	TRANSMISION	CORREAS	CBM	ALTA
		POLEAS	PREVENTIVO	BAJA
CTBG01	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
	REDUCTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		PIÑONES	CBM	BAJA
	TRANSMISION	CUÑA	FALLA	BAJA
	SOPORTES	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		CHUMACERA	CBM	MEDIA
CTVQ01	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
	REDUCTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		PIÑONES	CBM	BAJA
	TRANSMISION	ELASTOMEROS	PREVENTIVO	MEDIA
	SOPORTES	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
CHUMACERA		CBM	MEDIA	
CTMV01	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ESCOBILLAS	PREVENTIVO	ALTA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
	REDUCTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		PATS	CBM	BAJA
		PIÑONES	CBM	BAJA
	TRANSMISION	ELASTOMEROS	PREVENTIVO	MEDIA

EQUIPO	COMPONENTES	TIPO DE DAÑO	TIPO DE MANTENIMIENTO	PROBABILIDAD DE FALLA
CTSD01	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
	REDUCTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		PIÑONES	CBM	BAJA
	TRANSMISION	ELASTOMEROS	PREVENTIVO	MEDIA
	BOMBA	IMPULSOR	CBM	BAJA
RODAMIENTOS		CBM	ALTA	
SOPORTES	RODAMIENTOS	CBM	ALTA	
CTUH01-1	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
	BOMBA	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		IMPULSOR	CBM	BAJA
TRANSMISION	ROTEX	PREVENTIVO	MEDIA	
CTUH01-2	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
	BOMBA	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		IMPULSOR	CBM	BAJA
TRANSMISION	ROTEX	PREVENTIVO	MEDIA	
CTUH02	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
	BOMBA	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		IMPULSOR	CBM	BAJA
TRANSMISION	ROTEX	PREVENTIVO	MEDIA	
CTLU01	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
	BOMBA	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		IMPULSOR	CBM	BAJA
TRANSMISION	ROTEX	PREVENTIVO	MEDIA	
CTVT03	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
CTSI01	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
	BOMBA	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		IMPULSOR	CBM	BAJA
TRANSMISION	ROTEX	PREVENTIVO	MEDIA	

EQUIPO	COMPONENTES	TIPO DE DAÑO	TIPO DE MANTENIMIENTO	PROBABILIDAD DE FALLA
CTBT01	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
	REDUCTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		PIÑONES	CBM	BAJA
		BACKSTOP	FALLA	ALTA
	TRANSMISION	CORREAS	CBM	ALTA
		POLEAS	PREVENTIVO	BAJA
	SOPORTES	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
CHUMACERA		CBM	MEDIA	
CTVT05	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
CTVT02	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
	SOPORTES	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		CHUMACERA	CBM	MEDIA
	TRANSMISION	ELASTOMEROS	PREVENTIVO	MEDIA
CHILLER	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
	COMPERSOR	IMPULSOR	CBM	BAJA
		RODAMIENTOS	CBM	ALTA
	TRANSMISION	ELASTOMEROS	PREVENTIVO	MEDIA
MTBT05	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
	REDUCTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		PIÑONES	CBM	BAJA
		BACKSTOP	FALLA	ALTA
	TRANSMISION	CORREAS	CBM	ALTA
		POLEAS	PREVENTIVO	BAJA
	SOPORTES	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		CHUMACERA	CBM	MEDIA
CTSI02	MOTOR	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		AISLAMIENTO	CBM	MEDIA
		ALIMENTACION	CBM	BAJA
	BOMBA	RODAMIENTOS	CBM	ALTA
		IMPULSOR	CBM	BAJA
	TRANSMISION	ROTEX	PREVENTIVO	MEDIA

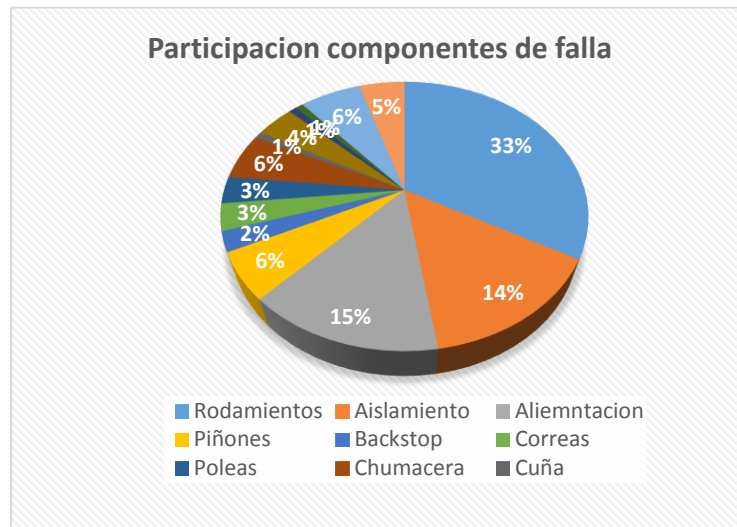
Con la información recolectada en el cuadro anterior se realiza el siguiente análisis sobre el tipo de daño del equipo:

Tabla.22 Porcentaje de tipo de daño en equipos.

TIPO DE DAÑO	TOTAL EN COMPONENTES	% PARTICIPACION
Rodamientos	41	33%
Aislamiento	18	15%
Alimentación	18	15%
Piñones	7	6%
Backstop	3	2%
Correas	4	3%
Poleas	4	3%
Chumacera	7	6%
Cuña	1	1%
Elastómeros	5	4%
Escobillas	1	1%
Pats	1	1%
Impulsor	8	6%
Rotex	6	5%
TOTAL	124	100%

En la tabla anterior se observa que el tipo de daño (o elemento de falla) con mayor presencia en todos los equipos de la lista son los rodamientos, seguido por problemas de aislamiento y alimentación propios de los sistemas electromotrices. Con esta información se reconoce cuáles son los principales componentes que se debe tener un control riguroso basado en diagnóstico para evitar fallos. Para mostrar mejor la distribución de los tipos de elementos de fallo se realiza el siguiente gráfico:

Figura. 22 Participación componentes de falla



Basados en el cuadro de información anterior también se extraen datos sobre la participación del mantenimiento CBM y preventivo en estos elementos de falla y su probabilidad de ocurrencia.

Tabla.23 Participación de los mantenimientos en la molienda.

TIPO DE MTTO	TOTAL EN COMPONENTES	%PARTICIPACION
CBM	104	84%
Preventivo	16	13%
Falla	4	3%
TOTAL	124	100%

Como podemos observar en la tabla anterior un 84% de los componentes de fallo de los equipos pueden ser diagnosticados con algún tipo de medida o tecnología CBM, y el 16% restante se distribuye en preventivos y correctivos programados.

Tabla.24 Probabilidades de falla.

PROB DE FALLA	TOTAL EN COMPONENTES	% PARTICIPACION
ALTA	49	40%
MEDIA	36	29%
BAJA	39	31%
TOTAL	124	100%

Debido que los rodamientos son descritos por la experiencia de los técnicos como por la información de fallos en mantenimiento con alta probabilidad de falla y estos elementos se encuentran instalados en la mayoría de los equipos analizados, nos da una probabilidad de falla del 40% presente en la molienda de cemento producto de estos elementos, así que estos componentes serán el objetivo principal del CBM para controlar esta condición.

Con la información obtenida se concluye que el tipo de mantenimiento principal para los equipos analizados es el CBM, ya que monitorea la mayoría de condiciones de fallo de los equipos.

3.4. IDENTIFICACION DE LOS PARAMETROS A MEDIR Y CRITERIOS DE ALARMA

3.4.1. IDENTIFICACION DE PARAMETROS A MEDIR

Para la identificación de los parámetros a medir y elegir los métodos de medición más adecuados para los equipos se utilizara un gráfico tipo jerarquía para cada uno de los modos de falla descritos anteriormente, con el fin de describir para cada falla que tipo de síntoma genera antes de ocurrir el daño y como se puede controlar ese síntoma por medio de una técnica de mantenimiento basado en condición, preventiva o qué medio de contingencia se tendrá en los casos que se corre a falla.

El diagrama está compuesto de 3 niveles de jerarquía descritos de la siguiente manera:

- Primer nivel (cabeza de la jerarquía): Se escribe el nombre de la falla o del elemento de desgaste.
- Segundo nivel (nivel medio de la jerarquía): se escriben los síntomas o las posibles causas de la falla.
- Tercer nivel (Nivel bajo de la jerarquía): Se escribe la técnica de diagnóstico con la que se puede monitorear la condición.

Figura.23 Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.

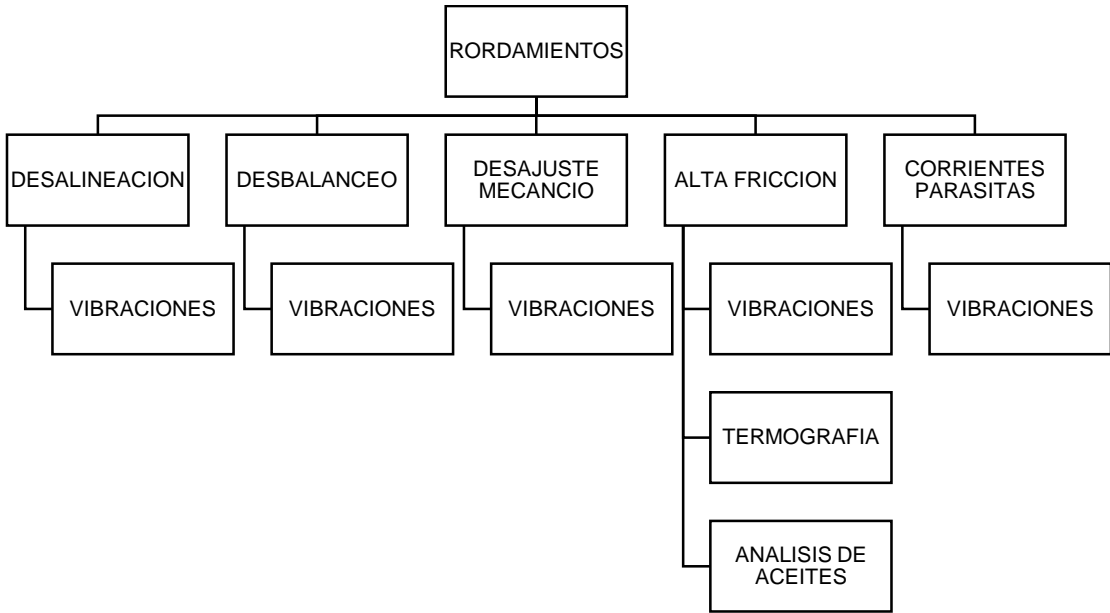


Figura.24 Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.

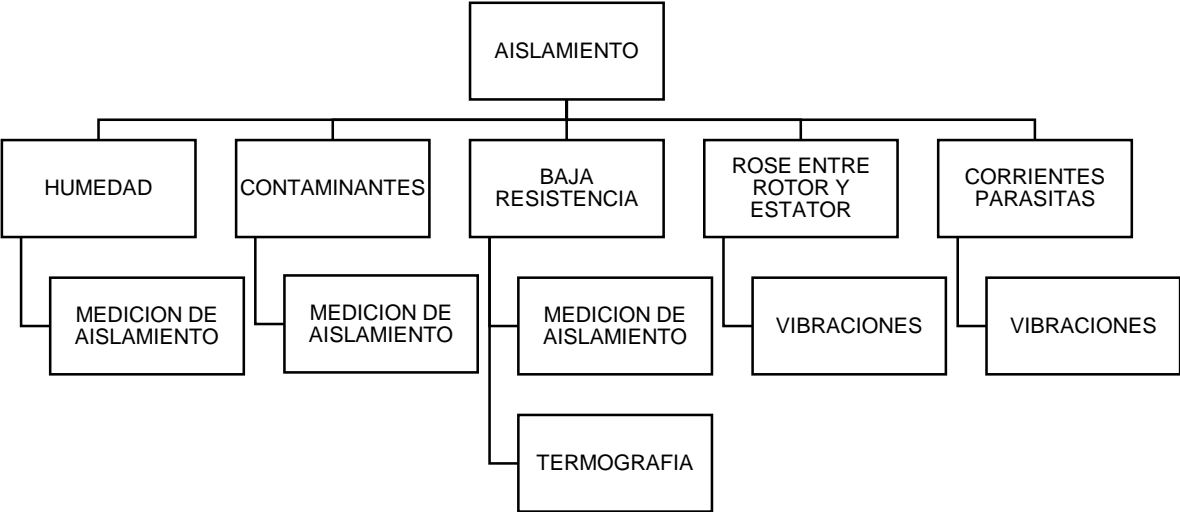


Figura.25 Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.

