

**MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN – CBM (CONDITION BASED
MAINTENANCE) PARA LOS EQUIPOS DE TRATAMIENTO DE ACEITE
MINERAL AISLANTE DE TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA EMPRESA
TRANSEQUIPOS S.A.**

JHONY GUZMÁN VERTEL

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2017

**MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN – CBM (CONDITION BASED
MAINTENANCE) PARA LOS EQUIPOS DE TRATAMIENTO DE ACEITE
MINERAL AISLANTE DE TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA EMPRESA
TRANSEQUIPOS S.A.**

JHONY GUZMÁN VERTEL

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director: ING. DANIEL ORTÍZ PLATA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2017

AGRADECIMIENTOS

“Primero a Dios por permitirme finalizar este otro escalafón de mi vida y permitirme seguir luchando por mis sueños”

“Segundo a mi padre por apoyarme siempre en cada paso que doy, sus enseñanzas han sido las mejores siempre”

“A todos los docentes y planta administrativa de UIS – ASEDUIS por brindarnos su valiosa colaboración en todas las circunstancias durante el tiempo de estudios”

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS.....	14
1.1. Objetivo General.....	14
1.2. Objetivos Específicos.....	14
2. JUSTIFICACIÓN.....	15
3. GENERALIDADES DE TRANSEQUIPOS S.A.	16
3.1 Historia.....	16
3.2 Misión	17
3.3 Visión	17
3.4 Valores corporativos	17
3.4.1 Equidad.....	17
3.4.2 Respeto.....	18
3.4.3 Compromiso.....	18
3.4.4 Transparencia	18
3.4.5 Solidaridad.....	18
3.5 Responsabilidad social	18
3.6 Certificaciones y calificaciones	19
3.7 Certificaciones Bureau Veritas.....	19
3.8 Acreditación ONAC.....	20
3.9 Acreditación en prueba de PCB's IDEAM.....	20
3.10 Consejo Colombiano de Seguridad	20
3.11 RUC (Registro único de Contratistas del sector Hidrocarburos).....	20

3.12 Cursos y Seminarios.....	20
4. MARCO TEÓRICO	22
4.1 Mantenimiento Predictivo.....	22
5. MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICION – CBM.....	24
5.1 ¿Qué es el Mantenimiento de Diagnostico?	24
5.2 Fundamentos del Diagnóstico.....	26
5.3 Parámetros de Monitoreo.....	26
5.4 Ventajas del mantenimiento centrado en la condición:	27
5.5 Desventajas del mantenimiento centrado en la condición:	27
5.6 Termografía	28
5.7 Vibraciones	29
5.8 Diagnóstico de Motores Estático y Dinámico	30
6. CRITICIDAD	32
6.1 ¿Qué es el análisis de Criticidad?.....	32
6.2 Método de Análisis de Criticidad Cualitativo	33
6.3 Método de Análisis de Criticidad Cuantitativo	37
6.4 Niveles de análisis para evaluar criticidad	38
6.5 ¿Qué elementos se deberían tomar en cuenta para determinar la criticidad?	40
7. MANTENIMIENTO DE TRANSFORMADORES EN CAMPO	41
7.1 Transformador	41
7.2 Regeneración del sistema de aislamiento	42
7.3 Proceso de Regeneración.....	43
8. EQUIPO DE TRATAMIENTO DE ACEITE 8,5.....	48
9. DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO	50

10. RECOMENDACIONES.....52

11. CONCLUSIONES53

BIBLIOGRAFÍA.....54

ANEXOS.....55

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Logotipo Transequipos S.A.	16
Ilustración 2. Parámetros de Monitoreo..	26
Ilustración 3. Inspección termográfica con imagen térmica.	28
Ilustración 4. Análisis de vibraciones mecánicas	29
Ilustración 5. Diagnóstico de motores eléctricos en campo	30
Ilustración 6. Matriz de Criticidad Análisis Cualitativo	36
Ilustración 7. Modelo del Flujograma de Criticidad.	36
Ilustración 8. Matriz de Criticidad Análisis Cuantitativo.....	37
Ilustración 9. Diagrama de bloques para evaluar criticidad.....	38
Ilustración 10. Transformador de Potencia	41
Ilustración 11. Proceso de Regeneracion del sistema de aislamiento	42
Ilustración 12. Número de pasadas por el equipo de Tierra Fuller.....	45
Ilustración 13. Evolución del Color.....	45
Ilustración 14. Evolucion del Índica de Calidad.....	46
Ilustración 15. Evolucion Tensión interfacial	46
Ilustración 16. Equipo de Tratamiento de aceite.....	48

LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Cámara de vacío, filtro y tablero de control.	55
Anexo B: Mangueras de circulación – Conexión tanques de Tierra Fuller.....	55
Anexo C: Tablero de control Principal.....	56
Anexo D: Salida de Cámara de vacío.	56
Anexo E: Tuberías y válvulas de conexión.	57
Anexo F: Tuberías y válvulas de conexión.	57

RESUMEN

TÍTULO: MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN – CBM (CONDITION BASED MAINTENANCE) PARA LOS EQUIPOS DE TRATAMIENTO DE ACEITE MINERAL AISLANTE DE TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE LA EMPRESA TRANSEQUIPOS S.A.*

AUTOR: Jhony Guzmán Vertel**

PALABRAS CLAVES: Mantenimiento basado en la condición, aceite dieléctrico, transformador, técnicas predictivas, criticidad.

DESCRIPCION:

Por medio de la presente monografía se busca desarrollar un plan de mantenimiento desarrollando una metodología de análisis basado en la condición. Para lograr este objetivo es necesario utilizar todos y cada uno de los conocimientos adquiridos en la especialización en Gerencia de Mantenimiento, además de la experiencia adquirida en el entorno laboral.

De igual manera fue necesario investigar los modelos y las técnicas predictivas actuales utilizadas en el mantenimiento de activos, se logran identificar las fallas y las posibles salidas para poder solucionar un problema.

El plan de mantenimiento basado en la condición de los equipos de tratamiento de aceite de la empresa Transequipos S.A., solucionará las paradas inesperadas y pérdidas de dinero por falta de disponibilidad y confiabilidad de dichos equipos, y se mostrara un excelente cambio en la mejora de cada uno de los proceso con el fin de optimizar procesos y sobrecostos.

Esencialmente las etapas de este proyecto son: Recopilación de información de los equipos junto a datos históricos de fallas para poder obtener una visión más global del estado del equipo, implementación de análisis de criticidad a cada uno de los componentes que hacen parte del activo y mejoras en la gestión del mantenimiento de dicho activo.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Daniel Ortiz Plata, Ingeniero Mecánico.

SUMMARY

TITLE: MAINTENANCE BASED ON CONDITION - CBM (CONDITION BASED MAINTENANCE) FOR MINERAL OIL TREATMENT EQUIPMENT INSULATING TRANSFORMER POWER COMPANY TRANSEQUIPOS S.A.*

AUTHOR: Jhony Guzmán Vertel**

KEY WORDS: Maintenance based on the condition, dielectric oil, transformer, predictive techniques, criticality.

DESCRIPTION:

Through this monograph, we seek to develop a maintenance plan that is based on a condition-based analysis methodology. To achieve this goal it is necessary to use each and every one of the knowledge acquired in the specialization in Maintenance Management, in addition to the experience acquired in the work environment.

Similarly, it was necessary to investigate models and predictive techniques, current and maintenance of assets, as well as failures and possible outputs to solve a problem.

The maintenance plan based on the condition of the oil treatment equipment of the company Transequipos SA, the solution of the unexpected paradoxes and loss of money due to lack of availability and reliability of said equipment, and an excellent change in the improvement is shown of each of the processes with process optimization and cost overruns.

Essentially the stages of this project are: Compilation of information from the equipment together with the historical data of failures in order to obtain a more global vision of the state of the equipment, implementation of analysis of the criticism to each of the components that are part of the active and the improvements in the management of the maintenance of said asset

* Degree Work

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Daniel Ortiz Plata, Ingeniero Mecánico.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los avances tecnológicos y de investigación nos permiten razonar acerca de la optimización de procedimientos y estrategias de las compañías, con el fin de obtener buenos resultados en los indicadores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los activos. Esto nos lleva a que dichos activos nos garanticen índices adecuados de productividad y calidad de productos y servicios ofrecidos al mercado.

