

OPTIMIZACION DEL FUNCIONAMIENTO DE MOTORES ELECTRICOS EN LA PLANTA DE GAS VIBORA, CON LA IMPLEMENTACION DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

*José Luis Limpías Antequera
(Repsol-Ypf Bolivia)*

RESUMEN

Este artículo destaca los resultados de eficiencia operativa, reducción de costos de mantenimiento , prolongación de la vida útil de las máquinas , planificación en las tareas de intervención, lo cuál se traduce en una optimización del funcionamiento de los motores eléctricos en general. Recomienda la implementación de un adecuado Programa de Mantenimiento Predictivo para Motores Eléctricos, por cuanto se ha demostrado que en el caso particular de una Planta de gas , ser una transición exitosa , más eficiente en costos, mano de obra, repuestos, partiendo de una metodología de mantenimiento preventiva / correctiva, cambiando hacia la condición predictiva.

Para alcanzar esta meta, es necesario cambiar la filosofía de la forma de mantenimiento por todas las ventajas que ello representa en la economía y tecnología de cualquier empresa.

1. INTRODUCCION

Las cada vez mayores exigencias de competitividad y eficiencia técnico-económica a las que se ve sometida la industria, han repercutido directamente en la evolución del mantenimiento en todos los equipos instalados.

Son muchos los esfuerzos que se vienen realizando hacia la consecución de los objetivos, de aumento de disponibilidad, reducción de fallas intempestivas, para poder alcanzar la optimización de calidad y reducción de costos de mantenimiento.

Los continuos avances tecnológicos, han permitido en estos últimos años, desarrollar nuevas herramientas que permiten diagnosticar el estado de los equipos, potenciando el mantenimiento predictivo, brindando así mayor confiabilidad y disponibilidad en las máquinas.

Las prácticas de mantenimiento preventivo costosas de años anteriores deben reemplazarse o mezclarse con las técnicas de mantenimiento predictivo de hoy.

Con la incorporación desde hacen tres años de un software especializado en controlar la gestión del mantenimiento , el cuál nos ha permitido conocer todas las ordenes de trabajo correspondientes a cada equipo, analizar en detalle el historial de los trabajos ejecutados en los mismos, tener una base de datos confiable y versátil, podemos efectuar ahora un estudio técnico económico de la operación de los motores eléctricos instalados en una Planta de gas.

Este artículo destaca la importancia de la implementación del Mantenimiento Predictivo en los motores eléctricos de la Planta de Gas VIBORA. Presenta y analiza las técnicas de mantenimiento utilizadas, encaminadas a la elaboración de un plan de mantenimiento, resaltando los recursos humanos y tecnológicos que tienen que ser cuidadosamente seleccionados para permitir asegurar el éxito de su implementación.

Para llevar a cabo este programa , es indispensable que todas las partes involucradas sean incluidas en el proceso de llevar adelante el control de gestión de todas las máquinas analizadas. Ello asegurará buena comunicación y permitirá resolver cualquier conflicto o divergencia como lo establecen las tareas y responsabilidades asignadas.

Por otra parte se analizan costos de mantenimiento, demostrando la disminución de costos en gran medida versus otras formas de mantenimiento convencionales.

2. TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO

La evolución de las técnicas de mantenimiento ha ido siempre en consonancia con las evoluciones tecnológicas que han permitido incrementar significativamente el aprendizaje acerca del comportamiento degenerativo interno de los equipos, que hace tan solo unos cuantos años era prácticamente desconocido.

Cabe destacar la idea de que el mantenimiento tiene como principal función hacer que los sistemas no fallen y que además permanezcan en operación durante el mayor tiempo posible.

Los equipos o sistemas, aparte de presentar su lógico envejecimiento por progresivo deterioro de sus cualidades, pueden fallar como consecuencia de otras causas externas, que son las más difíciles de evitar.

El conocimiento del estado de los equipos, por tanto, permitirá definir intervenciones o no en éstos con el fin de lograr los objetivos del mantenimiento.

Desde que se aplicaban las técnicas correctivas en los equipos, hasta las más modernas técnicas de monitoreo en continuo han transcurrido una serie de etapas que conviene analizarlas.