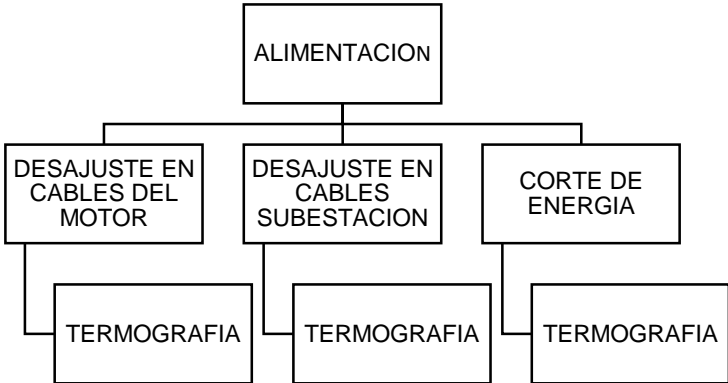


Figura.26 Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.

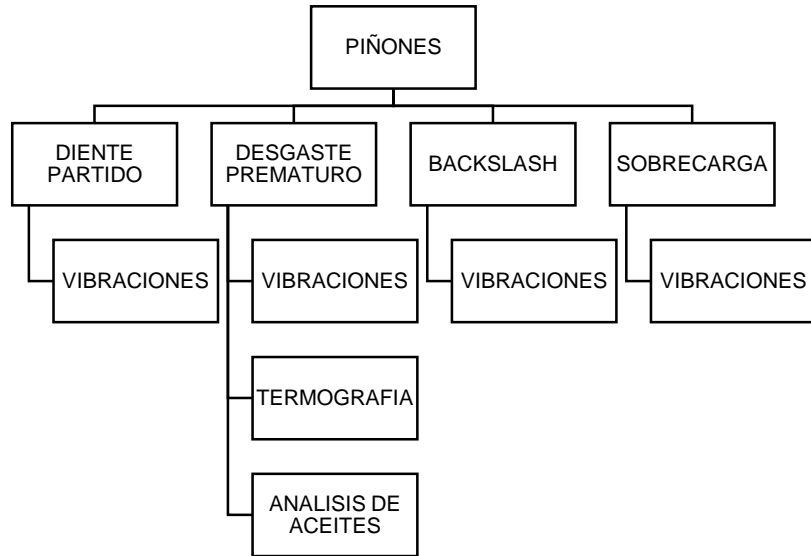


Figura.27 Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.

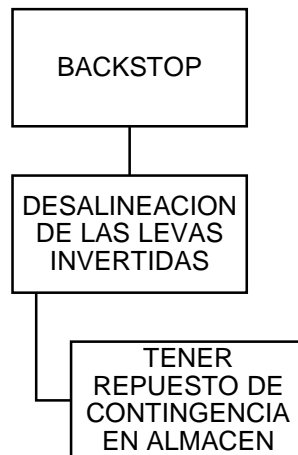


Figura.28 Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.



Figura.29 Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.

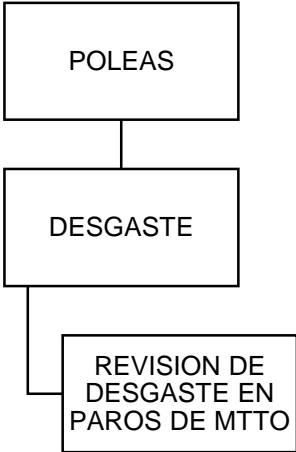


Figura.30 Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.

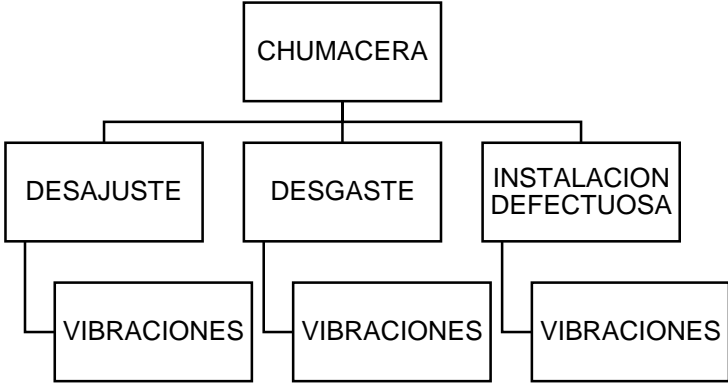


Figura.31 Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.

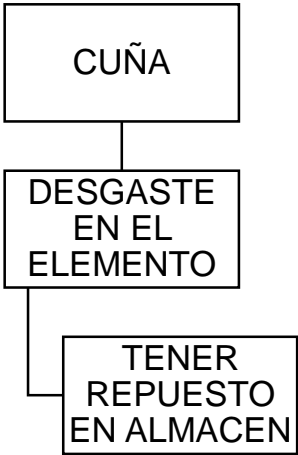


Figura.32 Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.

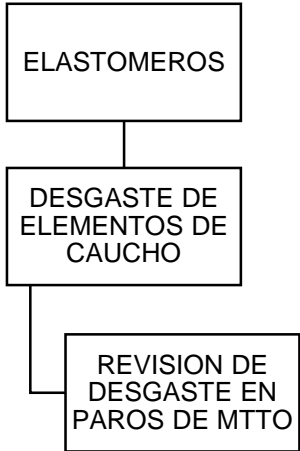


Figura.33 Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.

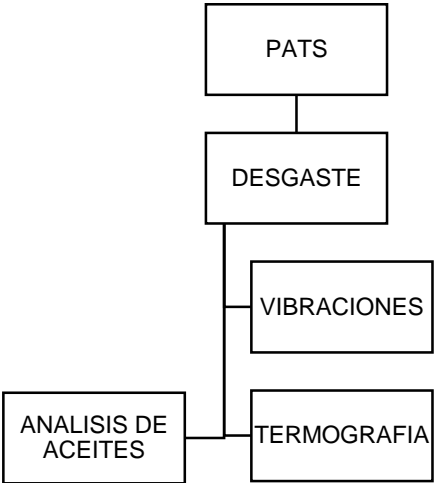


Figura.34 Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.

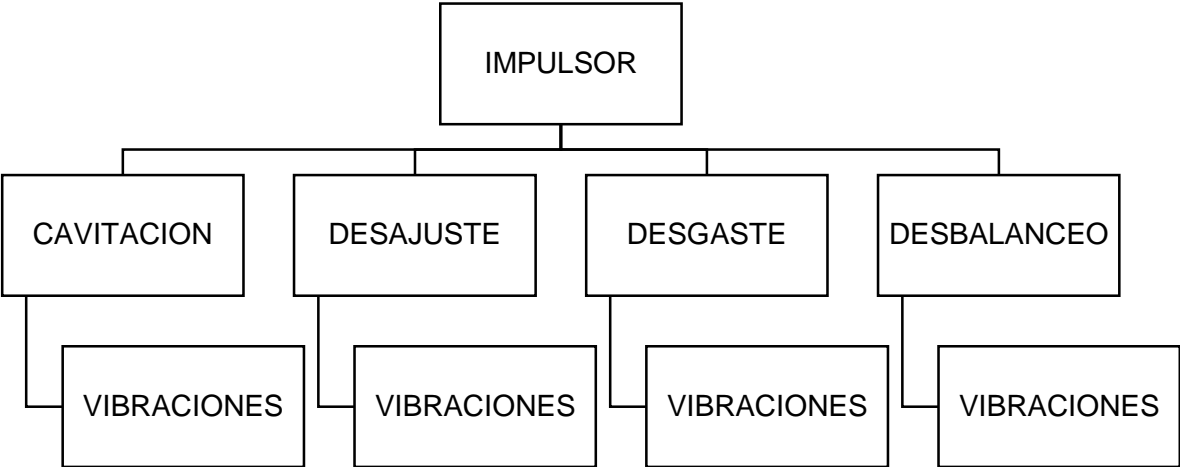
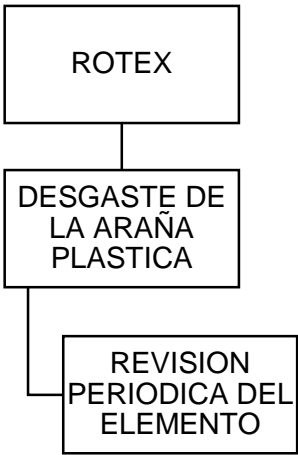


Figura.35 Jerarquía síntomas de modo de falla y técnicas de diagnóstico.

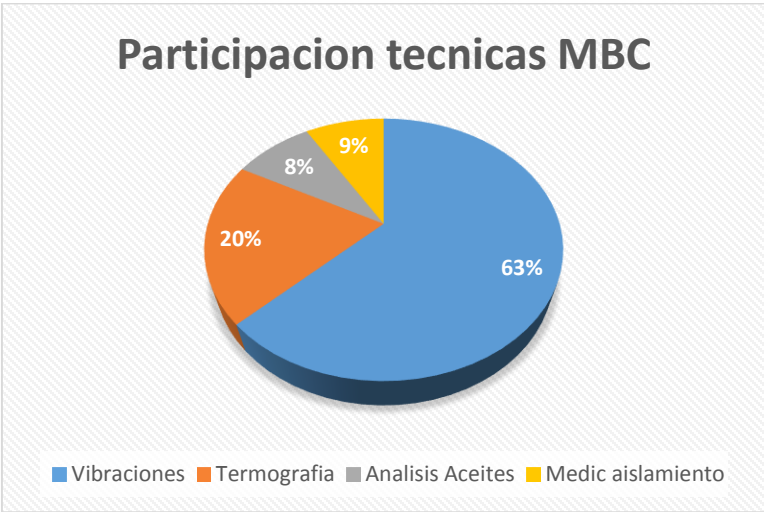


Con las jerarquías se realiza un resumen donde se observan los principales métodos para el diagnóstico de los síntomas de las fallas, y la participación global de cada método de MBC.

Tabla.25 Porcentaje de participación de los métodos CBM.

Método	Participación	Porcentaje
Vibraciones	22	63%
Termografía	7	20%
Análisis Aceites	3	9%
Medic aislamiento	3	9%
TOTAL	35	100%

Figura.36 Participación técnicas CBM.



De acuerdo a la tabla anterior, se deduce que la técnica que puede diagnosticar la mayoría de los síntomas de las fallas es Vibraciones, con una participación del 63% seguido por Termografía con un 20% y por último análisis de aceite y

medición de aislamiento con un 9%, esto indica que el principal método en el cual se debe hacer especial énfasis es en Vibraciones.

3.4.2. CRITERIOS DE ALARMA

Los criterios de alarma se determinan de acuerdo a la naturaleza del equipo y del proceso que realiza, además se toma una referencia de los límites sugeridos por la norma 10816-3 de vibraciones⁸, y los manuales del equipo donde especifican la temperatura de los reductores⁹ que debe manejar.

Cuadro.2 Clasificación niveles de vibración ISO 10816-3.

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816					
Machine		Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
in/s	mm/s				
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28			
	0.02	0.45			
	0.03	0.71	good		
	0.04	1.12			
	0.07	1.80			
	0.11	2.80	satisfactory		
	0.18	4.50			
	0.28	7.10	unsatisfactory		
	0.44	11.2			
	0.70	18.0			
	0.71	28.0	unacceptable		
	1.10	45.0			

⁸ ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE ESTANDARIZACION, Referencias bibliográficas para normas, 1998, 1 p. (ISO 10816-3).