Por medio del mantenimiento predictivo o la gestión de mantenimiento basado en condición, podemos obtener muchos beneficios y resultados dentro de las cuales se destacan la intervención oportuna de los equipos y paradas imprevistas.

Hoy día existen varias formas de hacer monitoreo (On-Time u Off-Time) de equipos o sistemas por medio de técnicas de predicción. Estas técnicas se basan en la evaluación de la condición y pueden ser: Termografía Infrarroja, Ultrasonido, Coronografía, Análisis de Aceites, Vibraciones Mecánicas e inspección Visual. Es importante resaltar que la aplicación de estas técnicas la hacemos con el fin de detectar el origen de fallas que con el tiempo van degradando los equipos, lo cual ocasiona que se vea afectada la productividad y la eficiencia de dichos activos.

Transequipos S.A. es una empresa que lleva alrededor de 30 años en el mercado que se dedica a ofrecer productos y servicios enfocados al uso racional y eficiente de la energía. Entre los productos que ofrece son: cámaras coronográficas y termográficas, instrumentos de protección y control para transformadores, ventanas infrarrojas, filtros estabilizadores bidireccionales eléctricos, transformadores de potencia, sistemas termográficos en línea, sistemas de monitoreo de gases en línea para transformadores, entre otros.

También cuenta con un amplio portafolio de servicios de los cuales se destacan Mantenimiento a subestaciones, mantenimiento y pruebas eléctricas de campo a

transformadores, análisis e inspección termográfica y coronográfica, pruebas a motores eléctricos, entre otros.

Para el desarrollo y ejecución del mantenimiento a transformadores es necesario el uso de unos equipos de tratamiento de aceite y termo-vacío, las cuales actualmente no cuentan con un plan de mantenimiento preventivo basado en condición.

Lo anterior plantea para la empresa un serio inconveniente, puesto que en cualquier momento este equipo puede fallar, provocando así paradas inesperadas de servicios y sin garantizar la confiabilidad y disponibilidad de dichos equipos. De igual manera causar lesiones a los operarios y al transformar que se está interviniendo.

Con el presente proyecto se busca desarrollar un control de la condición de operación y prever fallas potenciales en los componentes del activo, esto se logrará diseñando un plan de mantenimiento para los equipos de tratamiento de aceite mineral aislante, contenido en los transformadores de potencia.

Por lo tanto se ha seleccionado un equipo de tratamiento de aceite, utilizado para intervenir transformadores sin tensión.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General.

- Diseñar un plan de mantenimiento para los equipos de tratamiento de aceite mineral aislante en la línea servicios en campo de la empresa Transequipos S.A.

1.2. Objetivos Específicos.

- Desarrollar una metodología de diseño del plan de mantenimiento basado en condición para los equipos de tratamiento de aceite mineral aislante.
- Adaptar la metodología bajo la norma ISO – 17359 con el fin de establecer las directrices y aplicar efectivamente las técnicas del mantenimiento basado en condición.
- Definir frecuencias de monitoreo para mantenimientos predictivos basados en CBM.
- Determinar las necesidades de mantenimiento que mejor convenga a dichos equipos.

2. JUSTIFICACIÓN

Es importante resaltar que no podemos tomar el mantenimiento predictivo como la respuesta absoluta hacia un cambio sustancial en la estrategia macro de la gestión de activo de una compañía. Se debe contar con excelencia operacional, es decir, la óptima operación y el cuidado básico de los activos. Con esto podemos llegar al mantenimiento proactivo, cuyo fin es incrementar la vida productiva de los equipos en una compañía.

En este orden de ideas, lo que se busca con la realización de este plan de mantenimiento es incrementar al máximo la confiabilidad y disponibilidad de la maquinaria y equipos, permitiendo que estos se encuentren en buen estado de funcionamiento la mayor parte del tiempo, cumpliendo más eficientemente el propósito para el cual han sido diseñados. De igual manera se busca evitar accidentes de tipo laboral por la posible avería de estos equipos en las instalaciones de nuestros clientes.

Los beneficios adquiridos con este plan de mantenimiento están relacionados directamente con la vida útil de los equipos, pues se realizará una inspección periódica de cada una de éstos.

Por estas razones Transequipos S.A. se verá beneficiado económicamente al no gastar fondos que no estén presupuestados en un mantenimiento correctivo inesperado y su producción no se verá afectada por un posible paro de equipos.

3. GENERALIDADES DE TRANSEQUIPOS S.A.

Ilustración 1. Logotipo Transequipos S.A.



Fuente: Transequipos S.A. Página Principal. Cota – Cundinamarca. [Sitio Web]. (Recuperado el 15 de Julio de 2017). Disponible en www.transequipos.com

3.1 Historia

Desde hace aproximadamente 3 décadas viene creciendo de forma sostenida, ofreciendo servicios y productos enfocados al uso eficiente de la energía, para contribuir con el incremento de la productividad de nuestros clientes, siendo proactivos ante el mercado estructurando soluciones integrales y de alto valor agregado.

Gracias a nuestro talento humano especializado, la gestión del conocimiento, la investigación constante y la aplicación de tecnologías de vanguardia somos reconocidos nacional e internacionalmente por nuestro cumplimiento, responsabilidad, ética y compromiso, con la seguridad, la salud, el medio ambiente y la sociedad.

Aumentar la vida útil y garantizar la confiabilidad de operación de los transformadores y los equipos de nuestros clientes, bajo el manejo de altos estándares de calidad y procedimientos, constituyen nuestro Know How diferenciado, desarrollado y probado por casi tres décadas, cuya efectividad y eficiencia han sido suficientemente probadas a lo largo de nuestra experiencia.

3.2 Misión

Proveer servicios y productos para el uso eficiente y limpio de la energía, contribuir con la productividad de nuestros clientes, apoyados en la investigación y tecnología, acatando las normas de salud, seguridad y medio ambiente.

Exigir en todos nuestros actos la satisfacción de los socios, empleados, clientes, proveedores y la sociedad.

3.3 Visión

Durante el próximo quinquenio ampliar servicio y productos para el uso eficiente y limpio de la energía, con tecnología y gestión del conocimiento, construyendo alianzas que generen rentabilidad manteniendo el compromiso con la sociedad y el medio ambiente.

Consolidar el reconocimiento de nuestra empresa, adaptándola al entorno nacional y de países objetivo.

3.4 Valores corporativos

Los valores que rigen los actos de Transequipos conforman el Código Ético, el cual moldea la conducta individual e imprime el carácter de consonancia entre la acción y el Deber Ser. Los valores de la empresa comprenden cinco categorías de máximo impacto sobre la gestión:

3.4.1 Equidad

Justicia en la relación con los trabajadores, proveedores, clientes y demás vinculados con la organización

3.4.2 Respeto

El reconocimiento a las características individuales, a la dignidad de la persona, a su fuero íntimo, son fundamentos centrales en las relaciones de Transequipos con sus asociados, en todos los niveles y áreas de influencia.

3.4.3 Compromiso

Un sentido colectivo de ser parte real, actuante, responsable en forma integral, moldean las acciones de todos los integrantes de la compañía.

3.4.4 Transparencia

Un estado de congruencia entre el sentir, el pensar y el actuar. Involucra principios que regulan positivamente las interacciones sociales, esencialmente honestidad, sinceridad y lealtad.

3.4.5 Solidaridad

Sentimiento colectivo de apoyo, colaboración, participación en los requerimientos personales y laborales de los compañeros. Aplicación plena de Mutualismo, en el que el todo concurre a la solución de la parte necesaria.

3.5 Responsabilidad social

TRANSEQUIPOS S.A. a través de la Alta Gerencia ha adoptado como filosofía corporativa, actuar en beneficio de sus propios trabajadores, sus familias, su entorno social y el cuidado del Medio Ambiente.