El mantenimiento correctivo, por la causa que fuere, consistía en la intervención en la unidad como consecuencia de una falla producida durante su normal funcionamiento. Esta, desde luego es la idea más antigua del mantenimiento, relegada en la actualidad únicamente a unidades de costo tecnológico muy reducido y con facilidad de encontrar en el mercado.

Esta forma de actuar, implicaba a la larga costos muy elevados y gran dificultad en la planificación de inversiones. Sus características más importantes son :

- ✍ Necesita poco o ningún planeamiento
- ✍ No se necesita programa especial para reparaciones o cambios de equipos o instalaciones.
- ✍ Al pararse una máquina por este tipo de falla, se detiene la producción, con pérdidas a veces considerables en cantidad y calidad.
- ✍ A medida que se va reparando el equipo, se aleja del nivel de operatividad original, siendo a la larga, muy oneroso y difícil ponerlo en condiciones operativas normales.
- ✍ Los fallos se van sucediendo cada vez con más frecuencia, aumentando las emergencias y disminuyendo la producción, consecuentemente también la calidad y cantidad.
- ✍ La mano de obra no es necesariamente de calidad y tampoco los resultados de los trabajos.
- ✍ La información técnica original pierde vigencia inmediatamente, dado que el tipo de reparaciones que se hacen desvirtúan las condiciones y formas originales del equipo o instalación.

Se produjo la lógica evolución pasando por el denominado mantenimiento programado. Esta técnica aunque hoy en día en disminución, todavía es utilizada dependiendo de la unidad considerada y supone en casos particulares una mejor planificación de recursos. Se establecen revisiones periódicas en los equipos independientemente de su estado, basándose exclusivamente en el tiempo transcurrido o por el número de actuaciones realizadas.

Este tipo de mantenimiento, supera en muchos aspectos al mantenimiento correctivo, por cuanto :

- ✍ Permite el uso racional de los medios y de la mano de obra. Existe un mejor aprovechamiento del tiempo.
- ✍ Permite llevar un análisis de costos del mantenimiento.
- ✍ Exige mantener al día la información técnica.
- ✍ Las máquinas se mantienen en niveles aceptables de operatividad.
- ✍ Es posible trabajar sobre la base de presupuestos de servicios.

El principal inconveniente de esta filosofía es que a menudo se incurre en elevados costos, en algunos casos no necesarios, y además, en algunas ocasiones, el desconocimiento de los tipos de fallas de las unidades hacía que no se lograran reducir significativamente las tasas de fallo por problemas inherentes a los equipos.

Una valiosa herramienta que contribuye a ser más eficaz la función del mantenimiento programado, es el mantenimiento preventivo, el cuál no es un tipo más de mantenimiento, sino es un estilo de realizar mantenimiento.

La virtud principal de este sistema es la de determinar a priori las reparaciones o ajustes por realizar en los puntos críticos de equipos o instalaciones, con el fin de evitar todos los inconvenientes que provocarían las paradas de emergencia.

Esta forma de mantenimiento se basa en las inspecciones periódicas de cada equipo, a efectos de detectar síntomas de averías o fallas. Por diferentes medios se puede llegar a conocer con alguna certeza el momento en que podría llegar a producir la falla.

Otra característica de esta modalidad de mantenimiento es el uso del registro sistemático de lo acontecido, lo cual permite llegar a establecer una verdadera historia clínica de cada equipo o máquina importante. Este factor permite entrar a realizar tareas en ellos, con suficiente antelación a la avería, y además programar tareas similares en diferentes equipos o tareas diferentes en un mismo equipo (paros programados). En ambos casos es posible determinar tiempos, mano de obra y elementos necesarios, costos, etc. Con el consecuente aprovechamiento del tiempo.

Las características más sobresalientes que presenta esta forma de mantenimiento son :

- ✍ Sistema de aplicación selectiva siendo necesario implantarlo por pasos sucesivos, previamente muy bien planeados.
- ✍ Es un sistema costoso, por tanto, este método deberá aplicarse solo en equipos críticos de la producción y no en todos los equipos de la planta.
- ✍ Exige una estructura de personal con habilidad, calidad y bien entrenado.
- ✍ Exige constancia y disciplina de todos sus componentes, Dirección de la empresa, Supervisión del mantenimiento, Supervisores de otras áreas aceptan y respetan el sistema.
- ✍ Todas las partes constitutivas, Dirección, Mantenimiento, Almacenes, Compras, Ingeniería, etc. Deben estar bien organizadas, ordenadas y controladas.