⁹ Rexnord Industries, Gear Group, Manual reductores de velocidad Falk, Milwaukee, 1995 5.p.

Tabla.26 Especificación de aceites y temperaturas reductores Falk (Temperatura normal 30°C por encima de ambiente).

Lubricantes R & O con base de petróleo para engranajes
(Temperatura máxima de operación del lubricante 93°C(200°F))

Grado de viscosidad AGMA	1	2	3	4	5	6	7	
Grado de viscosidad ISO	46	68	100	150	220	320	460	
Viscosidad	cSt @ 40°C	41.4-50.6	61.2-74.8	90-110	135-165	198-242	288-352	414-506
	SSU @ 100°F	193-235	284-347	417-510	626-765	918-1122	1335-1632	1919-2346
Fabricante	Lubricante	Lubricante	Lubricante	Lubricante	Lubricante	Lubricante	Lubricante	
Amer. Ind. Oil Co. BP Oil Co. Chevron U.S.A., Inc. Gtgo Petroleum Corp.	Amer. Ind. Oil 46 Turbinol T-46 Hydraulic Oil AW 46 Gtgo Pacemaker 46	Amer. Ind. Oil 68 Turbinol T-68 Hydraulic Oil AW 68 Gtgo Pacemaker 68	Amer. Ind. Oil 100 Turbinol T-100 Machine Oil AW 100 Gtgo Pacemaker 100	Amer. Ind. Oil 150 ----- Machine Oil AW 150 Gtgo Pacemaker 150	Amer. Ind. Oil 220 Energal HEP-HD 220 Machine Oil AW 220 Gtgo Pacemaker 220	Amer. Ind. Oil 320 ----- Machine Oil AW 320 Gtgo Pacemaker 320	Amer. Ind. Oil 460 ----- ----- Gtgo Pacemaker 460	
Conoco Inc. Exxon Co., U.S.A. Houghton International Inc. Imperial Oil Ltd.	Dectol R & O Oil 46 Teresatic 46 Hydro-Drive HP-200 Tereso 46	Dectol R & O Oil 68 Teresatic 68 Hydro-Drive HP-300 Tereso 68	Dectol R & O Oil 100 Teresatic 100 Hydro-Drive HP-500 Tereso 100	Dectol R & O Oil 150 Teresatic 150 Hydro-Drive HP-750 Tereso 150	Dectol R & O Oil 220 Teresatic 220 Hydro-Drive HP-1000 Tereso 220	Dectol R & O Oil 320 Teresatic 320 ----- Tereso 320	Dectol R & O Oil 460 Teresatic 460 ----- -----	
Kendall Refining Co. Keystone Lubricants Lyondell Petrochemical (ARCO) Mobil Oil Corp.	Kendall R & O AW 46 KLC-15 Dura 46 DTE Oil Medium	Kendall R & O AW 68 KLC-20 Dura 68 DTE Oil Heavy	Kendall R & O AW 100 KLC-30 Dura 100 DTE Oil Heavy	Four Seasons AW 150 KLC-40 Dura 150 DTE Oil Extra Heavy	----- KLC-50 Dura 220 DTE Oil 88	----- ----- Dura 320 DTE Oil AA	----- ----- ----- DTE Oil HH	
Petro-Canada Prod. Phillips 66 Co. Shell Oil Co. Shell Canada Ltd.	Harmony 46 Magnus Oil 46 Turbo 146 Tellus 46	Harmony 68 Magnus Oil 68 Turbo 168 Tellus 68	Harmony 100 Magnus Oil 100 Marlina 100 Tellus 100	Harmony 150 or 1500 Magnus Oil 150 Marlina 150 Tellus 150	Harmony 220 Magnus Oil 220 Marlina 220 Tellus 220	Harmony 320 Magnus Oil 320 Marlina 320 Tellus 320	----- ----- Marlina 460 -----	
Tosco Lubricants Unocal 76 (East) Unocal 76 (West) Valvoline Oil Co.	Royal Oil R & O 46 Unox RX 46 Turbine Oil 46 Valvoline AW 150 46	Royal Oil R & O 68 Unox RX 68 Turbine Oil 68 Valvoline AW 150 68	Royal Oil R & O 100 Unox RX 100 Turbine Oil 100 Valvoline AW 150 100	Royal Oil R & O 150 Unox RX 150 Turbine Oil 150 Valvoline AW 150 150	Royal Oil R & O 220 Unox RX 220 Turbine Oil 220 Valvoline AW 150 220	Royal Oil R & O 320 Unox AW 320 Turbine Oil 320 Valvoline AW 150 320	Royal Oil R & O 460 Turbine Oil 460 Turbine Oil 460 -----	

También se revisan las tablas de aislamiento¹⁰ que debe tener los motores, y en el caso del análisis de aceite¹¹ se toman las referencias iniciales recomendadas por el laboratorio donde se analiza el lubricante.

Cuadro.3 Niveles de ppm en aceites de los equipos mecánicos.

Metales	Turbinas de vapor	Turbinas de gas	Sistemas Hidráulicos	Reductores	Sistemas de Circulación
Silicio	15	15	15	25	20
Fierro	30	15	50	150	50
Cobre	>12	15	>12	>12	>12

¹⁰ Reliability Web, Prueba de aislamiento de motor eléctrico a tierra, 2017.

¹¹ Exxon Mobil, Interpretación análisis de aceites, 2002, 55.p.

Cuadro.4 Estándar con valores de aislamiento eléctrico en embobinados.

Resistencia de aislamiento mínima a 1	Devanado que esta siendo probado
kV + 1MegOhms	La mayoría de devanados fabricados después de 1970
100 MegOhms	Estrator después de 1970
5 MegOhms	Estator al azar de menos de 1000 volts después de 1970

El siguiente cuadro muestra los niveles de alarma iniciales para los equipos de la molinera de cemento.

Cuadro.5 Niveles de alarma según el equipo y la técnica CBM usada.

Equipo		Criterios de alarma						
		Vibraciones		Mecanico	Termografia °C		Analisis de aceites PPM	Aislamiento M ohm
mm/seg	G	Electrico	mechanico		Electrico ΔT			
CTECT01	MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia		5
		2,80	2		80	5°C de diferencia		3
		4,50	5		100	10°C de diferencia		1
	REDUCTOR	1,80	0,5	60			< 12 ppm	
		2,80	1,5	75			30 ppm	
		4,50	2,5	93			>50 ppm	
	TRANSMISION	1,80						
		2,80						
		4,50						
	SOPORTES	1,80	0,5	60				
		2,80	2	75				
		4,50	5	93				
CTVT01	MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia		5
		2,80	2		80	5°C de diferencia		3
		4,50	5		100	10°C de diferencia		1
	SOPORTE PDN	1,80	0,5	60				
		2,80	2	75				
		4,50	5	93				
	TRANSMISION	1,80						
		2,80						
		4,50						
CTBG01	MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia		5
		2,80	2		80	5°C de diferencia		3
		4,50	5		100	10°C de diferencia		1
	REDUCTOR	1,80	0,5	60			< 12 ppm	
		2,80	1,5	75			30 ppm	
		4,50	2,5	93			>50 ppm	
	TRANSMISION	1,80						
		2,80						
		4,50						
	SOPORTES	1,80	0,5	60				
		2,80	2	75				
		4,50	5	93				

Criterios de alarma									
Equipo		Vibraciones		Termografia °C			Analisis de aceites	Aislamiento	
		mm/seg	G	Mecanico	Electrico mecanico	Electrico ΔT	PPM	M ohm	
CTVQ01	MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia		5	
		2,80	2		80	5°C de diferencia		3	
		4,50	5		100	10°C de diferencia		1	
	REDUCTOR	1,80	0,5	60			< 12 ppm		
		2,80	1,5	75			30 ppm		
		4,50	2,5	93			>50 ppm		
	TRANSMISION								
	SOPORTES	1,80	0,5	60					
		2,80	2	75					
		4,50	5	93					
	CTMV01	MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia		10
			2,80	2		80	5°C de diferencia		5
4,50			5		100	10°C de diferencia		3	
REDUCTOR		1,80	0,5				< 12 ppm		
		2,80	1,5				30 ppm		
		3,50	2,5				>50 ppm		
TRANSMISION									
CTSD01		MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia		5
			2,80	2		80	5°C de diferencia		3
	4,50		5		100	10°C de diferencia		1	
	REDUCTOR	1,80	0,5	60			< 12 ppm		
		2,80	1,5	75			30 ppm		
		4,50	2,5	93			>50 ppm		
	TRANSMISION								
	BOMBA	1,80	0,5		60	3°C de diferencia		5	
		2,80	2		80	5°C de diferencia		3	
		4,50	5		100	10°C de diferencia		1	
	SOPORTES	1,80	0,5	60					
		2,80	2	75					
		4,50	5	93					
	CTUH01-1	MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia		5
			2,80	2		80	5°C de diferencia		3
4,50			5		100	10°C de diferencia		1	
BOMBA		1,80	0,5	60			< 12 ppm		
		2,80	2	75			30 ppm		
		4,50	5	93			>50 ppm		
TRANSMISION									
CTUH01-2		MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia		5
			2,80	2		80	5°C de diferencia		3
	4,50		5		100	10°C de diferencia		1	
	BOMBA	1,80	0,5	60			< 12 ppm		
		2,80	2	75			30 ppm		
		4,50	5	93			>50 ppm		
	TRANSMISION								
	CTUH02	MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia		5
			2,80	2		80	5°C de diferencia		3
4,50			5		100	10°C de diferencia		1	
BOMBA		1,80	0,5	60			< 12 ppm		
		2,80	2	75			30 ppm		
		4,50	5	93			>50 ppm		
TRANSMISION									

Criterios de alarma								
Equipo		Vibraciones		Termografia °C			Analisis de aceites	Aislamiento
		mm/seg	G	Mecanico	Electrico mecanico	Electrico ΔT	PPM	Mohm
CTLU01	MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia		5
		2,80	2		80	5°C de diferencia		3
		4,50	5		100	10°C de diferencia		1
	BOMBA	1,80	0,5	60			< 12 ppm	
		2,80	2	75			30 ppm	
		4,50	5	93			>50 ppm	
TRANSMISION								
CTVT03	MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia		5
		2,80	2		80	5°C de diferencia		3
		4,50	5		100	10°C de diferencia		1
CTSI01	MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia		5
		2,80	2		80	5°C de diferencia		3
		4,50	5		100	10°C de diferencia		1
	BOMBA	1,80	0,5	60				
		2,80	2	75				
		4,50	5	93				
TRANSMISION								
CTBT01	MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia		5
		2,80	2		80	5°C de diferencia		3
		4,50	5		100	10°C de diferencia		1
	REDUCTOR	1,80	0,5	60			< 12 ppm	
		2,80	1,5	75			30 ppm	
		4,50	2,5	93			>50 ppm	
	TRANSMISION	1,80						
		2,80						
		4,50						
	SOPORTES	1,80	0,5	60				
		2,80	2	75				
		4,50	5	93				
CTVT05	MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia		5
		2,80	2		80	5°C de diferencia		3
		4,50	5		100	10°C de diferencia		1
CTVT02	MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia		10
		2,80	2		80	5°C de diferencia		5
		4,50	5		100	10°C de diferencia		3
	SOPORTES	1,80	0,5	60				
		2,80	2	75				
		4,50	5	93				
TRANSMISION								
CHILLER	MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia		5
		2,80	2		80	5°C de diferencia		3
		4,50	5		100	10°C de diferencia		1
	COMPERSOR	1,80	3	75				
		2,80	5	85				
		4,50	10	105				
TRANSMISION								

Criterios de alarma								
Equipo	Vibraciones		Termografia °C			Analisis de aceites PPM	Aislamiento Mohm	
	mm/seg	G	Mecanico	Electrico mecanico	Electrico ΔT			
MTBT05	MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia	5	
		2,80	2		80	5°C de diferencia	3	
		4,50	5		100	10°C de diferencia	1	
	REDUCTOR	1,80	0,5	60			< 12 ppm	
		2,80	1,5	75			30 ppm	
		4,50	2,5	93			>50 ppm	
	TRANSMISION	1,80						
		2,80						
		4,50						
	SOPORTES	1,80	0,5	60				
		2,80	2	75				
		4,50	5	93				
CTSIO2	MOTOR	1,80	0,5		60	3°C de diferencia	5	
		2,80	2		80	5°C de diferencia	3	
		4,50	5		100	10°C de diferencia	1	
	BOMBA	1,80	0,5	60				
		2,80	2	75				
		4,50	5	93				
	TRANSMISION							

Los colores de la tabla tienen el siguiente significado:

- Normal El equipo no posee condiciones anormales
- Alerta El equipo debe ser reparado en próximo paro de mantenimiento.
- Alarma El equipo está en una condición crítica, se requiere reparar en el acto.