Para lo anterior ha implementado un conjunto integral de políticas, prácticas y programas que se instrumentan en toda la gama de sus servicios y en los procesos de toma de decisiones, lo cual significa poner en marcha un sistema de administración con procedimientos, controles y documentos.

Sus comportamientos en los negocios están basados en valores éticos y principios de transparencia que incluyen una estrategia de mejoramiento continuo en la relación entre la empresa y sus “partes”, relación que incluye clientes, proveedores, socios, consumidores, medio ambiente, comunidades, el gobierno y la sociedad en general.

Su estrategia de negocios está enfocada en incrementar la rentabilidad, competitividad y la sostenibilidad, sirviendo como parte de un nuevo modelo de desarrollo sostenible.

TRANSEQUIPOS S.A. entiende que el crecimiento económico y la productividad, están asociados con las mejoras en la calidad de vida de la gente y la vigencia de instituciones políticas democráticas y garantes de las libertades y los derechos de las personas.

3.6 Certificaciones y calificaciones

Para TRANSEQUIPOS S.A. el eje fundamental de su operación es la plena satisfacción de nuestros clientes, y como soporte a la confianza y credibilidad que el mercado ha colocado en nuestra organización, hemos gestionado diferentes certificaciones de calidad que nos permiten garantizar nuestros servicios y ofertas de valor. Más que una herramienta comercial y de comunicación, nuestras certificaciones son nuestro compromiso ético con todos nuestros clientes.

3.7 Certificaciones Bureau Veritas

Certificación del sistema integrado de gestión ISO 9001-2008, ISO 14001-2004 y OHSAS 18001-2007 en diagnóstico y mantenimiento de transformadores y equipo eléctrico, análisis termográfico a equipos eléctricos y mecánicos, comercialización de productos, equipos y soluciones para el uso eficiente y limpio de la energía.

3.8 Acreditación ONAC

Laboratorio de ensayo acreditado por ONAC con acreditación código 13-LAB-018, para análisis de aceite, pruebas eléctricas de campo y termografía.

3.9 Acreditación en prueba de PCB's IDEAM

3.10 Consejo Colombiano de Seguridad

Evaluación del cumplimiento de los requisitos establecidos en la guía para la evaluación de contratistas del sector hidrocarburos RUC.

3.11 RUC (Registro único de Contratistas del sector Hidrocarburos)

El Consejo Colombiano de Seguridad ha certificado con una alta calificación nuestro sistema de gestión de seguridad, salud ocupacional y ambiente, debido a que hemos cumplido con los requisitos establecidos en la “Guía para la evaluación de contratistas del sector de hidrocarburos”, certificación que hemos venido renovando desde hace más de diez años.

3.12 Cursos y Seminarios

Más de 20 años de experiencia en el mercado nos ponen en la capacidad de atender las necesidades de corporaciones y agremiaciones interesadas en algunos puntos específicos de nuestra especialidad, confiando en la calidad de nuestros docentes y en la seriedad y compromiso de nuestra organización para entregar un producto óptimo en cuanto a temarios, logística y generación de valor agregado para sus miembros y empleados.

A través de la capacitación diseñada a la medida, Transequipos asume nuevamente su rol de líder en la industria, preparando contenidos serios y basados en nada menos que el expertise adquirido y en la preparación reconocible de nuestro equipo de trabajo, y le entrega a la industria mucha más confiabilidad con valor agregado.

- Certificación de termografía nivel 1 (virtual y presencial)
- Certificación de termografía nivel 2 (presencial)
- Diagnóstico y mantenimiento a transformadores
- Seminario termografía – conceptos básicos

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Mantenimiento Predictivo

El Mantenimiento Predictivo o Basado en la Condición, consiste en inspeccionar los equipos a intervalos regulares y tomar acción para prevenir las fallas o evitar las consecuencias de las mismas según su condición¹.

Incluye tanto las inspecciones objetivas (con instrumentos) y subjetiva dentro del proceso de decisión, y en el marco de las estrategias de Mantenimiento Proactivo posibles, se prioriza el CBM por sobre el reacondicionamiento cíclico. Y a su vez, éste por sobre la sustitución cíclica. Ello se debe a que, en el caso del CBM, se trabaja bajo condiciones de “certeza” del fallo, buscándose avisos o señales físicas ciertas de que va a producirse la falla, mientras que las tareas preventivas se basan en datos estadísticos. Es decir que con el CBM se saca el máximo rendimiento de cada elemento sin sacrificar confiabilidad, lo que redundará en la maximización del beneficio para la empresa².

Una vez definida la posibilidad técnica de realizar una o más tareas “a condición”, será necesario verificar si “merecen la pena”. En el caso de consecuencias para la seguridad y medio ambiente la respuesta es obvia, ya que toda acción que evite accidentes laborales o ambientales merecerá la pena cuando reduzca la probabilidad de fallo a un nivel tolerable. Pero la respuesta no será tan fácil cuando no se tenga este tipo de impactos y se deba evaluar sobre consecuencias operacionales o no operacionales. En ese caso se tendrá más de una opción, donde se deberá comparar el costo de la tarea versus el costo de las consecuencias en un período de tiempo³.

¹ <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/tipos.asp>

² SUEIRO, Guillermo. Artículo Cuando la condición “Merece la pena”.

³ SUEIRO, Guillermo. Artículo Cuando la condición “Merece la pena”.

En la norma ISO 17359, Se describe un procedimiento genérico que puede usarse cuando se implementa un programa de monitoreo de condiciones, y se proporcionan más detalles sobre los pasos clave a seguir. Las actividades de monitoreo de la condición deben identificar y evitar los modos de falla de causa raíz.

5. MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICION – CBM⁴

A lo largo del siglo XX muchas cosas han cambiado, dos revoluciones industriales se presentaron modificando paradigmas, sin embargo el hombre con su ingenio lo superó. Hoy en nuestros días, a principios del siglo XXI una nueva revolución industrial está presente.

El motor de esta nueva revolución industrial es la Tecnología, la Informática y la Acelerada Automatización de procesos Industriales.

Es innegable el papel que juega el Ingeniero en este campo. Hoy más que nunca, tiene a su alcance equipos de medición, herramientas, hardware y software especializado en cada rama de la ingeniería, conocimientos avanzados en gestión de equipos y maquinaria, conocimientos avanzados en electrónica industrial, conocimientos avanzados en automatización, entiéndase Autotrónica, cuenta con el soporte de modernas teorías de control de procesos, métodos específicos para mejora de la productividad, y la lista de posibilidades es inmensa.

Para el Ingeniero de Planta, la oportunidad es grande, con todos estos instrumentos a su alcance, el mantenimiento ha tomado un nuevo rumbo, ya no es un simple gasto, ya no es más un problema, ahora es parte de la solución. La nueva visión es integradora y es el momento de aprovechar esta coyuntura, para que en nuestro medio, las nuevas generaciones de ingenieros de Planta cuenten en su acervo Técnico científico todas esas herramientas descritas.

5.1 ¿Qué es el Mantenimiento de Diagnostico?⁵

Los aparatos de medición siempre han estado presentes, desde instrumentos de medición de indicadores eléctricos, mecánicos, químicos, etc. Pero su utilización como equipos para monitoreo en línea es relativamente reciente; la misma

⁴ Artículo: Equipo de diagnóstico, Mantenimiento centrado en la condición – Ing. Carlos Flores. Facultad de ingeniería – Universidad Rafael Landivar.

⁵ Artículo: Equipo de diagnóstico, Mantenimiento centrado en la condición – Ing. Carlos Flores. Facultad de ingeniería – Universidad Rafael Landivar.

necesidad de monitorear nuevos indicadores, ha llevado al desarrollo de modernos equipos de diagnóstico puntual (offline) o en línea (online), como por ejemplo analizadores de vibraciones.

El concepto de centrado en la condición se fundamenta en el hecho de conocer el estado puntual de los equipos y maquinaria que estamos trabajando, en tiempo real, en el momento de la medición, y en base a características técnicas de operación poder entender y analizar la información obtenida, para hacer una proyección de la tendencia en el estado posterior.