La incorporación en el mercado de nuevas herramientas predictivas de diagnosis, como consecuencia del progreso de los avances tecnológicos está respondiendo adecuadamente a las exigencias actuales del mantenimiento. Estas técnicas predictivas tienen como filosofía de actuación **“realizar intervenciones únicamente cuando sea necesario”**.

La conjunción de esta idea con la del mantenimiento basado en la confiabilidad de los equipos, permite optimizar costos y desde luego, reducir la tasa de fallos. Sin embargo posee también factores negativos, el desconocimiento del tiempo de aparición de algunos fallos en las unidades y modos de fallos todavía no descubiertos.

En la actualidad, basados en las actividades predictivas, se tiende hacia las técnicas de monitoreo en continuo (Monitoring on line) de los equipos, lo cuál permite el conocimiento de su estado en tiempo real disminuyendo significativamente el efecto causado por los inconvenientes antes citados.

2.1 TECNICAS ANTERIORES DE MANTENIMIENTO

La falta o mantenimiento inadecuado de las instalaciones y equipos es la causa principal de varios problemas. Las razones que ocasionan este problema son :

- ✍ Carencia de repuestos
- ✍ Falta de entrenamiento en el personal

✍ Ausencia o inadecuadas prácticas de mantenimiento

La falta de mantenimiento predictivo ocasiona un alto porcentaje de salidas, baja disponibilidad de los equipos y baja capacidad de utilización, lo que redundará en una elevación del consumo específico de energía. La disponibilidad y la capacidad de utilización determinan la productividad de las instalaciones.

Es por este motivo muy importante, poner en práctica políticas de mantenimiento, que incluyan capacitación del personal, almacenamiento ordenado de repuestos y procedimientos y prácticas de mantenimiento adecuado.

Los métodos básicos de mantenimiento para los motores eléctricos utilizados en años anteriores, en la Planta de gas Víbora fueron :

- ✍ Mantenimiento correctivo, es decir después que el equipo falló.
- ✍ Mantenimiento preventivo programado.
- ✍ Mantenimiento por estado.

a) **Mantenimiento Correctivo**

Este mantenimiento es de práctica frecuente pero no es recomendable debido a los siguientes motivos :

- ✍ El motor eléctrico se va deteriorando gradualmente disminuyendo su rendimiento hasta que sale de funcionamiento.
- ✍ La salida del motor eléctrico ocasiona grandes periodos de indisponibilidad de los equipos que mueve , sistemas que alimenta, provocando en algunos casos hasta paro total de las actividades en la producción debido a trabajos de reparación.

b) **Mantenimiento Preventivo**

Es aquel mantenimiento rutinario que se lleva a cabo en un tiempo determinado de acuerdo con un cronograma de actividades. Este método asegura una óptima confiabilidad de la planta y una disminución de los riesgos de salida de la misma. Ayuda a mantener la alta productividad de la planta.

La mayor desventaja de esta práctica de mantenimiento se encuentra en su elevado costo, debido a que no es aceptable que los motores se manden a reacondicionar simplemente por que el cronograma lo indica, sin tener en consideración la condición real del equipo.

c) **Mantenimiento por estado**

Es el mantenimiento realizado en los motores eléctricos debido a sus condiciones de trabajo principalmente , diferencias ante los valores normales de funcionamiento. Entre los parámetros observados se mencionan : Corriente de funcionamiento del motor, Resistencia de aislación, elevada vibración.

Debido a la forma de mantenimiento que se realizaba en los años anteriores, falta de seguimiento ordenado de cada uno de los motores eléctricos, falta de revisiones periódicas de los componentes del motor, falta de comparación con datos de revisiones anteriores, falta de disponibilidad de una base de datos , se obtuvo el siguiente resultado aproximado :

Cantidad de motores eléctricos instalados	:	45 equipos
Fallas correctivas mensuales	:	15 equipos
Fallas de motor a rebobinado mensualmente	:	6 a 8 equipos
Costo promedio de rebobinado	:	\$us 270
Costo mensual por rebobinado de motores	:	\$us 2160

Como puede concluirse, en gestiones previas a 1999, no se realizaba mantenimiento PREDICTIVO, utilizándose solamente las otras técnicas, vale decir Mantenimientos Correctivo y Preventivo.