3.5. SELECCIÓN DE PUNTOS A MEDIR Y FRECUENCIAS DE MEDIDA

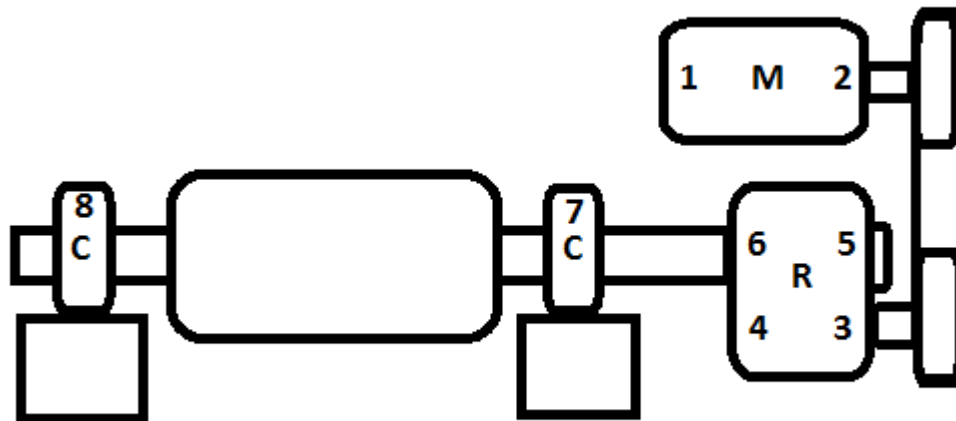
3.5.1. SELECCIÓN DE PUNTOS A MEDIR

Puntos de medición de vibraciones, temperaturas mecánicas y pruebas de aceite de acuerdo a la configuración de los equipos de molienda de cemento.

La nomenclatura que se maneja para identificar los equipos es Motor (M), Reductor (R), Chumacera (C) y Bomba (B).

Elevadores y bandas transportadoras (CTEC01, CTBT01, MTBT05):

Figura.37 Esquemático de la transmisión de una banda con puntos de medida.



Las mediciones recomendadas son las siguientes:

Motor punto 1 (M1): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Motor punto 2 (M2): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Reductor punto 3 (R3): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Reductor Punto 4 (R4): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Reductor Punto 5 (R5): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de baja velocidad (500 mV/g), ya que en esta etapa es la salida del reductor lo cual la velocidad es reducida para ganar torque.

Reductor Punto 6 (R6): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de baja velocidad (500 mV/g), ya que en esta etapa es la salida del reductor lo cual la velocidad es reducida para ganar torque.

Chumacera punto 7 (C7): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de baja velocidad (500 mV/g).

Chumacera punto 8 (C8): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración

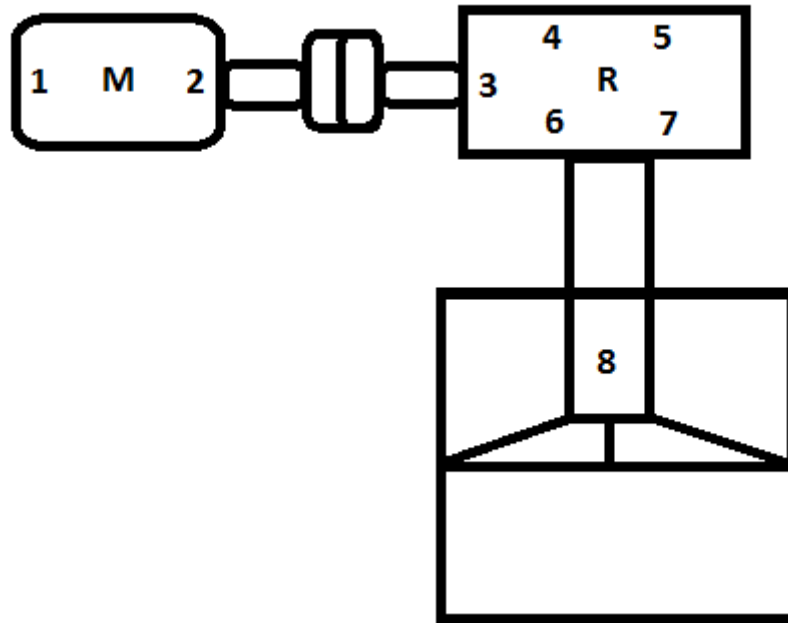
envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de baja velocidad (500 mV/g).

Medición de temperatura: Se recomienda realizar una termografía de cuerpo completo de cada componente del equipo (Motor, Reductor y Chumaceras), teniendo como referencia central la identificación del equipo en el diagrama (M, R, C) en caso de detectar temperaturas fuera de los límites establecidos anteriormente en el motor o en el reductor, se recomienda realizar una termografía más detallada y puntual especialmente en los puntos marcados 1, 2, 3, 4, 5 y 6 del motor y reductor.

Extracción prueba de aceite: Antes de la recolección de aceite se recomienda usar una bomba vampiro y todos los protocolos de seguridad y limpieza, con el fin de evitar un accidente o una prueba mal tomada. El punto de extracción del aceite está en la parte inferior entre los puntos 4 y 3 del reductor, se recomienda tomar la prueba con el equipo detenido y el aceite a temperatura ambiente.

Separador Dinámico (CTSD01):

Figura.38 Esquemático de un separador dinámico con puntos de medida.



Las mediciones recomendadas son las siguientes:

Motor punto 1 (M1): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Motor punto 2 (M2): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Reductor punto 3 (R3): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Reductor Punto 4 (R4): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Reductor Punto 5 (R5): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro convencional de (100 mV/g).

Reductor Punto 6 (R6): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de baja velocidad (500 mV/g), ya que en esta etapa es la salida del reductor lo cual la velocidad es reducida para ganar torque.

Chumacera punto 7 (C7): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de baja velocidad (500 mV/g).

Chumacera punto 8 (C8): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de baja velocidad (500 mV/g).

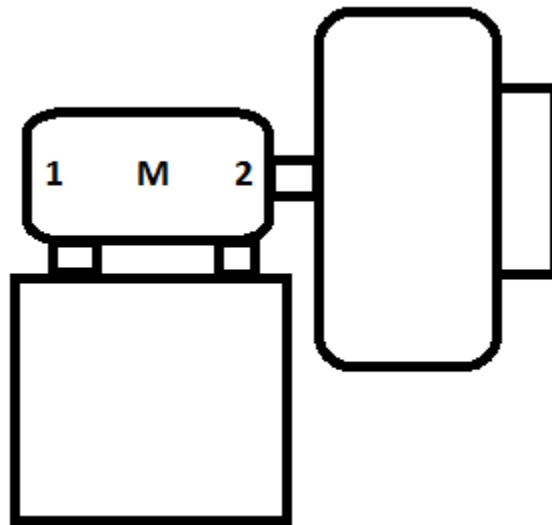
Medición de temperatura: Se recomienda realizar una termografía de cuerpo completo de cada componente del equipo (Motor y Reductor), teniendo como referencia central la identificación del equipo en el diagrama (M, R) en caso de detectar temperaturas fuera de los límites establecidos anteriormente en el motor o en el reductor, se recomienda realizar una termografía más detallada y puntual especialmente en los puntos marcados 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 del motor y reductor.

Extracción prueba de aceite: Antes de la recolección de aceite se recomienda usar una bomba vampiro y todos los protocolos de seguridad y limpieza, con el fin de

evitar un accidente o una prueba mal tomada. El punto de extracción del aceite está en la parte inferior entre los puntos 6 y 7 del reductor, se recomienda tomar la prueba con el equipo detenido y el aceite a temperatura ambiente.

Ventilador de acople directo (CTVT03, CTVT05):

Figura.39 Esquemático de un ventilador con puntos de medida.



Las mediciones recomendadas son las siguientes:

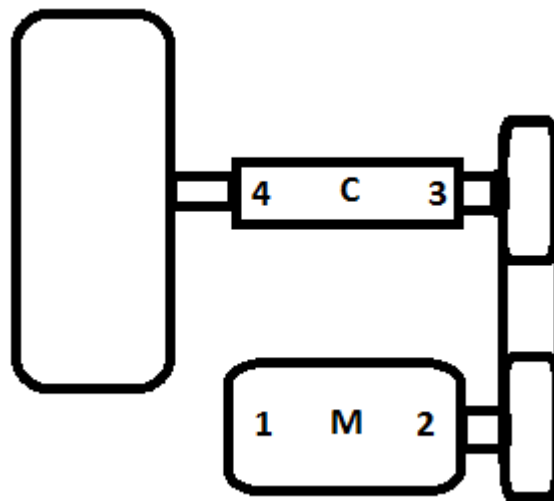
Motor punto 1 (M1): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Motor punto 2 (M2): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Medición de temperatura: Se recomienda realizar una termografía de cuerpo completo de cada componente del equipo (Motor), teniendo como referencia central la identificación del equipo en el diagrama (M) en caso de detectar temperaturas fuera de los límites establecidos anteriormente en el motor, se recomienda realizar una termografía más detallada en el punto 1 y 2.

Ventilador de transmisión por correas (CTVT01):

Figura.40 Esquemático de un ventilador de transmisión por correas con puntos de medida.



Las mediciones recomendadas son las siguientes:

Motor punto 1 (M1): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Motor punto 2 (M2): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

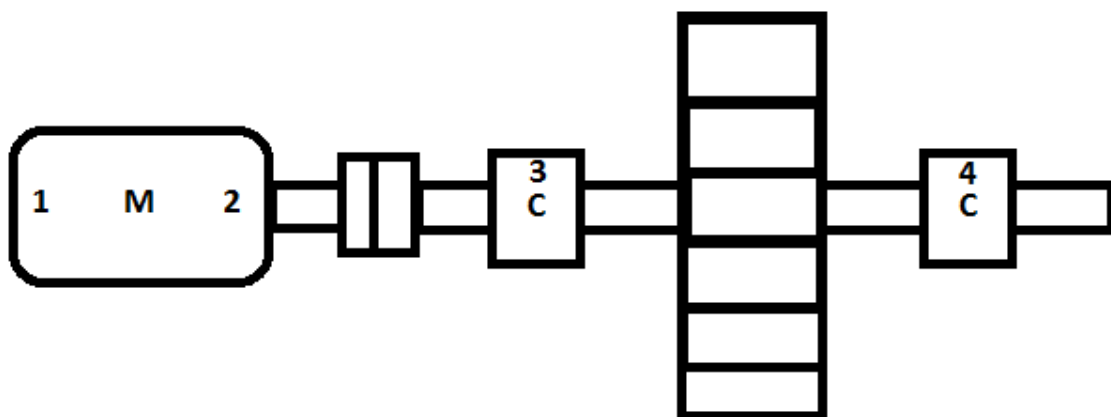
Chumacera punto 3 (C3): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Chumacera punto 4 (C4): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Medición de temperatura: Se recomienda realizar una termografía de cuerpo completo de cada componente del equipo (Motor y chumacera mono bloque), teniendo como referencia central la identificación del equipo en el diagrama (M) o (C) en caso de detectar temperaturas fuera de los límites establecidos anteriormente en el motor o chumacera, se recomienda realizar una termografía más detallada en el punto 1, 2, 3 y 4.

Ventilador de transmisión directa con doble soporte por chumaceras (CTVT02):

Figura.41 Esquemático de un ventilador con soportes de chumaceras y con puntos de medida.