Esta técnica se ha dado en llamar Mantenimiento Predictivo, y no es que realmente no comparta totalmente este término, pero me parece que sería más acertado llamarlo Mantenimiento de Diagnóstico. O como acertadamente lo llaman algunos, Mantenimiento Centrado en la Condición.

Derivado del concepto de mantenimiento de diagnóstico, surgen dos posibilidades:

1-. El diagnóstico Puntual (offline), se realiza según una rigurosa planeación y un programa específico, se efectúa en forma puntual en cada parte del equipo o maquinaria que se desea monitorear. Se establece un historial y se toman las correcciones necesarias.

2-. Monitoreo en Línea (online), o que también se podría llamar Diagnóstico con garantía en operación. La técnica consiste en introducir equipo de diagnóstico para monitoreo de la condición en forma continua; esto quiere decir que mientras equipos y maquinaria estén funcionando se podrán observar todos los parámetros previamente determinados en tiempo real, e introducir desde la central de monitoreo las correcciones pertinentes a través de servomecanismos.

5.2 Fundamentos del Diagnóstico⁶.

Primero: lo que falla no son los equipos o las máquinas, si no sus componentes.

Segundo: siempre se produce un síntoma que antecede a la falla.

La técnica consiste en Controlar, Analizar, e interpretar ese síntoma, para posteriormente definir los cursos alternos de acción.

5.3 Parámetros de Monitoreo⁷.

Pueden ser parámetros básicamente de orden mecánico, eléctrico y químico; pero en función del proceso y de los equipos y maquinaria estos pueden ser muy diversos, tal como se muestra en la tabla siguiente.

Ilustración 2. Parámetros de Monitoreo

Parámetros Mecánicos	Parámetros Eléctricos	Parámetros Químicos
Vibraciones Aceleración Velocidad Caudal Tensión Deformación Presión, etc.	Voltaje Frecuencia Amperaje Potencia	Acidez Alcalinidad Conductividad

Fuente: Artículo Mantenimiento centrado en la condición, Ing. Carlos Flores.

⁶ Artículo: Equipo de diagnóstico, Mantenimiento centrado en la condición – Ing. Carlos Flores. Facultad de ingeniería – Universidad Rafael Landívar.

⁷ Artículo: Equipo de diagnóstico, Mantenimiento centrado en la condición – Ing. Carlos Flores. Facultad de ingeniería – Universidad Rafael Landívar.

5.4 Ventajas del mantenimiento centrado en la condición⁸:

- Disminuye las interrupciones del servicio debido a fallas y averías
- Reduce los costos de mantenimiento al permitir alcanzar el máximo ciclo de vida de equipos y maquinarias, y no producirse recambios innecesarios
- Incrementa sustancialmente el indicador de confiabilidad de equipos y maquinaria
- Disminuye el estrés causado por la presencia constante de emergencias.

5.5 Desventajas del mantenimiento centrado en la condición⁹:

- El costo inicial de implementar este sistema es alto
- El costo de equipos e instrumentos de diagnóstico es inicialmente alto
- Requiere de personal especializado par operación de equipo e instrumentos
- Requiere capacitación constante en las técnicas de interpretación y diagnóstico

La realidad es que incluso la falla más pequeña puede conducir a una falla catastrófica sino se resuelve proactivamente. El monitoreo del estado de la máquina y el control de la contaminación son clave para eliminar fallas.

⁸ Artículo: Equipo de diagnóstico, Mantenimiento centrado en la condición – Ing. Carlos Flores. Facultad de ingeniería – Universidad Rafael Landívar.

⁹ Artículo: Equipo de diagnóstico, Mantenimiento centrado en la condición – Ing. Carlos Flores. Facultad de ingeniería – Universidad Rafael Landívar.

5.6 Termografía¹⁰

Ilustración 3 Análisis termográfico con imagen térmica



Fuente: SETISA. Ecoenergía. Subdivisión Eléctrica. Análisis de Termografía. [Sitio Web]. (Recuperado el 15 de Julio de 2017). Disponible en <http://www.setisa.com.sv/index.php/analisis-de-termografia>

Permite analizar de manera oportuna y en tiempo real fallas que presenten equipos mecánicos, eléctricos, sistemas térmicos y líneas de transmisión en su operación normal, para mejorar la confiabilidad y disponibilidad a través de acciones dirigidas a evitar paradas no programadas eliminando riesgos y aumentando la seguridad a personas y equipos.

10

Tomado de: http://www.transequipos.com/forms/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=132

5.7 Vibraciones¹¹

Ilustración 4. Análisis de Vibraciones Mecánicas



Fuente: Técnicas predictivas. Mantenimiento a equipos rotativos. Análisis de Vibraciones Mecánicas. [Sitio Web]. (Recuperado el 21 de Noviembre de 2017). Disponible en <http://www.tecnicaspredictivas.com/>

Una gestión optimizada de los activos físicos mediante el uso de la técnica de análisis de Vibraciones con equipos de última generación y mediante la recolección periódica de datos y su análisis interpretando los espectros de vibraciones en velocidad y aceleración según el caso, y su relación con las formas de onda, para así permitir reconocer, identificar y calificar la severidad de los problemas y establecer un programa eficiente de mantenimiento para mantener la máxima confiabilidad de los equipos.

¹¹

Tomado de: http://www.transequipos.com/noticias/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=134

5.8 Diagnóstico de Motores Estático y Dinámico¹²

Ilustración 5. Diagnóstico de motores eléctricos.



Fuente: El Autor.

Un Plan de Mantenimiento Predictivo (PM) para motores eléctricos debe incluir las pruebas estáticas y dinámicas de motores eléctricos más básicas que son vitales para evaluar la confiabilidad de operación de un motor incluyendo:

- Diagnóstico del rotor para identificar barras fracturadas, porosidad, conexiones de alta resistencia.
- Verificar el estado del entre-hierro detectando desbalances magnéticos.
- Verificar condición del estator chequeando su resistencia entre fases, inductancia, impedancia, y desbalances de corriente, y así determinar cortos entre espiras o entre fases, como también conexiones internas.
- Verificar aislamiento mediante pruebas como Índice de Polarización y voltaje de paso.
- Calidad de Potencia para advertir con anticipación la existencia de una condición inadecuada susceptible de corregir.

¹² Tomado de: <http://www.transequipos.com/servicios/confiabilidad/diagnostico-de-motores-estatico-y-dinamico.html>

- Verificación del estado de todas las conexiones tanto internas como hacia el CCM, chequeando las resistencias de cada fase, corriente y voltaje para asegurar un balance adecuado.

6. CRITICIDAD¹³

6.1 ¿Qué es el análisis de Criticidad?¹⁴

Es una metodología que permite establecer jerarquías entre:

- Instalaciones
- Sistemas
- Equipos
- Elementos de un equipo

Las técnicas de análisis de criticidad son herramientas que permiten identificar y jerarquizar por su importancia los activos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos y tecnológicos)

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de un proceso de producción complejo, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

A continuación se presentan algunos criterios comunes a utilizar dentro de los procesos de jerarquización:

- Flexibilidad operacional (disponibilidad de función alterna o de respaldo)
- Efecto en la continuidad operacional / capacidad de producción
- Efecto en la calidad del producto
- Efecto en la seguridad, ambiente e higiene
- Costos de paradas y del mantenimiento
- Frecuencia de fallas / confiabilidad
- Condiciones de operación (temperatura, presión, fluido, caudal, velocidad)
- Flexibilidad / accesibilidad para inspección & mantenimiento
- Requerimientos / disponibilidad de recursos para inspección y mantenimiento

¹³ PARRA MARQUEZ, Carlos y CRESPO MARQUEZ, Adolfo. Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad de Equipos aplicadas en el proceso de Gestión de Activo. España. Septiembre 2012.

¹⁴ PARRA MARQUEZ, Carlos y CRESPO MARQUEZ, Adolfo. Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad de Equipos aplicadas en el proceso de Gestión de Activo. España. Septiembre 2012

- Disponibilidad de repuestos.

Descripción de la metodología de Análisis de Criticidad

A continuación se presentan dos modelos de jerarquización basados en la evaluación del riesgo y orientados a identificar los equipos críticos de un sistema de producción.