2.2 SITUACION ACTUAL DEL MANTENIMIENTO

En la actualidad , el mantenimiento se basa principalmente en técnicas preventivo-predictivas que se coordinan mediante una política de Mantenimiento basada en la confiabilidad de los equipos (Reliability Centred Maintenance - RCM II).

Esta amplia y compleja política que reúne características técnicas y económicas, permite tender hacia la explotación óptima de los sistemas.

El primer paso de esta actuación, consiste en efectuar una selección exhaustiva de técnicas predictivas maduras de diagnóstico in situ.

En el caso particular de los motores eléctricos se utilizan las siguientes tecnologías de mantenimiento predictivo :

- o Análisis de vibraciones mecánicas.
- o Termografía Infrarroja
- o Análisis de lubricantes.
- o Análisis de parámetros de funcionamiento en motores eléctricos.

Análisis de vibraciones mecánicas

Análisis, monitoreo, diagnóstico, evaluación y recomendaciones de las condiciones de operación en equipos rotativos, detectando a tiempo y con exactitud distintos problemas en la maquinaria. Esta técnica nos permite detectar :

Desbalanceo, Fallas en rodamientos, Desalineación, Lubricaciones inadecuadas

Termografía infrarroja

Inspección y análisis de imágenes infrarrojas detectando con exactitud y rapidez los problemas y sus características estando los equipos operando en condiciones normales, se trata de una técnica de no contacto, la cuál nos permite detectar malas conexiones, cortocircuitos, desbalanceo de líneas, malas instalaciones. Una gran ventaja de esta técnica consiste en la detección prematura de las fallas, sin interrumpir el servicio, lo cuál permite extender la vida de los equipos, minimizando también el tiempo de mantenimiento preventivo.

Análisis de lubricantes

Monitoreo y análisis del lubricante, elaboración de tendencias y seguimiento del comportamiento de los equipos, lo cuál permite determinar el tiempo óptimo de cambio del lubricante, la vida útil del componente, el estado de la máquina.

Análisis de parámetros de funcionamiento en motores eléctricos

Mediciones y análisis de todos los parámetros eléctricos en las condiciones operativas, verificaciones periódicas de los valores de resistencia de aislamiento, revisión de conexiones y limpieza para una adecuada ventilación de los motores.

El mantenimiento de motores eléctricos en la Planta de Víbora ha incorporado en estos últimos dos años, el análisis de vibraciones en forma sistemática , realizado en forma bimensual. Esta nueva práctica ha permitido mejorar considerablemente la confiabilidad en el funcionamiento de todos los motores eléctricos de la Planta, ha permitido disminuir en gran forma el porcentaje

de mantenimientos correctivos, lo cuál se ve reflejado también en la disminución de costos por rebobinado de motores y por cambios de rodamientos. Se tiene previsto para la próxima gestión incorporar la Termografía infrarroja , práctica que aún no ha sido incorporada en nuestras plantas.

Bajo la presión económica, la industria ahora muestra la tarea de reducción de costos de mantenimiento mientras incrementa la confiabilidad y disponibilidad de sus motores. Una solución a este problema es la aplicación de un costo más eficiente, condición-basada, en la técnica del mantenimiento predictivo. Aunque éste no es un nuevo concepto, pocos comprenden el potencial total que ofrece este programa . Muchos aplican algunas de las últimas tecnologías de mantenimiento predictivo, mientras quedan cortos en algunos aspectos programáticos básicos tales como la comunicación, el seguimiento en el funcionamiento del motor, datos almacenaje / operación y análisis de costo beneficio. Este trabajo analiza estos problemas y muestra su importancia en el desarrollo de un Programa de Mantenimiento Predictivo para los Motores Eléctricos.

2.3 DESARROLLO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El desarrollo del programa de mantenimiento predictivo para motores eléctricos debe empezar con la definición del "marco global" . Esto puede lograrse identificando todo el personal y los grupos orgánicos que serán afectados por la aplicación del programa y solicitando su incorporación. Esto no sólo establecerá un ambiente de equipo, sino también permitirá resolver cualquier problema contradictorio como las tareas del programa lo establecen, las metas son fijas, y las responsabilidades deben ser asignadas. También deben planificarse y dirigirse los esfuerzos de comunicación en esta etapa.