Las mediciones recomendadas son las siguientes:

Motor punto 1 (M1): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Motor punto 2 (M2): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

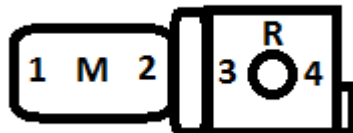
Chumacera punto 3 (C3): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Chumacera punto 4 (C4): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Medición de temperatura: Se recomienda realizar una termografía de cuerpo completo de cada componente del equipo (Motor y chumaceras), teniendo como referencia central la identificación del equipo en el diagrama (M) o (C) en caso de detectar temperaturas fuera de los límites establecidos anteriormente en el motor o chumaceras, se recomienda realizar una termografía más detallada en el punto 1, 2, 3 y 4.

Banda dosificadora Shenck (CTBG01):

Figura.42 Esquemático de un motor reductor de una banda dosificadora con puntos de medida.



Las mediciones recomendadas son las siguientes:

Motor punto 1 (M1): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Motor punto 2 (M2): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Reductor punto 3 (R3): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Reductor punto 4 (R4): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de baja velocidad (500 mV/g).

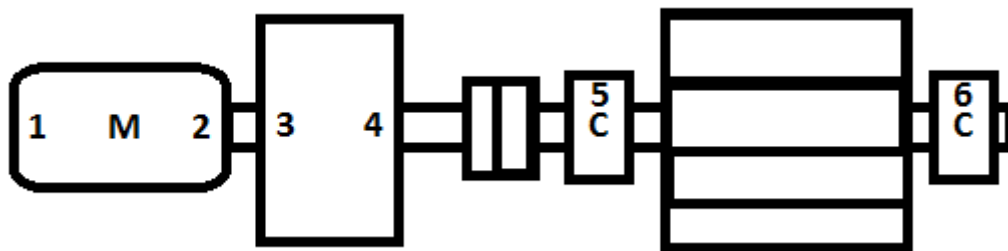
Medición de temperatura: Se recomienda realizar una termografía de cuerpo completo de cada componente del equipo (Motor y reductor), teniendo como referencia central la identificación del equipo en el diagrama (M) o (R) en caso de

detectar temperaturas fuera de los límites establecidos anteriormente en el motor o chumacera, se recomienda realizar una termografía más detallada en el punto 1, 2, 3 y 4.

Extracción prueba de aceite: Antes de la recolección de aceite se recomienda usar una bomba vampiro y todos los protocolos de seguridad y limpieza, con el fin de evitar un accidente o una prueba mal tomada. El punto de extracción del aceite está en la parte lateral del punto 4 del reductor, se recomienda tomar la prueba con el equipo detenido y el aceite a temperatura ambiente.

Válvula rotativa (CTVQ01):

Figura.43 Esquemático de una válvula rotativa con puntos de medida.



Las mediciones recomendadas son las siguientes:

Motor punto 1 (M1): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Motor punto 2 (M2): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Reductor punto 3 (R3): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Reductor punto 4 (R4): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de baja velocidad (500 mV/g).

Chumacera punto 5 (C5): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

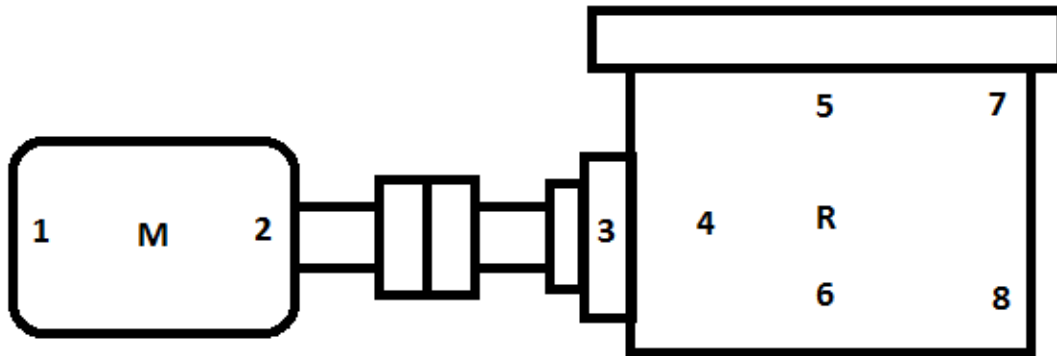
Chumacera punto 6 (C6): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Medición de temperatura: Se recomienda realizar una termografía de cuerpo completo de cada componente del equipo (Motor, reductor y chumaceras), teniendo como referencia central la identificación del equipo en el diagrama (M), (R) o (C) en caso de detectar temperaturas fuera de los límites establecidos anteriormente en el motor o reductor, se recomienda realizar una termografía más detallada en el punto 1, 2, 3 y 4.

Extracción prueba de aceite: Antes de la recolección de aceite se recomienda usar una bomba vampiro y todos los protocolos de seguridad y limpieza, con el fin de evitar un accidente o una prueba mal tomada. El punto de extracción del aceite está en la parte lateral del punto 3 del reductor, se recomienda tomar la prueba con el equipo detenido y el aceite a temperatura ambiente.

Motor reductor molino principal de cemento (CTMV01):

Figura.44 Esquemático de la transmisión molino de cemento con puntos de medida.



Las mediciones recomendadas son las siguientes:

Motor punto 1 (M1): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Motor punto 2 (M2): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Reductor punto 3 (R3): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Reductor punto 4 (R4): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración

envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de baja velocidad (500 mV/g).

Reductor punto 5 (R5): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de baja velocidad (500 mV/g).

Reductor punto 6 (R6): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de baja velocidad (500 mV/g).

Reductor punto 7 (R7): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de baja velocidad (500 mV/g).

Reductor punto 8 (R8): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de baja velocidad (500 mV/g).

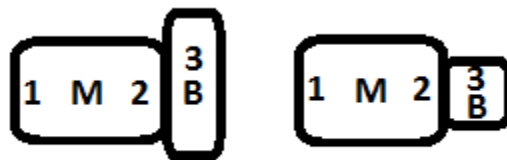
Medición de temperatura: Se recomienda realizar una termografía de cuerpo completo de cada componente del equipo (Motor y Reductor), teniendo como referencia central la identificación del equipo en el diagrama (M) y (R) en caso de detectar temperaturas fuera de los límites establecidos anteriormente en el motor o reductor, se recomienda realizar una termografía más detallada en el punto 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

Extracción prueba de aceite: Antes de la recolección de aceite se recomienda usar una bomba vampiro y todos los protocolos de seguridad y limpieza, con el fin de evitar un accidente o una prueba mal tomada. El punto de extracción del aceite

está en la parte lateral del punto 5 del reductor, se recomienda tomar la prueba con el equipo detenido y el aceite a temperatura ambiente.

Bombas unidades hidráulicas y de lubricación (CTUH01-1, CTUH01-2, CTUH02, CTLU01):

Figura.45 Esquemático de bombas hidráulicas con puntos de medida.



Las mediciones recomendadas son las siguientes:

Motor punto 1 (M1): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

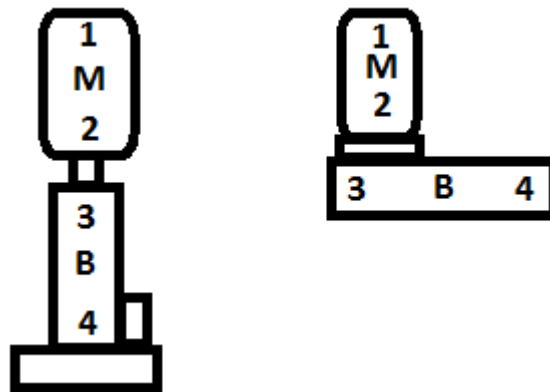
Motor punto 2 (M2): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Bomba punto 3 (B3): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Medición de temperatura: Se recomienda realizar una termografía de cuerpo completo de cada componente del equipo (Motor y Bomba), teniendo como referencia central la identificación del equipo en el diagrama (M) y (B) en caso de detectar temperaturas fuera de los límites establecidos anteriormente en el motor o bomba, se recomienda realizar una termografía más detallada en el punto 1, 2 y 3.

Sistemas de inyección de agua y de aditivo de molienda (CTSI02 Y CTSI01):

Figura.46 Esquemático de bombas de inyección de agua y aditivo con puntos de medida.



Las mediciones recomendadas son las siguientes:

Motor punto 1 (M1): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Motor punto 2 (M2): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

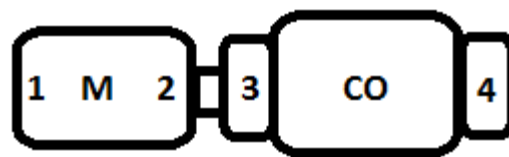
Bomba punto 3 (B3): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Bomba punto 4 (B4): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Medición de temperatura: Se recomienda realizar una termografía de cuerpo completo de cada componente del equipo (Motor y Bomba), teniendo como referencia central la identificación del equipo en el diagrama (M) y (B) en caso de detectar temperaturas fuera de los límites establecidos anteriormente en el motor o bomba, se recomienda realizar una termografía más detallada en el punto 1, 2, 3 y 4.

Sistema de refrigeración Chiller:

Figura.47 Esquemático de motor y compresor chiller con puntos de medida.



Las mediciones recomendadas son las siguientes:

Motor punto 1 (M1): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical, con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Motor punto 2 (M2): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal y vertical con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Compresor punto 3 (CO 3): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Bomba punto 4 (B4): Se debe tomar vibraciones en la posición horizontal, vertical y axial con una medida de velocidad y una en alta frecuencia (aceleración

envolvente), se recomienda para la medida un acelerómetro de uso general (100 mV/g).

Medición de temperatura: Se recomienda realizar una termografía de cuerpo completo de cada componente del equipo (Motor y compresor), teniendo como referencia central la identificación del equipo en el diagrama (M) y (CO) en caso de detectar temperaturas fuera de los límites establecidos anteriormente en el motor o bomba, se recomienda realizar una termografía más detallada en el punto 1, 2, 3 y 4.

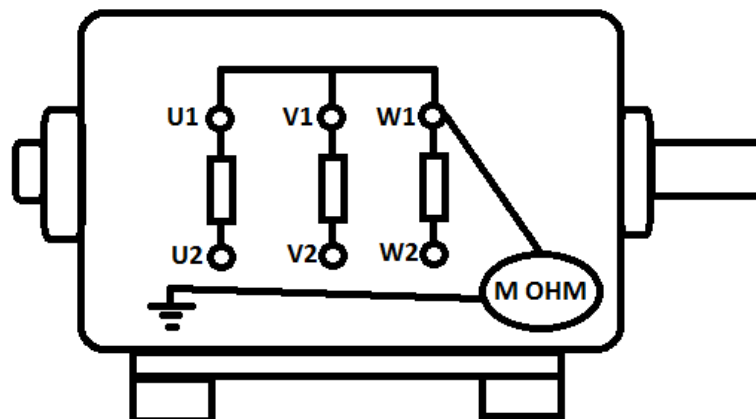
Medición de aislamiento de motores y termografía eléctrica en subestaciones:

Medición de aislamientos:

Figura.48 Foto de medida de aislamiento motor eléctrico.



Figura.49 Esquemático medida de aislamiento motor eléctrico.



Para la medición de aislamiento se usa un equipo que inyecta un voltaje dependiendo de la tensión de trabajo especificada para cada motor, en nuestro caso como son motores que trabajan a 440 V se recomienda inyectar una tensión con el equipo de 500V, y la conexión se realiza como esta en el diagrama anterior, dependiendo del tipo de prueba que se realice se estipulan los tiempos de la prueba como lo son el IP (índice de polarización) o IA (índice de absorción).

Para la inspección por termografía eléctrica usaremos como ejemplo la imagen siguiente y describiremos cada punto de análisis:

Figura.50 Foto tablero de control con puntos de medida de termografía.



Punto 1: Se recomienda revisar un tablero eléctrico de una subestación en dirección aguas abajo, iniciando con la alimentación principal del tablero, y se debe revisar tanto los cables de entrada como los de salida para verificar que no hallan sobre temperaturas en algún cable o un mal ajuste.