6.2 Método de Análisis de Criticidad Cualitativo¹⁵

En este primer método se presenta una técnica que hace referencia a un análisis puramente cualitativo sobre la jerarquía de equipos de producción.

- Para llegar a esa clasificación final de proceder de forma secuencial a realizar una serie de preguntas al equipo natural de trabajo conformado en la empresa para tal fin.
- La secuencia marca la importancia que da el equipo de trabajo a cada atributo que se analiza a la hora de establecer la prioridad del mismo.
- De alguna forma, el orden en la secuencia marca el peso que damos en nuestra gestión a cada uno de los atributos.

Sugerencia de pregunta basadas en la existen tres respuestas posibles A, B o C que nos sirven para caracterizar al equipo:

- La primera pregunta hace referencia al medio ambiente (E), un equipo se podría considerar como de categoría A, si un fallo del mismo puede provocar que la empresa tenga que recurrir a dar aviso a las autoridades públicas por problemas que pudiesen afectar a la salud de las personas y del medio ambiente (por ejemplo: Una fuga de amoníaco). El equipo sería de categoría B si un fallo del mismo

¹⁵ PARRA MARQUEZ, Carlos y CRESPO MARQUEZ, Adolfo. Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad de Equipos aplicadas en el proceso de Gestión de Activo. España. Septiembre 2012

provocase una contaminación o afección que pudiera gestionarse en el interior de la empresa (por ejemplo, una fuga de sosa que se controla con la red de aguas de la empresa). Finalmente un equipo se podría considerar de categoría C si un fallo del mismo no produjese ningún tipo de contaminación medioambiental.

- Las cuestiones de seguridad (S) se consideran a continuación. Los activos de categoría "A" serán aquellos cuyos fallos pueden producir accidentes que provocan absentismo laboral temporal o permanente en el lugar de trabajo. Los fallos en activos de la categoría "B" podrían causar daños menores a la gente en el trabajo, no producen la ausencia de trabajo. Una vez más, los activos de la categoría "C" son activos cuyos fallos no pueden crear consecuencias relacionadas con la seguridad de las personas

- La calidad (Q) es la siguiente cuestión que debe evaluarse utilizando el flujograma. El procedimiento para esta evaluación es muy similar al que ya hemos llevado a cabo para la evaluación medio ambiental de los equipos. Los fallos de calidad también pueden producir un importante impacto externo, o una imagen muy negativa de la compañía en el mercado, al detectarse un fallo después de llegar el producto al cliente final (los consumidores en nuestro caso de estudio). Categoría A se dedica ahora a los activos que pudieran sufrir este tipo de fallo. Categoría "B" y "C" sería que los activos que, cuando no se mantienen adecuadamente, podría sufrir fallos que producen sólo una consecuencia interna o que no ocasionan ningún impacto, respectivamente

- El tiempo de trabajo de un activo (W) también puede condicionar su criticidad. En este caso de estudio, los activos que trabajan a tres turnos serán de categoría "A". Los activos con dos turnos de trabajo estarán bajo categoría "B". Finalmente, cuando los activos de producción tienen en programación un solo turno de trabajo al día, los incluiremos en la categoría "C". En algunas ocasiones el trabajo extra que se requiere para el mantenimiento correctivo de activos, como media, también se puede considerar dentro de este criterio. Los activos que requieren una gran

cantidad de horas extras para ser reparados entrarían en categoría "A", y así sucesivamente.

- La entrega (D) es un criterio relacionado con el impacto operacional de un fallo del activo. Los activos de categoría "A" son ahora los que producen un paro en toda la fábrica cuando fallan. Los activos de categoría "B" pueden dejar sólo una línea de producción parada al fallar. Por último, los activos que no producen una interrupción significativa de la producción serían de la categoría "C".

- La fiabilidad (F) se introduce como criterio igualmente en el flujograma y se relaciona con la frecuencia de fallo que pueda existir en un activo que no se mantiene correctamente. En nuestro caso de estudio, consideramos como categoría "A" los activos con frecuencia de fallo menor de 5 h. Los activos con frecuencias de fallo mayor de 5 h y menor de 10 h se incluirán en la categoría "B". Finalmente, para activos con frecuencias de fallo superiores a 10 h, utilizaríamos la categoría "C". Es normal tener en cuenta un criterio de frecuencia que produce el 20% de los activos dentro de la categoría "A", sobre un 30% de la "B", mientras que el 50% entraría en categoría "C".

- La mantenibilidad (M), o aptitud del activo para ser mantenido, es el último criterio que debe ser tenido en cuenta. Este criterio se relaciona con el tiempo medio necesario para reparar un fallo. Los activos que requieren un tiempo medio de reparación de más de 90 minutos se catalogan como "A". Entre 45 y 90 minutos estaría en categoría "B". Por último aquellos cuyo tiempo medio de reparación es inferior a 45 minutos estarían dentro de categoría "C".

Los sistemas se pueden representar como una matriz de criticidad de la siguiente forma:

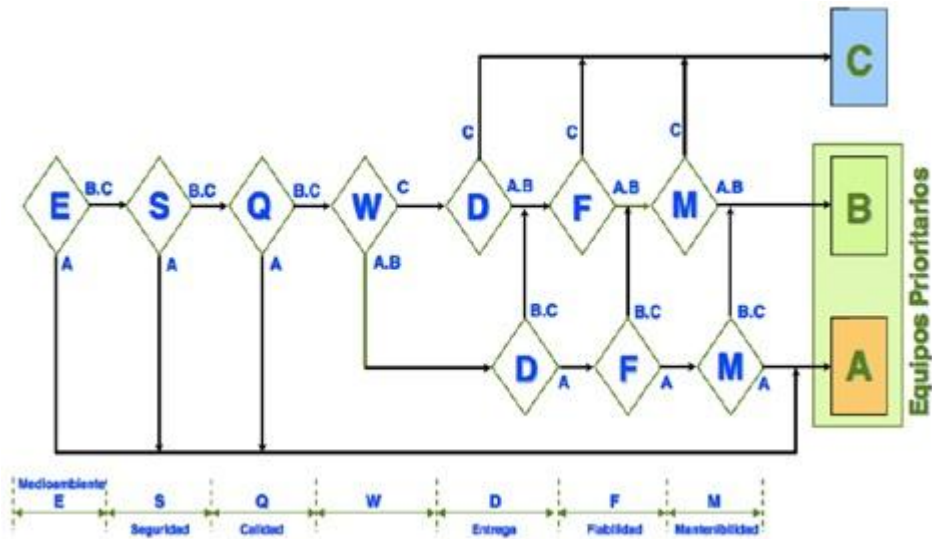
Ilustración 6. Matriz de Criticidad Análisis Cualitativo.

A	C	C	C	MC	MC	MC	MC
B	NC	NC	C	C	MC	MC	MC
C	NC	NC	NC	NC	C	C	C
	E	S	Q	W	D	F	M

Fuente: Artículo Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad de Equipos aplicadas en el proceso de Gestión de Activos. Carlos Parra y Adolfo Crespo.

También, puede ser establecido como un modelo de flujo de criticidad:

Ilustración 7. Modelo del flujograma de Criticidad.



Fuente: Artículo Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad de Equipos aplicadas en el proceso de Gestión de Activos. Carlos Parra y Adolfo Crespo.

Igualmente, las posibles respuestas pueden aumentar A, B, C, D o E y las mismas pueden ser numeradas.

6.3 Método de Análisis de Criticidad Cuantitativo¹⁶

Para determinar la criticidad de una unidad o equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla.

En un eje se representa la frecuencia de fallas y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla.

Ilustración 8. Matriz de Criticidad. Análisis Cuantitativo.



Fuente: Biblioteca de Ingeniería de la universidad de Sevilla. Proyectos. [Sitio Web]. (Recuperado el 18 de Agosto de 2017). Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5311/fichero/5-+Analisis+de+criticidad.pdf>

¹⁶ Artículo: Análisis de Criticidad. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5311/fichero/5-+Analisis+de+criticidad.pdf>

La matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el Valor de Criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis.