La siguiente es una lista genérica de grupos departamentales que deben participar en el proceso de desarrollo del programa, y sus posibles áreas de responsabilidad, de acuerdo a la organización actual de la Planta de Víbora :

- ✍ **Mantenimiento**, Responsable del equipo de mantenimiento , incluyendo la instalación y desarmado del motor . También es responsable por la coordinación en la reparación del motor. Responsable por la supervisión periódica de los motores que usan las tecnologías de mantenimiento predictivo incluyendo la termografía, análisis actual de motor, análisis de vibración, análisis de aceite, etc., Responsable por planear y presupuestar el dinero para el mantenimiento global de la planta .
- ✍ **Supervisores de Electricidad e Instrumentos** Responsables para el mantenimiento del motor terminado, interruptores, cables, etc. También pueden ser responsables por las Pruebas Eléctricas. Responsables por la reparación de todos los motores. Responsables para la instalación y preservación de la instrumentación (RTD, termocuplas , monitores ,etc.).
- ✍ **Ingeniería**, Responsable para la compra y aplicación de nuevos motores.
- ✍ **Operación**, Responsable por el funcionamiento de todos los equipos de la planta.

El proceso de desarrollo debe comenzar con una reunión inicial donde participe el personal importante que representa a cada uno de los grupos orgánicos anteriormente mencionados. Esta es a menudo el área más difícil para el desarrollo del programa porque pueden mezclarse las asignaciones de responsabilidad y cuestionarse la efectividad de los métodos actuales. Debe comprenderse que el objetivo primario de esta reunión es desarrollar y discutir problemas importantes del programa y asignar las tareas y responsabilidades que requiera desarrollar un

programa sistemático, eficaz en costos para supervisar el funcionamiento y mantenimiento de los motores.

El trabajo en equipo no sólo debe enfatizarse, sino realmente debe lograrse para conseguir el éxito del programa . Los siguientes son problemas comunes que deben ser bien dirigidos.

2.3.1 Seguimiento de funcionamiento de los motores

Una de las fallas comunes y debilidades de muchos programas es la incapacidad para hacer un seguimiento de los motores desde que ellos se compran, instalan, prueban, se retiran para mantenimiento, y son reinstalados. Bastante a menudo, se piden prestados los motores de unidades que no están operando o están en reparación por mantenimiento y son luego reinstaladas. Esos equipos también pueden repararse y deben guardarse como repuesto. Cuando los motores se mueven de un sitio a otro, y uno considera la cantidad de motores y reparaciones asociados con cada planta, se pone evidente la dificultad en hacer un seguimiento de la información de cada motor . Cuando opera acoplado con una carga importante, hay también una tendencia a pasar mucho tiempo en mantenimiento , mientras se deja muy poco tiempo para la documentación. El peligro aquí es, si nosotros somos capaces de rastrear la información del motor, entonces estamos también capacitados para determinar los costos de mantenimiento asociados con él. Existe la posibilidad que nosotros estemos reparando los mismos motores por las mismas razones sin tener en cuenta la causa raíz de las fallas.

Para estar consciente de ocurrencias como éstas, el personal de la planta debe comprender la necesidad de documentar toda la información del motor en un banco de datos centralizado. Esto permitirá al personal de planta poder determinar con seguridad los montos de dinero que se están gastando por mantenimiento y también los alertará por el desarrollo de tendencias indeseables. La información específica como datos de pruebas, instalación e historia de la reparación, el encargado que realizó las reparaciones, el costo completo de la avería, y muchos otros datos más deberán estar disponibles en cualquier momento. De esta manera, la documentación completa proporcionará un medio para repasar la vida entera del motor desde el día que fue comprado hasta el día que esté fuera de servicio.

2.3.2 Desarrollo del banco de datos

A través de los años , han aparecido varias tecnologías de supervisión para evaluar el funcionamiento de los motores en la planta, programas (softwares) específicos para Banco de datos para procesar y guardar los datos. Los datos de vibración anteriormente eran tomados con equipos portátiles , mediante dispositivos analógicos y eran registrados manualmente. Ahora, los datos pueden recolectarse con el uso de recolectores de datos electrónicos, que permiten recolectar y actualizar los datos en un banco de datos de una computadora para más adelante procesarlos y almacenarlos. También, los resultados de los análisis de aceite , los cuales eran recibidos previamente en forma escrita pueden ser enlazados electrónicamente a un banco de datos para procesamiento y almacenamiento. Algunos inclusive permiten la interacción con los bancos de datos de vibración. Adicionalmente también han sido desarrollados paquetes de software para Gerenciamiento de Mantenimiento para ayudar en la actividad de seguimiento del mantenimiento .Esta información debe ser lo más rápidamente accesible al personal responsable para tomar las decisiones de mantenimiento en los motores.