Punto 2: En algunos casos se puede encontrar un vidrio plástico que protege conexiones expuestas, se recomienda por seguridad conseguir un vidrio de un

material que permita pasar la radiación para obtener una termografía confiable, porque en este caso la termografía daría valores errados, además para barras que este descubiertas se recomienda recubrirlas con cinta aislante, ya que se conoce la emisividad de esta cinta y se puede configurar la cámara para obtener una medida confiable, cuando se miden barras descubiertas podemos correr el riesgo de estar midiendo temperaturas reflejadas.

Punto 3 y 5: Se debe revisar todos los cables de entrada y salida de los dispositivos eléctricos que se encuentren en el tablero.

Punto 4: Se debe medir la tornillería o los agujeros que se encuentran en el punto de conexión de los dispositivos eléctricos, ya que en estos puntos también es sencillo detectar malos ajustes.

Punto 6: Se debe revisar también las conuletas, ya que se pueden detectar cables que esté haciendo corto o estén con bajo aislamiento.

Punto 7: Por lo general hay un barraje principal que pasa por detrás de los tableros, se recomienda destapar la parte de atrás de los cubículos para revisar posibles malos contactos de las barras, esta actividad debe ser realizada mínimo con 2 personas, contar con tapetes aislantes y seguir todas las normas de seguridad, ya que por lo general estas barras son de alta tensión.

3.5.2. FRECUENCIA DE MEDIDA

Se generan 6 rutas discriminadas de la siguiente manera:

2 rutas de vibraciones de molienda de cemento, la primera están solamente los equipos críticos mencionados en el análisis de criticidad realizado anteriormente. Los equipos críticos tendrán una frecuencia de medición de 15 días, los equipos no críticos serán medidos cada 30 días.

2 rutas de termografía que constan de una mecánica y una eléctrica, la ruta termográfica mecánica se realizara con una frecuencia mensual, mientras que la eléctrica se realizara cada 2 meses.

1 ruta de lubricación la cual se realizara 1 vez por mes.

1 ruta de medición de aislamiento que se realizara cada 2 meses.

3.6. ESTANDARIZACION FORMATO DE INFORMES DE LAS TECNICAS CBM USADAS

Para presentar los resultados de las mediciones y análisis de vibraciones se realiza con dos formatos de la siguiente manera:

- a- Informe general de la molienda de cemento.
- b- Informe puntual de cada equipo (solo si se exige por la dirección).

Informe general de vibraciones molienda de cemento:

En este informe se resume el estado general de vibraciones de todos los equipos descritos anteriormente de la molienda de cemento y tiene como finalidad entregar un documento de fácil comprensión donde se pueda observar fácilmente por el lector el estado de los equipos y que acciones correctivas debe tomar. El informe en Excel tiene los siguientes componentes:

Foto de equipo: Se incluye una foto del equipo monitoreado con el fin de contextualizar al lector de manera rápida sobre el equipo que se está haciendo el reporte.

Tag: Se escribe el tag o código del equipo con el cual está inscrito en la base de datos de mantenimiento, esto para facilitar la creación de la orden de trabajo y la inclusión de repuestos.

Equipo reportado: En esta casilla se especifica sobre que componente del equipo se está haciendo el reporte, las opciones que se habilitan en esta casilla son las siguientes:

- N/A: No tiene equipo reportado.
- Motor.
- Reductor.
- Chumacera acople.

- Chumacera Libre.
- Rotor.
- Poleas.
- Bomba.
- Correas.
- Fuga reductor.
- Guarda.

Diagnóstico: En esta casilla se selecciona el tipo de síntoma que se encuentra en el equipo, las opciones que se habilitan en esta casilla son las siguientes:

- Normal: No tiene síntomas de falla asociados.
- Desbalanceo.
- Desalineación.
- Desajuste.
- Rodamientos.
- Lubricación.
- Frec Eléctrica.
- Frec Correas.
- Frec Piñones.
- Estructura.

Estado: En esta casilla se selecciona si el equipo está en condiciones normales de operación o la severidad de la condición encontrada. Las opciones habilitadas son las siguientes:

- Normal: El equipo se encuentra en condiciones normales de operación y no requiere reparaciones.
- Alerta: se encuentra una anomalía en el funcionamiento del equipo, se recomienda intervenir en el próximo paro de mantenimiento.

- Alarma: La condición del equipo es muy grave, se recomienda realizar acciones inmediatamente o en un plazo no máximo a 5 días.

Vibración global en mm/seg: En esta casilla se escribe la vibración en mm/seg medida en el equipo (punto 2 motor).

Descripción: En esta casilla se escribe información más detallada sobre el estado encontrado en el equipo y las recomendaciones para solucionar esta condición.

#OT: El número de orden de trabajo relacionado a la intervención (si se requiere).

Realizada: esta casilla sirve como control de la ejecución de la acción correctiva realizada en el equipo, esta casilla solo cuenta con 2 opciones (si y no).

Área: En esta casilla se selecciona que área es responsable de la reparación y cuál es el coordinador de la actividad.

Cuadro.7 Informe de vibraciones general de la molienda de cemento.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO CSM (REPORTE DE VIBRACIONES RUTA 01 CT)									
FOTOS EQUIPOS	TAG	EQUIPO REPORTADO	DIAGNOSTICO	ESTADO	VGLOBAL MM/SEG	DESCRIPCION	#DT	REALIZADA	AREA
	CTEC01	MOTOR	ESTRUCTURA	ALARMA (Programar en 5 días)	13.090	Alta vibración a bajas frecuencias (542,5 rpm), el incremento de vibraciones se produce después de la reparación de la cadena, verificar estado de paso de la cadena y contacto con sprocket. SE REQUIERE REALIZAR CAMBIO DE TRAMOS DE CADENA POR DESGASTE EXCESIVO EN BUENOS Y PASADOS. requiere reparación de reductor REF. FALK MODELO 5407 25A ratio 25-038 por daño en eje backstop		NO	MEC (JUAN CAMILO)
	CTVT01	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	3.27	Equipo en condiciones normales de operación		NO	N/A
	CTVQ01	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	3.27	Equipo en condiciones normales de operación, mantener seguimiento		NO	N/A
	CTSD01	MOTOR	RODAMIENTOS	ALERTA (Programar en paro mtto)	7.65	Se requiere lubricar rodamientos del motor y hacer seguimiento por vibraciones en vacío y en alta velocidad para evaluar si hay cambio en la condición. ES INDISPENSABLE MONTAR LUBRICACION CENTRALIZADA PARA RODAMIENTOS DEL EE DEL SEPARADOR.		NO	PDR (LEON MUÑOZ)
	BOMBA CTSD01	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	7.8	Equipo en condiciones normales de operación		NO	N/A
	CTVT03	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	1.44	Equipo en condiciones normales de operación, mantener seguimiento.		NO	N/A
	MTBT05	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	3.25	Equipo en condiciones normales de operación.		NO	N/A
	CTBG01	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	1.42	Equipo en condiciones normales de operación, mantener seguimiento		NO	N/A
	CTBT01	N/A	LUBRICACION	ALERTA (Programar en paro mtto)	5.07	Extraer muestra de aceite		NO	PDR (ANDRES MEND)
	CTMV01	MOTOR	RODAMIENTOS	ALERTA (Programar en paro mtto)	1.28	Después del daño del acople flexible y la instalación del palletivo se subió la aceleración envolvente de los rodamientos del motor, programar para el paro mayor el cambio de los rodamientos del motor.		NO	N/A
	CTUH01-01	MOTOR	RODAMIENTOS	ALERTA (Programar en paro mtto)	0.57	Se encuentra aceleración envolvente alta en el rodamiento lado libre del motor, el espectro indica deficiencia del lubricante del rodamiento, se deben cambiar.		NO	ELEC (RICARDO VAL)
	CTUH01-02	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	0.79	Equipo en condiciones normales de operación, mantener seguimiento		NO	N/A
	CTUH01-03	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	2.15	Equipo en condiciones normales de operación, mantener seguimiento		NO	N/A
	CTUH01-04	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	0.58	Equipo en condiciones normales de operación, mantener seguimiento		NO	N/A

 MANTENIMIENTO PREDICTIVO CSM (REPORTE DE VIBRACIONES RUTA 01 CT)									
FOTOS EQUIPOS	TAG	EQUIPO REPORTADO	DIAGNOSTICO	ESTADO	VGLOBAL MM/SEG	DESCRIPCION	#OT	REALIZADA	AREA
	CTUH02-01	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	3.66	Equipo parado coordinar arranque para verificar estado del motor y bomba		NO	N/A
	CTUH02-02	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	3.87	Equipo parado coordinar arranque para verificar estado del motor y bomba		NO	N/A
	CTLU01-01	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	1.38	Equipo en condiciones normales de operación, mantener seguimiento		NO	N/A
	CTLU01-02	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	1.26	Tendencia ascendente en aceleración envolvente, el valor no es crítico pero se tendrá en seguimiento.		NO	N/A
	CTLU01-03	BOMBA	RODAMIENTOS	ALERTA (Programar en paro mtto)	1.56	Vibración elevada en la bomba, se requiere cambio de la bomba		NO	MEC (JUAN CAMILO)
	CTLU01-04	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	1.9	Equipo en condiciones normales de operación, mantener seguimiento		NO	N/A
	CTLU01-05	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	2.15	Se encuentra aceleración elevada en la bomba de aceite, Revisar rodamientos o evaluar el cambio de la bomba.		NO	N/A
	CTSI01	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	1.089	Equipo en condiciones normales de operación, mantener seguimiento		NO	N/A
	CTVT02	CHUMACERA LIBRE	RODAMIENTOS	ALERTA (Programar en paro mtto)	3.25	Chumacera lado libre con aceleración envolvente alta. Se debe lubricar nuevamente el equipo (MANTENER SEGUIMIENTO)		NO	PDR (NICOLAS PEREZ)
	CTVT05	MOTOR	DESBALANCEO	ALERTA (Programar en paro mtto)	8.62	Realizar limpieza de las aapas y realizar balanceo de no mejorar la condición		NO	MEC (JUAN CAMILO)
	CTSN02	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	1.83	Equipo en condiciones normales de operación, mantener seguimiento		NO	N/A
	CTVQ03	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	2.16	Equipo en condiciones normales de operación.		NO	N/A
	BOMBA ADITIVO	N/A	NORMAL	NORMAL (Sin Frecuencias de Falla)	0.47	Equipo en condiciones normales de operación		NO	N/A

Informe puntual de cada equipo (solo si se exige por la dirección):

En el informe puntual se muestran los puntos destacados de la medición, el espectro más relevante y se realiza un análisis detallado de la condición del equipo, se incluyen fotos de los puntos donde se tomó la medida, los datos básicos del equipo, fecha, tag y lugar donde se realizó la medición se concluye con las reparaciones que se deben realizar para mejorar la condición.

Ejemplo de informe específico:

Figura.51 Informe detallado análisis de vibraciones.

ASUNTO:	Seguimiento Separador Dinámico
LUGAR:	Cementos San Marcos
SISTEMA OPERATIVO:	Separador Dinámico CRSD01
MAQUINA:	Rotor
FECHA:	Septiembre 01 del 2017

ANALISIS DE VIBRACIONES



Fig.1 Motor separador dinámico

0,701 mm/seg	0,979 mm/seg
1,193 gE	1,388 gE



Fig.2 Reductor separador dinámico

1,200 mm/seg	0,934 mm/seg
2,128 gE	1,779 gE



Fig.3 Medida eje separado dinámico.

Ubicación sensor de vibraciones
0,767 mm/seg
1,064 gE

REPORTE DE CONDICIÓN

Figura.52 Informe detallado análisis de vibraciones.

Datos Técnicos del equipo:

Motor: Siemens.
 Voltaje: 460 V delta.
 Corriente: 160 A.
 Potencia: 104 kW.
 RPM Motor: 1485 rev/min.
 RPM Rotor: 158 rev/min.