6.4 Niveles de análisis para evaluar criticidad¹⁷

Ilustración 9. Diagrama de bloques para evaluar criticidad.



Fuente: Biblioteca de Ingeniería de la universidad de Sevilla. Proyectos. [Sitio Web]. (Recuperado el 18 de Agosto de 2017). Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5311/fichero/5-+Analisis+de+criticidad.pdf>

Información necesaria:

Se requiere contar con la siguiente información para realizar el análisis:

- Relación de las instalaciones (se refiere al tipo de instalaciones).
- Relación de sistema y equipo por instalación (se requiere a diferentes tipos de sistemas y equipos).
- Ubicación (área geográfica, región) y servicio.
- Filosofía de operación de la instalación y equipo.
- Diagramas de Flujo de Proceso (DFP).

¹⁷ Artículo: Análisis de Criticidad. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5311/fichero/5-+Analisis+de+criticidad.pdf>

- Registros disponibles de eventos no deseados o fallas funcionales.
- Frecuencia de ocurrencia de los eventos no deseados o las fallas consideradas en el análisis.

Modelo de factores ponderados basado en el concepto del riesgo.

- Frecuencia de fallas:

Representa las veces que falla cualquier componente del equipo implicando la pérdida total de su operatividad, es decir que implique una parada. Estadística tomada de los eventos ocurridos durante un año.

- Tiempo promedio para reparar:

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

- Impacto en la Producción:

Representa la producción aproximada porcentualmente que se deja de obtener (por día), debido a fallas ocurridas (diferimiento de la producción). Se define como la consecuencia inmediata de la ocurrencia de la falla, que puede representar un paro total o parcial de los equipos del sistema estudiado y al mismo tiempo el paro del proceso productivo de la unidad.

- Impacto satisfacción al cliente:

Se evalúa el impacto que la ocurrencia de una falla afectaría a las expectativas del cliente. En este caso se considera cliente a las áreas a las cuales se les suministran los servicios industriales.

- Costo de reparación:

Se refiere al costo promedio por falla requerido para restituir el equipo a condiciones óptimas de funcionamiento, incluye labor, materiales y transporte.

- Impacto en la seguridad personal:

Denota la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones y en los cuales alguna persona pueda o no resultar lesionada.

- Impacto ambiental:

Representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones produciendo la violación de cualquier regulación ambiental, además de ocasionar daños a otras instalaciones.

6.5 ¿Qué elementos se deberían tomar en cuenta para determinar la criticidad?¹⁸

La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación.

A continuación se presentan de forma detallada, las expresiones utilizadas para jerarquizar los sistemas a partir del modelo CTR:

$$\text{CTR} = \text{FF} \times \text{C}$$

Donde:

CTR: Criticidad total por Riesgo.

FF: Frecuencia de fallos (rango de fallos en un tiempo determinado (fallos/año))

C: Consecuencias de los eventos de fallos.

Donde se supone además que el valor de las consecuencias (C), se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\text{C} = \text{IO} + \text{FO} + \text{CM} + \text{SHA}$$

Siendo:

IO = Factor de impacto en la producción.

FO = Factor de flexibilidad operacional.

CM = Factor de costes de mantenimiento.

SHA = Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente

La expresión final del modelo de priorización de CTR será la siguiente:

$$\text{CTR} = \text{FF} \times (\text{IO} + \text{FO} + \text{CM} + \text{SHA})$$

¹⁸ Artículo: Análisis de Criticidad. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5311/fichero/5-+Analisis+de+criticidad.pdf>

7. MANTENIMIENTO DE TRANSFORMADORES EN CAMPO

7.1 Transformador¹⁹

Ilustración 10. Transformador de Potencia



Fuente: Autor del Proyecto

Un transformador es un dispositivo que cambia potencia eléctrica alterna de un nivel de voltaje a potencia eléctrica a otro nivel de voltaje mediante la acción de un campo magnético.

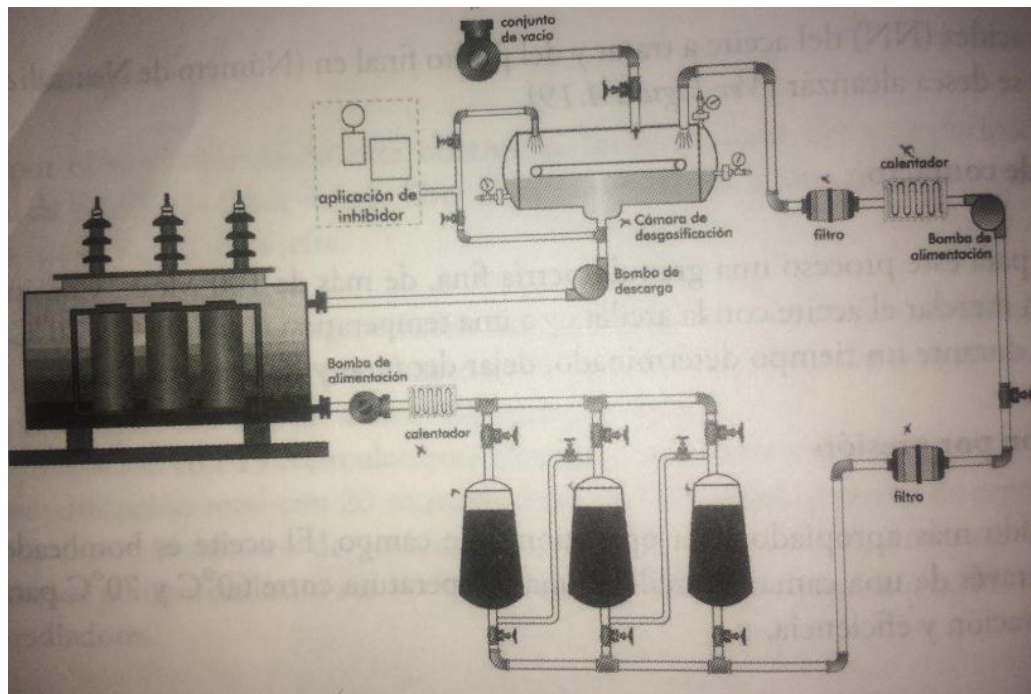
Consta de dos o más bobinas de alambre conductor enrolladas alrededor de un núcleo ferromagnético común. Estas bobinas no están conectadas en forma directa. La única conexión entre las bobinas es el flujo magnético común que se encuentra dentro del núcleo.

¹⁹ CHAPMAN, Stephen. Maquinas eléctricas, tercera edición, Mac Graw Hill.

Uno de los devanados del transformador se conecta a una fuente de energía eléctrica alterna y el segundo suministra energía eléctrica a las cargas. El devanado del transformador que se conecta a la fuente de potencia se llama devanado primario o de entrada y el devanado que se conecta a la carga se llama devanado secundario o de salida.

7.2 Regeneración del sistema de aislamiento²⁰

Ilustración 11 Proceso de Regeneración del sistema de aislamiento.



Fuente: Libro Diagnóstico y mantenimiento. Ing. Ernesto Gallo

Toda acción efectiva de mantenimiento preventivo a transformadores, deberá ser orientada hacia proteger el papel aislante del agua y de los productos de oxidación del aceite.

²⁰ GALLO MARTINEZ, Ernesto. Diagnóstico y mantenimiento de transformadores en Campo, Segunda Edición, Gerencia y Diseño Ltda., Bogotá, 2010.

La regeneración de aislamientos se define como la recuperación de las condiciones del sistemas de aislamiento papel-aceite, mediante la remoción de contaminantes y productos de degradación del aceite mineral, tales compuestos polares ácidos y coloidales, por medios químicos o adsorbentes.

7.3 Proceso de Regeneración²¹

Tiene como objeto primordialmente obtener la limpieza total del transformador y en especial de la celulosa hasta dejarlo libre de contaminantes ácidos padre, y en segundo lugar la recuperación del aceite.

Se tienen varios grados de regeneración dependiendo del índice de calidad del aceite, diferenciándose uno del otro por el número de pasadas por el medio adsorbente.