Varias empresas de servicios han desarrollado bancos de datos correlativo y comprensivo que permiten guardar la información completa de los motores. Estos bancos de datos son capaces de transferir y guardar la siguiente información de los motores :

- ✍ Identificación del Motor
- ✍ Historia de la Instalación
- ✍ Historia del Funcionamiento
- ✍ Historia de la Reparación / Costos
- ✍ Datos de Pruebas
- ✍ Procedimientos de Pruebas
- ✍ Especificaciones de las reparaciones
- ✍ Especificaciones de compra

Una vez los datos sean almacenados en el banco de datos, pueden integrarse para proporcionar información útil. Esto permitirá al usuario determinar de un solo vistazo qué cantidad de motores están requiriendo mantenimiento urgente.

La habilidad del software de manejar información es solamente una de las ventajas de un banco de datos central. Otros beneficios son el uso de funciones del reporte y el almacenamiento de información importante y documentos como las especificaciones de la reparación, las especificaciones de compra, y procedimientos de pruebas que pueden ser rápidamente referenciados, con la opción de enviar la información a una impresora. Aunque hay numerosas maneras en las cuales el banco de datos puede ser útil, es importante anotar que la última decisión de mantenimiento descansará con el usuario. La habilidad del usuario de evaluar la información se relacionará directamente con ambos, la cantidad de información disponible y la exactitud de los datos.

2.3.3 Pruebas de motores

Durante muchos años, las pruebas de motores consistieron en pruebas eléctricas periódicas que a menudo identificaron problemas de aislamiento y de cableado en los motores. Mas tarde, la vibración básica, y los análisis de aceite de lubricación fueron usados para detectar fallas en los rodamientos. Aunque esta información proporcionó valor descubriendo los problemas existentes, los datos rara vez fueron usados para determinar la tendencia en la condición del motor y para fijar las actividades de mantenimiento. Estas actividades siempre han sido de naturaleza preventiva o correctiva. Los adelantos rápidos en éstas y otras tecnologías nos han proporcionado ahora las nuevas poderosas herramientas mediante las cuales no sólo se descubren los problemas en el motor, pero a menudo predicen su falla. Esto, a su vez, nos ha proporcionado la oportunidad de realizar mantenimiento basado en su condición. Se describen algunas tecnologías y pruebas que fueron seleccionadas para ser incluidas como parte del Programa de Mantenimiento Predictivo de Motores Eléctricos.

Las pruebas siguientes se dirigen desde el Centro de Control de motores (MCC). Si se detecta un problema, la prueba adicional debe requerir determinar si el cable o el motor está en falla. Estas pruebas deberán ser realizadas anualmente:

- ✍ **Resistencia del bobinado** : Las mediciones de resistencia pueden detectar altas resistencias de conexión antes de que ellos produzcan una falla de conexión o en el bobinado. Esta prueba también permite identificar los desequilibrios entre los bobinados de las fases.
- ✍ **Resistencia de Aislación** : Indica la condición del aislamiento entre el conductor y tierra. Los valores bajos pueden ser una indicación de humedad, suciedad, o falla de aislamiento.