Se realiza prueba de vibraciones en el separador dinámico del Molino Pfeiffer, ya que se han reportado incremento de vibraciones en el equipo, y se adquiere el siguiente espectro de vibraciones en velocidad (mm/seg).

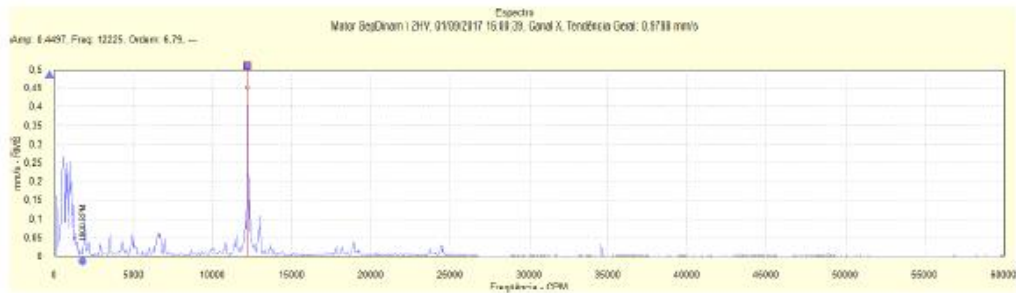


Fig.4 Espectro en el punto 2H separador dinámico.

Se observa en el espectro un comportamiento normal a bajas frecuencias, con amplitudes de 0,25 mm/seg, además se observa un pico de vibración a 12225 rpm, el cual procede de la operación del reductor, pero su amplitud también es baja (0,449 mm/seg) el cual también se considera normal.

A continuación se adjunta la normal iso para corroborar el buen estado del equipo analizado.

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816					
Machine		Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
		in/s	mm/s		
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28			
	0.02	0.45			
	0.03	0.71	good		
	0.04	1.12			
	0.07	1.80			
	0.11	2.80	satisfactory		
	0.18	4.50			
	0.28	7.10	unsatisfactory		
	0.44	11.2			
	0.70	18.0	unacceptable		
0.71	28.0				
1.10	45.0				

Fig.5 Tabla de severidad vibraciones ISO 10816

Figura.53 Informe detallado análisis de vibraciones.



Los valores de vibración del separador dinámico están dentro del rango de buena operación y satisfactorio según la norma ISO, evaluado estos valores en todos los tipos de montaje presentados por la norma.

Andrés Mendoza.
Mantenimiento Predictivo Cementos San Marcos.

REPORTE DE CONDICIÓN

Formato de informes de termografía mecánica y eléctrica: Para ambas mediciones se usa el mismo tipo de formato que contiene las siguientes características:

1. Área donde se encuentra el equipo inspeccionado.
2. Estado en que se encuentra el equipo (Normal, Alerta o Alarma).
3. Escudo o logotipo de la empresa.
4. Termografía del equipo inspeccionado.
5. Imagen de luz visible del equipo inspeccionado.
6. Perfil térmico 3D del equipo inspeccionado.
7. Observaciones acerca de la condición del equipo.
8. Cuadro de temperaturas de los puntos marcados en la termografía.
9. Información de la configuración de la cámara termografica.

A continuación se muestran 2 ejemplos de termografías realizadas en planta, la primera es de una termografía mecánica, y la segunda es de una termografía eléctrica.

Figura.54 Informe de termografía mecánica.

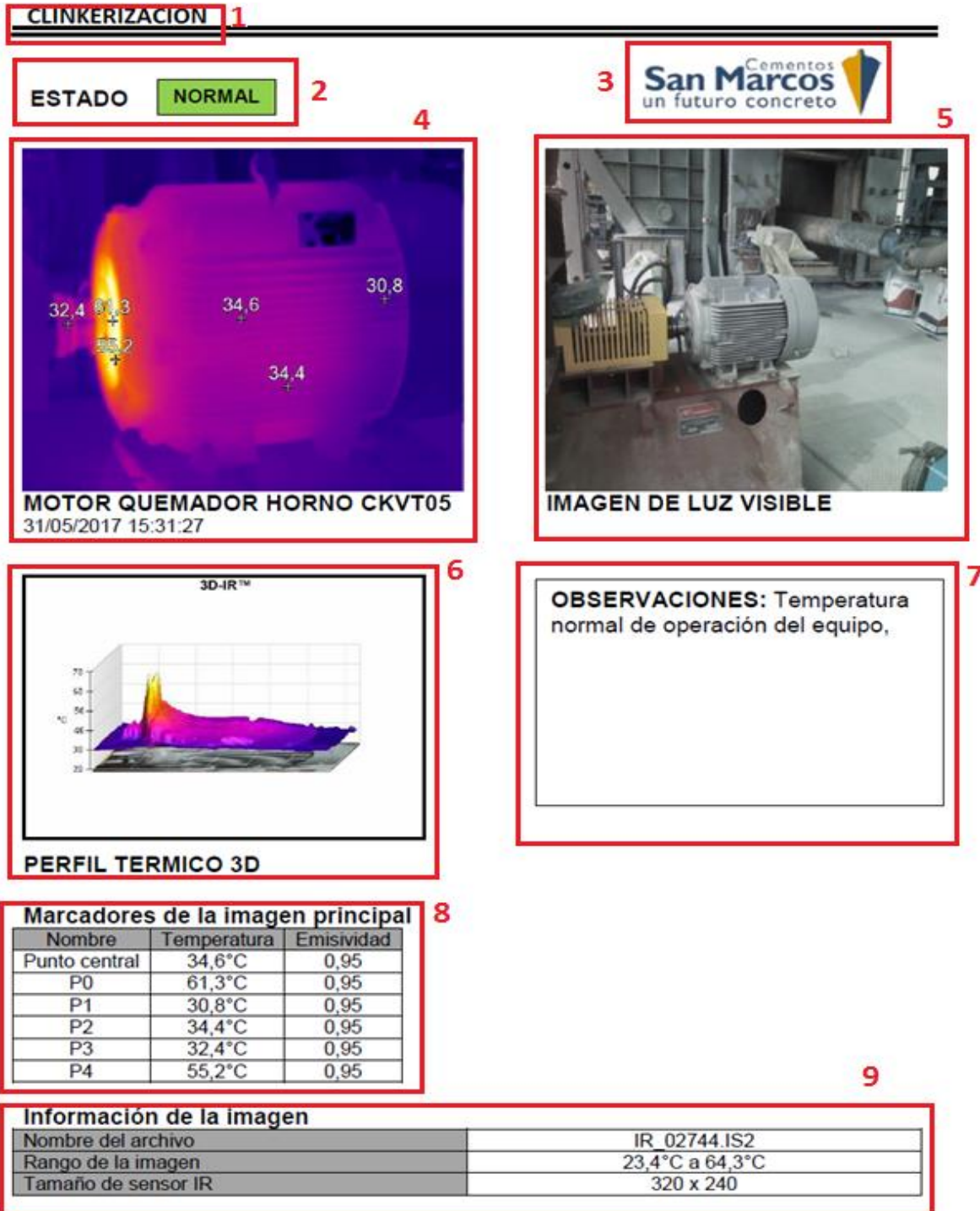
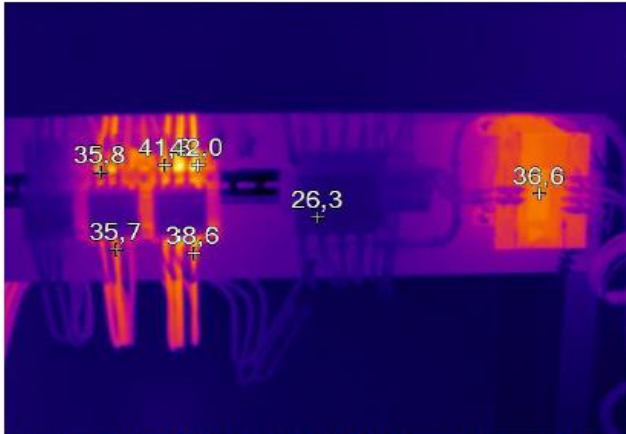


Figura.55 Informe de termografía eléctrica.

MOLIENDA CT

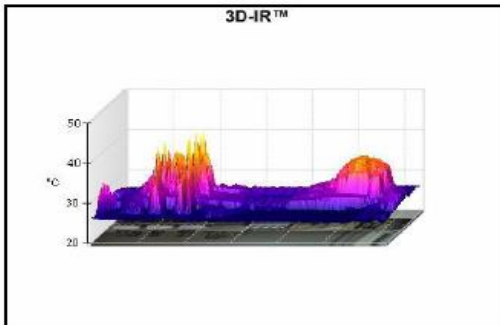
ESTADO **ALERTA**



BANCO DE CONDENSADORES 105 KVAR
24/01/2017 9:58:52



IMAGEN DE LUZ VISIBLE



PERFIL TERMICO 3D

OBSERVACIONES: Temperatura de 42,2 °C en la entrada del contactor, verificar balance de carga.

Marcadores de la imagen principal

Nombre	Temperatura	Emisividad
Punto central	26,3°C	0,95
P0	41,3°C	0,95
P1	35,8°C	0,95
P2	42,0°C	0,95
P3	38,6°C	0,95
P4	35,7°C	0,95
P5	36,6°C	0,95

Información de la imagen

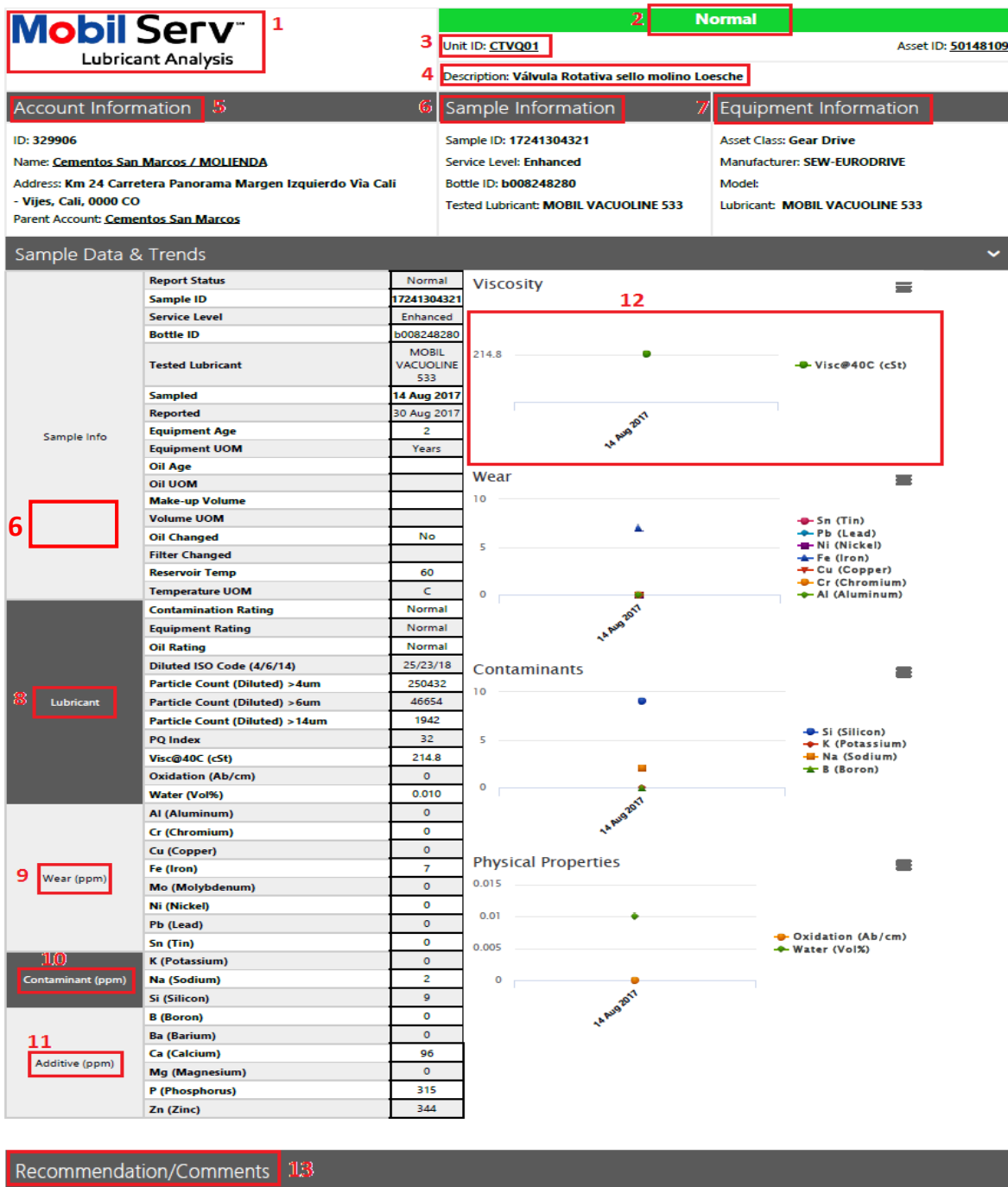
Nombre del archivo	IR_02593.IS2
Rango de la imagen	24,0°C a 43,7°C
Tamaño de sensor IR	320 x 240

Formato de informe de análisis¹² de aceites: Este informe se entrega predeterminado por el laboratorio que realiza el análisis, para nuestro caso la plataforma es mobilserv de Mobil, y el informe trae la siguiente información:

1. El logotipo del laboratorio donde se realizó el análisis.
2. El estado del lubricante.
3. La identificación o el tag del equipo.
4. La descripción del equipo que se está analizando.
5. Información de la cuenta asociada al equipo.
6. Información de la muestra analizada.
7. Información del equipo que se extrae la muestra.
8. Información de los resultados de prueba del lubricante.
9. Tamizaje de metales encontrados en el aceite.
10. Nivel de partes por millón de contaminantes encontrados.
11. Nivel de aditivos en parte por millón del aceite.
12. Tendencias.
13. Recomendaciones.