- Regeneración con seis a diez recirculaciones
- Regeneración con 15 recirculaciones (Limpieza con aceite caliente)
- Desludificación total con 20 recirculaciones. Es el mismo proceso de regeneración, pero con más números de pasadas, al menos 20 con el fin de remover los ácidos pesados polimerizados, o sea los lodos, impregnados en el papel, núcleo, devanados y radiadores.

Consiste en los siguientes pasos:

1) Etapa de tratamiento con Tierra Fuller

Tierra Fuller (atapulgita): Es una arcilla adsorbente con base en silicatos de aluminio hidratado la cual se encuentra naturalmente en forma bruta.

Mediante procesos de calcinación se obtiene un producto de gran utilidad que se comporta como sustancia adsorbente de partículas acidas.

²¹ GALLO MARTINEZ, Ernesto. Diagnóstico y mantenimiento de transformadores en Campo, Segunda Edición, Gerencia y Diseño Ltda., Bogotá, 2010.

Comercialmente viene en varias granulometrías dependiendo del proceso que se utilice.

Su función limpiante consiste en atraer iónicamente sustancias polares y acidas dejando libre de ellas el aceite aislante. La cantidad de tierra Fuller requerida depende del estado inicial de acides del aceite a tratar y del punto final en que se debe alcanzar.

Método de contacto

Se utiliza para este proceso una granulometría fina, de más de 100 Mesh. Consiste este proceso en mezclar el aceite con la arcilla, y a una temperatura en 60°C y 70°C agitar la mezcla, durante un tiempo determinado, dejar decantar y finalmente filtrar.

Percolación por presión

Es el método más apropiado para operaciones de campo. El aceite es bombeado con presión a través de una cama de arcilla a una temperatura en 60°C y 70°C para una mejor activación y eficiencia.

El proceso puede efectuarse en un solo tanque o varios conectados en serie, con calentamiento previo, al igual que filtros de entrada y salida del proceso.

A continuación podemos observar el comportamiento en el tiempo de los parámetros indicaciones de la presencia de sustancias polares y/o lodos en un transformador.

Evolución de un proceso de regeneración:

Potencia: 3 MVA

Marca: Siemens

Voltajes: 34.5/13.8 Kv

Volumen de Aceite: 520 Galones

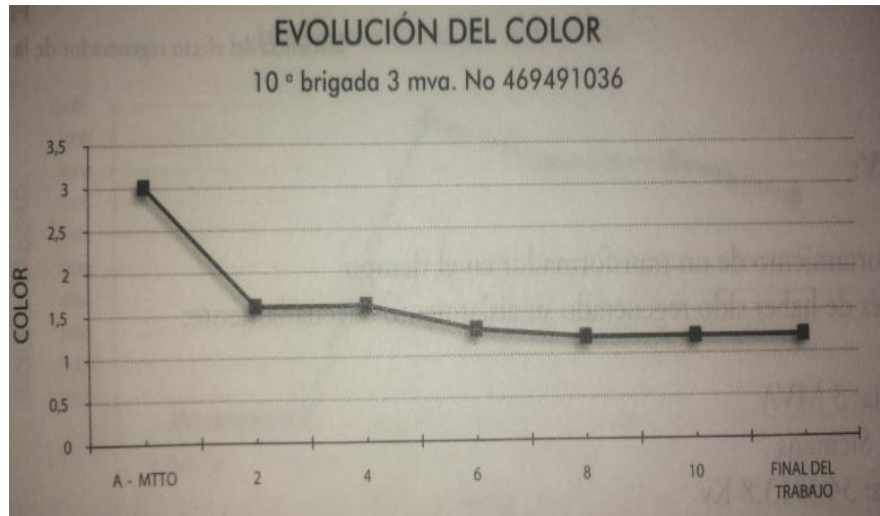
Año de Fabricación: 1981

Ilustración 12. Numero de pasadas por el equipo de Tierra Fuller

No DE PASADAS POR LA TIERRA FULLER	A - MITO	2	4	6	8	10	final del trabajo
1. No DE NEUTRALIZACIÓN NORMA ASTM D-974	0,1	0,018	0,013	0,013	0,0044	0,004	0,0044
2. TENSION INTERFACIAL NORMA ASTM D-971	12	31,96	34	38	38	37,8	42,7
3. COLOR NORMA ASTM D-1500	3	1,6	1,6	1,3	1,3	1,2	1,2
4. INDICE DE CALIDAD (TIF/NN)	349	1.791	2.541	2.840	8.636	8.591	9.785

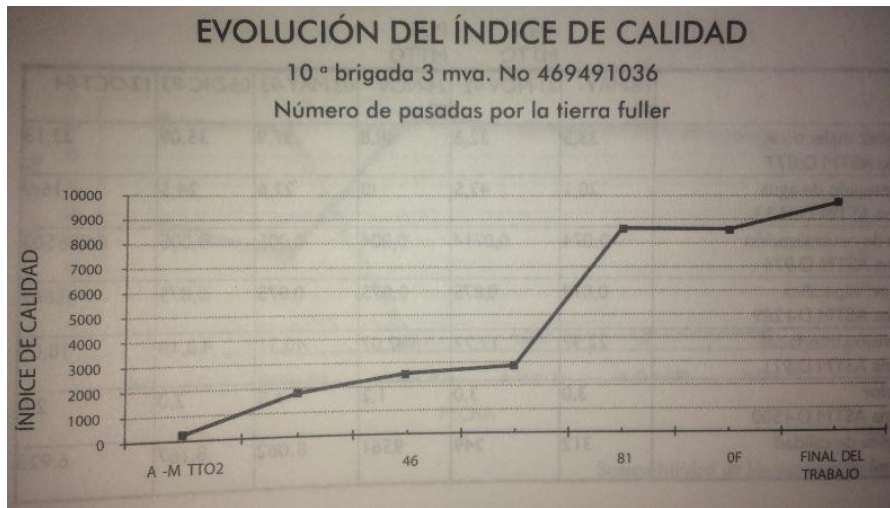
Fuente: Libro Diagnóstico y mantenimiento. Ing. Ernesto Gallo

Ilustración 13. Evolución del Color.



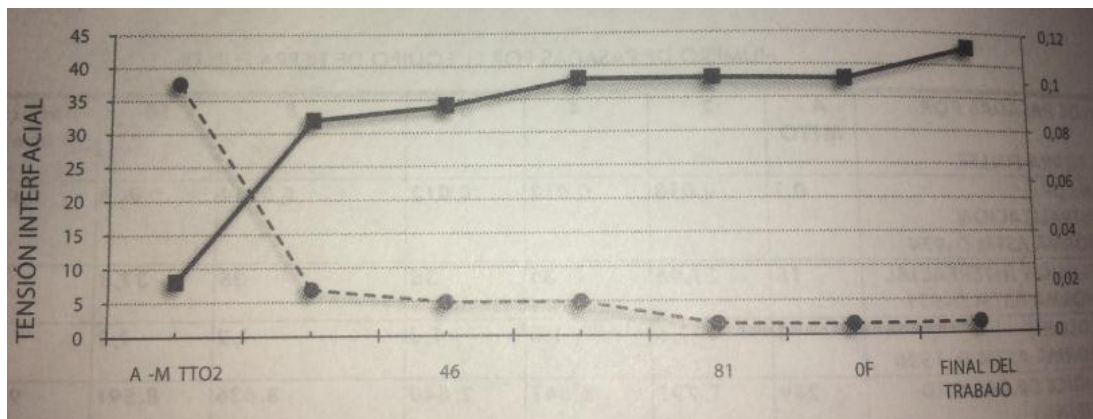
Fuente: Libro Diagnóstico y mantenimiento. Ing. Ernesto Gallo

Ilustración 14. Evolución del índice de calidad.



Fuente: Libro Diagnóstico y mantenimiento. Ing. Ernesto Gallo

Ilustración 15. Evolución de la Tensión Interfacial.



Fuente: Libro Diagnostico y Mantenimiento. Ing. Ernesto Gallo.

2) Etapa de Termovació.

Una vez el aceite ha pasado por el proceso de tierra Fuller, debe ser tratado adecuadamente en un equipo de Termovació, para ser sometido a filtrado fino, calentamiento, desgasificado y deshidratado.