- ✍ **Índice de Polarización (PI):** Esta prueba proporciona información adicional sobre la condición de la aislación entre el conductor y tierra. El índice de Polarización es la relación de la resistencia de aislamiento para una prueba de diez minutos con la prueba de un minuto. Una relación de 2 o superior generalmente indica la conveniencia por el servicio. Esta prueba normalmente se usa para determinar si un bobinado está húmedo. Debe notarse, sin embargo, que al probar motores más viejos, si se obtienen valores superiores a 2 , existe la posibilidad que el aislamiento pueda estar seco y quebradizo.
- ✍ **Alta potencia DC (Voltaje de Paso):** Esta prueba de impulso de alto voltaje de DC (Corriente Continua) aplica voltajes de DC a los bobinados del estator en pasos graduados, mientras se supervisa incrementos no lineales de fuga de corriente a menudo asociados con rompimientos de aislación entre espiras . Esta prueba se realiza para ganar un poco de seguridad en las aislaciones entre espiras las cuales pueden ser superadas en su seguridad con voltajes de operación normal. Se recomienda que un operador experimentado realice la prueba debido a las consideraciones de seguridad y la posibilidad de causar una falla en los bobinados.
- ✍ **Capacitancia y Factor de disipación:** Esta prueba se usa para determinar la condición de aislación del bobinado . El factor de disipación es la cotangente del ángulo de fase, mientras el factor de potencia es el coseno del ángulo de fase. El ángulo de fase es el número de grados eléctricos adelantados o atrasados con relación al voltaje aplicado. Se cree que un aumento progresivo del factor de disipación con el tiempo indica deterioro del aislamiento. La prueba de capacitancia mide la aislación capacitiva del bobinado para determinar la presencia de humedad o el envejecimiento térmico. Un aumento en la capacitancia puede indicar con el tiempo que hay humedad dentro la aislación. Una disminución en la capacitancia puede indicar que ese envejecimiento térmico está ocurriendo.

Prueba de vibración: Se toman lecturas periódicas de vibración en los portarodamientos del motor utilizando un medidor de vibraciones manual y portátil para recabar los datos. Estas lecturas consisten en obtener la amplitud global de los datos espectrales tomados en los planos horizontal, vertical, y axial de cada rodamiento. Los datos son entonces descargados a una computadora para su evaluación y valoración. Para asegurar la repetibilidad de los datos, cada alojamiento de rodamiento debe ser marcado para identificar el lugar exacto dónde la lectura debe ser tomada la próxima vez.

Termografía: Un juego completo de perfiles térmicos son tomados de la carcasa del motor, los alojamientos de rodamientos, acoples, áreas de entrada y salida de aire , interruptor asociado, y conexiones de los cables, usando una cámara infrarroja,. También se sacan fotografías de las mismas situaciones. Se graban las hojas de los datos en ese momento indicando la distancia desde la cámara, emisividad, temperatura ambiente, amperios de corriente del motor y otra información pertinente. Este estudio inicial es considerado la línea base. Se realizan estudios posteriores los cuales son efectuados en forma trimestral, usando solamente las hojas de datos para grabar los datos, con termogramas que son obtenidos solamente si existe una anomalía .

Algunos de los problemas comunes encontrados son debidos a filtros de aire sucios, acoplamientos calientes, altas temperaturas de rodamientos, y conexiones eléctricas calientes debido a aflojamiento o alto flujo de corriente . Los puntos calientes de la carcasa del motor también deben ser anotados. Estos puntos calientes son valorados y cuidadosamente evaluados. Es importante notar al evaluar los puntos calientes de la carcasa los diseños de motores y como están refrigerados, siendo este el factor más importante que debe ser considerado.

Análisis de Aceite: Se toman muestras de aceite trimestralmente y se envían a un laboratorio para su análisis en profundidad. El análisis consiste en verificar la condición del lubricante, análisis ferrográfico, y análisis de espectrografía. Los resultados son informados dentro de 24 - 48 hrs. para las muestras críticas. También se proporcionan informes completos de todas las muestras.

Análisis de Corriente del Motor: Las mediciones de corrientes de fases del estator son tomadas en forma trimestral utilizando pinza amperométrica y un cargador portátil o dispositivo similar que usa una alarma para indicar la presencia de rotura o resquebrajadura de las barras del rotor.

2.3.4 Evaluación de los datos / Planificación del Mantenimiento

Los datos de las pruebas deben ser revisados por personal de planta adecuado en el trabajo en forma diaria. Cuando es descubierto algún problema, deben ponerse en correlación los resultados de las pruebas individuales con otros datos de tecnología que pueden ayudar a verificar la existencia y severidad de un problema. Una lectura de vibración elevada por si misma no puede ser ninguna razón suficiente para poner el motor fuera de servicio. Sin embargo, si se encuentran concentración de partículas en la muestra de aceite, o se encuentra una elevada temperatura de los rodamientos indicada por el termógrafo, se tiene mayor sustentación para tomar una decisión de mantenimiento. Otra información pertinente como los parámetros de operación y rendimiento, historias de las reparaciones anteriores, y tendencias de los datos, también deben ser analizados.