¹² Exxon Mobil, Mobilserv, Resultados pruebas de aceites, Bogota, 2017.

Figura.56 Informe análisis de aceites.



Formato de informe medición de aislamiento: Para la prueba de aislamientos en motores se plantea un formato que contiene las siguientes características:

1. El logotipo de la empresa donde se realiza la prueba.
2. Información del equipo y del área donde se hace la prueba.
3. Evidencia fotográfica de la prueba en el motor.
4. Evidencia fotográfica del valor obtenido en la prueba.
5. Datos técnicos del motor al cual se le realiza la prueba.
6. Datos de la realización de la prueba.
7. Diagnóstico y recomendaciones.
8. Ejecutante de la actividad.

Figura.57 Informe medición de aislamiento.

1



2

ASUNTO:	Medición de aislamiento
LUGAR:	Cementos San Marcos
SISTEMA OPERATIVO:	Transmisión principal Horno
MAQUINA:	Motor
FECHA:	Septiembre 01 del 2017

MEDICION DE AISLAMIENTO EN EL MOTOR

3



Fig.1 Prueba motor principal horno

4



Fig.2 Valor de aislamiento en motor

5

Datos Técnicos:

HP:	150.
Voltaje:	440.
Corriente:	203.
# Polos:	4.
RPM:	1785.

6

Los datos de la prueba son los siguientes:

Equipo	Voltaje op	Voltaje Iny	Valor aislam.	Valor limite	Estado
Motor Ppal. horno	440V	500 V	184.2 M ohm	1 M ohm	Normal

Tabla 1. Datos de la prueba

7

El equipo se encuentra en condiciones normales de operación.

8

Andrés Mendoza.
Mantenimiento Predictivo Cementos San Marcos.

3.7. DEFINICION DE LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO REQUERIDAS Y GENERACION DE BASES HISTORICAS DE MEDIDAS

3.7.1. DEFINICION DE LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO

Definición de las acciones de la administración de mantenimiento requeridas:

Con base en la información obtenida se recomienda las siguientes mejoras, con el fin que el programa CBM alcance sus objetivos propuestos:

1. En la planeación de las actividades de mantenimiento se deben dar prioridad a las actividades solicitadas por el programa CBM.
2. Después de realizar una intervención en algún equipo de la molienda de cemento, este se debe entregar a mantenimiento CBM con el fin de verificar que la intervención haya sido efectiva.
3. Los preventivos por ciclo de vida útil en los elementos analizados por CBM deben reducirse ya que los cambios serán determinados por la condición.
4. Todo cambio de cargas en los equipos debe ser informado al departamento CBM, ya que estos cambios afectan las medidas del equipo.
5. Las actividades de alineaciones de ejes y balanceos deben ser realizados o supervisados por el personal CBM. Se recomienda que la empresa tenga sus propios equipos de alineación y balanceo.
6. Se recomienda que el área de lubricación sea una dependencia del área CBM, ya que muchas condiciones dependen de la lubricación y de acuerdo a estas condiciones se pueden modificar las rutinas de lubricación obteniendo mejor eficiencia en el uso de este consumible.
7. Se recomienda incluir en el presupuesto anual la calibración de los instrumentos CBM para que sus medidas sean confiables.

a. Definición de las acciones de mantenimiento por condición:

1. Las acciones típicas que se obtienen por análisis de vibraciones son:

- Alineación
- Balanceo.
- Cambio de rodamientos.
- Cambio de aceite.
- Re Lubricación.
- Cambio de correas.
- Alineación de Poleas.
- Ajuste mecánico.
- Prueba de aislamiento de motor.

2. Las acciones típicas que se obtienen por termografía son:

- Ajuste de borneras.
- Revisión de balance de cargas.
- Revisión de aislamiento motor.
- Re lubricación.
- Cambio de componente eléctrico.
- Completar nivel de aceite.

3. Las acciones típicas por análisis de aceites son:

- Cambio de aceite.
- Micro filtrado del lubricante.
- Revisión de tubería de refrigeración por líquido.
- Cambio de filtros de aire.
- Inspección visual de piñonera.

4. Las acciones típicas por prueba de aislamiento es:

- Barnizado del aislamiento
- Verificar sellado del motor.

3.7.2. GENERACION DE BASES HISTORICAS DE MEDIDAS

Se recomienda usar un software que capture y tabule la medida obtenida de cada uno de los equipos CBM. En nuestro caso se realiza la inversión inicial debe ser con el software de vibraciones, ya que de acuerdo a los resultados anteriores es la técnica más usada y la que monitorea los modos de falla más críticos en la operación.

El sistema de históricos de vibraciones funciona primero generando la ruta de vibraciones de los equipos del área de molienda de cemento (en nuestro caso), esta ruta se carga al equipo y se realiza la medida en campo, una vez realizada se procede a descargar la información al software donde guarda el registro de la fecha y hora de la toma, y aparte de generar la información específica para el análisis genera también una gráfica de tendencias con todas las medidas realizadas anteriormente y los valores de dichas medidas.

En el caso del análisis de aceite el software de Mobil provee las tendencias de los resultados de las pruebas de aceite.

Para termografía y pruebas de aislamientos se recomienda incluir los históricos en el software de administración de mantenimiento, si no se posee un software especial para el análisis de la información de estas dos técnicas.

4. POLITICA DE MEJORA PROGRAMA CBM

Para que el programa siga creciendo y ofreciendo los resultados esperados se debe seguir las siguientes políticas.

- Revisión permanente de los umbrales (limites) de las medidas y modificarlos cuando se haga necesario por el comportamiento del equipo, ya que los equipos se van degradando y sus condiciones operativas cambian de acuerdo a su desgaste.
- Certificación y actualización de los conocimientos de las técnicas CBM usadas en planta, ya que es fundamental para obtener medidas y diagnósticos de calidad
- Realizar seguimiento de las fallas que se hayan podido detectar por CBM y modificar el programa o la técnica para evitar la recurrencia en la falla.
- Disminuir o mantener un stock bajo de repuestos, ya que los cambios se realizan programados de acuerdo a su condición.
- Mantener un promedio en las medidas adquiridas en los equipos de molienda de cemento dentro de los límites especificados para mantener un control y condición estable en los equipos.
- Revisión constante de mejoras estructurales que permita una condición estable en los equipos, como lo son rigidización de bases, mejorar soportes o incluso instalar absorbedores de vibración en las bases cuando así se requiera.
- Revisar periódicamente la viabilidad de inclusión de nuevas técnicas CBM para el diagnóstico de anomalías, como la medición y el análisis de desgastes en cuerpos molidores.

5. CONCLUSIONES

Con la realización de este trabajo se aportó al mejoramiento y optimización del recurso de mantenimiento en Cementos San marcos en los siguientes temas:

- Se actualizo la matriz de criticidad de los equipos de molienda de cemento, con esta información se tiene claro cuáles son las prioridades en la programación del mantenimiento.
- Se amplía el espectro de mantenimiento en los equipos, monitoreando condiciones las cuales antes pasaban desapercibidas y nos dejaba descubiertos ante una falla inminente.
- Se identifican los modos de fallo típicos de los equipos y cuál es el componente más crítico en la molienda, lo cual nos permite disponer mayor recurso de mantenimiento en el monitoreo y prevención de esta falla, haciendo más efectivo la gestión de mantenimiento.
- Se brinda una ventana operativa inicial básica al personal de mantenimiento, con esta información van a tener criterio para tomar decisiones sobre el estado de un equipo.
- Se brinda la información básica de medida y seguimiento de las diferentes técnicas CBM sobre los equipos de la molienda de cemento. Con esta información se puede iniciar el monitoreo y mejorar el programa conforme adquiera experiencia el personal que ejecuta la actividad.
- Se brinda formatos de informes con la información pertinente que permite a las directrices de mantenimiento la toma de decisiones sobre la estrategia de mantenimiento.

- Se genera más confianza en el proceso de mantenimiento ya que con el mantenimiento CBM se dejan cada vez menos variables al azar, y se tiene mayor control del estado de los equipos.
- Se optimizan los costos de mantenimiento al tener menor stock de repuestos en el almacén (“por contingencia al ocurrir una falla”), se pronostica una reducción de costos aproximados de 105 millones COP, principalmente en rodamientos, reductores y motores.
- Se optimizan los costos de mantenimiento por evitar paros no programados del proceso, se estiman los ahorros de 179 millones COP que cuesta generalmente el paro del molino por el cambio de un reductor o un motor.
- Se optimizan los costos de mantenimiento al aprovechar la mayor parte de la vida útil del repuesto.
- Se encuentra oportunidad de mejora en el programa CBM al monitorear desgastes en repuestos del molino de cemento (“cuerpos molidores”) lo cual nos permite pronosticar el tiempo de cambio de estos elementos de acuerdo a su condición.

Para la implementación completa de esta estrategia se define la necesidad de 3 personas (el encargado de la parte administrativa del proceso, y las 2 personas restantes encargadas de la toma de medidas en las diferentes técnicas).

BIBLIOGRAFIA

Adriana Maria Ruiz Acevedo. Modelo para la implementacion de mantenimiento predictivo en las facilidades de produccion de petroleo, Bucaramanga, 2012, trabajo de grado Especialista en Gerencia de Mantenimiento, Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierias Fisico-Mecanicas. Disponible en el catalogo en linea de la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander <<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb>>

Exxon Mobil, Interpretacion analisis de aceites, 2002, disponible en <<http://www.mobil.com.co>>.

Exxon Mobil, Mobilserv, Resultados pruebas de aceites, Bogota, 2017, disponible en <<https://mobilserv.mobil.com/en>>.

Grupo Weg, Unidad de automatizacion, Guia practica de capacitacion tecnico comercial motor electrico, Brasil, 2016, disponible en <www.weg.net>.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE ESTANDARIZACION. Documento técnico: Evaluación y medidas de vibraciones mecánicas. ISO, 1998 (ISO 10816-3).

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE ESTANDARIZACION. Documento técnico: Monitoreo de condiciones y diagnóstico de máquinas. ISO, 2002 (ISO 17359).

Reliability Web, Prueba de aislamiento de motor electrico a tierra, 2017, disponible en <<https://reliabilityweb.com/sp/articles>>.

Rexnord Industries, Gear Group, Manual reductores de velocidad Falk, Milwaukee, 1995, disponible en <www.rexnord.com>.