El aceite tratado primero con la tierra Fuller y luego en el proceso de Termovació es introducirlo nuevamente al transformador a una temperatura

entre 75°C y 85°C para disolver como dijimos los lodos endurecidos. Al cabo de “n” recirculaciones dependiendo del índice de calidad se habrá logrado la remoción total de las sustancias polares, productos de oxidación o los lodos endurecidos dentro del transformador y hemos logrado nuestro objetivo sin estropear los aislamientos.

3) Etapa de adición de inhibidor.

Durante el proceso de tratamiento con tierra Fuller los inhibidores naturales contra oxidación que todavía posea el aceite son también adsorbidos por la tierra Fuller. Por tanto es necesario recuperar la estabilidad a la oxidación del aceite. Ello se logra agregando un aditivo conocido como DBPC (2,6 Diterciario-Butil Para Cresol), o el DBP (2,6 Dibutil Fenol) en una proporción no mayor a 0,3%.

Es de anotar que cuando un transformador es sometido al proceso de regeneración o desludificación de aislamientos con tierra Fuller, se obtiene el beneficio de la disminución de las cargas estáticas, que eventualmente se pueden presentar en el sistema papel – Aceite.

8. EQUIPO DE TRATAMIENTO DE ACEITE 8,5

Ilustración 16. Equipo de tratamiento de aceite.



Fuente: Telstar Vacuum Solutions. Productos. Tratamiento de aceite al vacío. [Sitio Web]. (Recuperado el 18 de Agosto de 2017). Disponible en: <http://www.telstar-vacuum.com/productos/tratamiento%20de%20aceite%20al%20vacio%20eds%20-%20edc.htm?language=es>

Este equipo utilizado para realizar los mantenimientos a transformadores en campo, está compuesto por un conjunto de elementos engranados de forma tal que permiten purificar el aceite y dentro de los procesos de vacío, sacarle la humedad a los transformadores, garantizando el óptimo funcionamiento de estos activos eléctricos. Cabe anotar que la humedad presente en el aceite le disminuye la rigidez dieléctrica y la eliminación de este factor contribuye a eliminar fallas en los transformadores.

Forman parte de este equipo los elementos listados a continuación:

- Tres bombas (Alimentación, vacío y descarga).
- Tres Motores de ½ Hp (Alimentación, vacío y descarga).
- Dos filtros de secado.
- Tres tanques de tierra Fuller.
- Tres calentadores (dos de Termovacío y uno de tierra Fuller).
- Una cámara de vacío.
- Un tablero de control.
- Un autotransformador.
- Tubería y mangueras de circulación de 1”.
- Válvulas de tuberías de 1”.
- Dispositivos de medición (Vacuometro, Contador (en horas) del uso del equipo).

9. DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO

A continuación se desarrollará un análisis de criticidad de cada uno de los elementos que intervienen en el equipo de tratamiento de aceite. De igual manera se especificaran las tareas de mantenimiento de acuerdo a cada uno de los componentes y le frecuencia de dichas tareas.

Cabe anotar y resaltar que en la presente monografía solo se propone utilizar las siguientes técnicas predictivas: Termografía, Vibraciones Mecánicas y diagnóstico de motores.

Elemento	Falla Potencial	Tipo de Efecto	Ocurrencia	Criticidad	Método a utilizar
Bombas de Alimentación, vacío y descarga.	Rompimiento de Sellos	4	3	12	Termografía y vibraciones
Motores de Alimentación, vacío y descarga.	Avería por sobretensión	4	3	12	Termografía, vibraciones y diagnóstico de motores
Filtros de secado.	Taponamiento	3	2	6	Termografía y limpieza general
Tanques de tierra Fuller.	Taponamiento	3	2	6	Termografía y limpieza general
Calentadores de Termovacío y tierra Fuller.	Rompimiento de conducto de aceite	2	3	6	Termografía
Cámara de vacío.	Sobrellenado de aceite	2	2	4	Termografía y limpieza general
Un tablero de control.	Mal ajuste de cableado	5	3	15	Termografía y limpieza general
Autotransformador.	Mal ajuste de conexiones	5	3	15	Termografía y limpieza general
Tubería y mangueras de circulación.	Taponamiento	3	4	12	Termografía y limpieza general
Válvulas de tuberías.	Taponamiento	3	4	12	Termografía y limpieza general

Ocurrencia (5 Años)

2 – Menor o igual a 1

3 – Menor de 10

4 – Menor o igual de 20

5 – Mayor de 20

Tipo de efecto

E – 2

D – 3

M – 4

S – 5

Al ser esta una propuesta de plan de mantenimiento, tenemos datos aleatorios de elementos críticos para la máquina, podemos asegurar que todos los elementos son críticos debido a que si forma de engranaje no permite que ninguno falle, todos van de la mano y no existen back-up de dichos elementos.

10.RECOMENDACIONES

- Capacitar al personal técnico del área para intervenir cada uno de los elementos en caso de alguna falla.
- Se hace necesario la adquisición de equipos de última tecnología para implementar el plan, en caso de tenerlos deben contar con su respectiva calibración.
- Facilitar al encargado del proyecto todos y cada uno de los planos de la máquina para mayor facilidad en la intervención.
- Apoyar con recurso humano y económico al momento de hacer la implementación de este plan propuesto.

11. CONCLUSIONES

- Podemos fortalecer la operación, producción, disponibilidad, confiabilidad y conservación de estos activos mediante el desarrollo de estrategias de mantenimiento basado en condición, soportado por un talento humano con excelente conocimiento y experiencia.
- Actualmente las empresas se encuentran muy interesadas en mejorar su proceso de operación, esto permite el desarrollo de una planta de mantenimiento predictivo – CBM – para mantener una máxima disponibilidad de sus activos.
- Con la propuesta de mantenimiento de este plan, se reducen costos de operación y se prolonga la vida útil del equipo.
- La contribución a que el trabajo se lleve a cabo de una forma más organizada, es creando instructivos de las actividades CBM.
- El personal encargado del mantenimiento predictivo – CBM debe reunir toda la información de los activos utilizando técnicas no destructivas como las nombradas en este plan (Termografía, Vibraciones y Análisis de Motores).

BIBLIOGRAFÍA.

CHAPMAN, Stephen J. Maquinas eléctricas. Tercera edición. Mac Graw Hill.

RAJI Murugan, RAJU Ramasamy, Failure analysis of power transformer for effective maintenance planning in electric utilities, In Engineering Failure Analysis, Volume 55, 2015, Pages 182-192, ISSN 1350-6307, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.06.002>. Consultado en: (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630715001843>)

FLORES. Carlos E. Artículo: Equipos de Diagnóstico – Mantenimiento centrado en la condición. Facultad de Ingeniería – Universidad Rafael Landívar. Consultado en http://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin01/URL_01_MEC01.pdf

GALLO MARTINEZ, Ernesto. Diagnóstico y mantenimiento de transformadores en Campo, Segunda Edición, Gerencia y Diseño Ltda, Bogotá, 2010.

Guy-Oscar Regnima, Amidou Betié, Thomas Koffi, Olivier K. Bagui, Issouf Fofana, Abaka Kouacou, Jérémie Zoueu, Monitoring power transformers oils deterioration using structured laser illumination planar imaging, In Measurement, Volume 113, 2018, Pages 38-45, ISSN 0263-2241, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.08.019>. Tomado de: (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224117305171>)

PERTUZ C, Alberto. Memorias de clase Principios de Mantenimiento. Especialización en gerencia de mantenimiento. UIS. Bogotá. 2016.

JARDINE Andrew K.S., LIN Daming y BANJEVIC Dragan. Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 20, Issue 7, October 2006, Pages 1483-1510.

ANEXOS

Anexo A: Cámara de vacío, filtro y tablero de control.



Anexo B: Mangueras de circulación – Conexión tanques de Tierra Fuller.



Anexo C: Tablero de control Principal.



Anexo D: Salida de Cámara de vacío.



Anexo E: Tuberías y válvulas de conexión.



Anexo F: Tuberías y válvulas de conexión.