Una vez se ha diagnosticado un problema, el mantenimiento puede fijarse basado entonces en la severidad del problema. En muchos casos, estas actividades de mantenimiento pueden ser ejecutadas en un momento oportuno. En condiciones normales el mantenimiento requerirá, poner fuera de servicio el motor y mandarlo a reparación, mientras se gana tiempo en la adquisición de repuestos, o posiblemente una orden de reemplazo. Este nuevo método basado en la condición produce una planificación más eficaz de mantenimiento, y también minimiza el daño del componente a través del descubrimiento temprano. Además, asegura que los motores que requieren el servicio sean asistidos adecuadamente, por ello se incrementa la confiabilidad y se reduce la posibilidad de una falla inesperada.

2.3.5 Facilidades para la reparación

Las actividades de mantenimiento que requieren que el motor sea sacado de servicio y enviado a un taller externo para su reparación o ejecución de overhaul (reparación mayor) deben supervisarse muy estrechamente. A menudo la reparación es ejecutada por terceros, siendo muy importante hacer seguimiento al motor y asegurarse que el trabajo requerido se realice de manera apropiada. Deben dirigirse los esfuerzos en el seguimiento del trabajo y mantener buena comunicación con el reparador.

Al enviar los motores, debe acompañar al motor alguna forma de documentación. Esto puede ser, el requisito de tener una hoja de ruta junto al motor, completamente llenada y atada al motor antes de que éste se mande fuera para realizar un servicio. Este documento debe contener la información específica que identifica el motor y el motivo por el que se está enviando para su reparación. Los costos estimados de su reparación y el tiempo de demora entre ir y volver también podrían ser incluidos. Se requiere un formulario con dos partes, de manera que cuando llegue al taller de mantenimiento la hoja correspondiente al reparador deberá ser llenada con el documento de retorno de los motores. Además, debe

exigirse al reparador remitir un formulario completo de la reparación, detallando la información que contenga resultados de inspección previa al desarmado , resultados de inspección durante el desmontaje y condiciones donde se indiquen que los huelgos apropiados (juegos) de los rodamientos, etc. Esta información es sumamente útil cuando se realiza un análisis de las causas raíces de las fallas, al elaborar el listado de las formas de búsqueda de fallas (Troubleshooting). Finalmente, también se requieren los costos detallados de la reparación.

La hoja de ruta del motor y la documentación de la reparación también sirven como mecanismos que aseguran que la información se ingrese en el banco de datos central.

Las características técnicas de la reparación del motor también asegurará que el trabajo requerido ha sido realizado de una manera aceptable. Las características técnicas actúan como un contrato entre el reparador y el cliente; por consiguiente, es importante repasar estas especificaciones muy estrechamente para garantizar la calidad del trabajo . A menudo, puede ahorrarse mucho tiempo incluyendo las especificaciones tales como lecturas de vibración tomadas en los porta rodamientos, especificando a priori un nivel aceptable previo a dejar en el taller de mantenimiento. Esto servirá como una referencia cuando el motor sea instalado nuevamente en la planta. Puede ser muy difícil diagnosticar un problema de vibración después de ser instalado, si no se conocía o si no estaba el motor previamente operando en buenas condiciones.

También es importante visitar al reparador periódicamente y observar alguno de los trabajos que realizan sus reparadores. Debe recordarse a los reparadores que no son receptivos a este requisito que no son los únicos y que existen otras opciones de reparación .

2.3.6 Plan de Mantenimiento y Revisiones

ACTIVIDAD	PARTE
Revisar cimientado por fisuras o desniveles, alinear eje y controlar torsión de eje. Comparar con datos de revisiones anteriores	Cimientado rotor cojinete
Controlar entrehierro y juego axial. Comparar con datos de revisiones anteriores	Cimientado rotor
Controlar distancias entre partes giratorias y partes fijas	Cojinete
Revisar todos los ajustes y pernos, reajustarlos	Pernos y acoplamiento
Revisar contrapesos de balanceo. Fijar pernos o cambiarlos.	Balanceo
Revisar pernos. Fijar paquete de láminas del estator.	Estator
Controlar pernos, fijar polos.	Estator
Revisar cojinetes y su lubricación.	Cojinete
Revisar estado de entrada de ventilación y estado de	Ventilación

filtro de aire.	
Limpiar bobinas y canales de ventilación.	Estator
Limpiar anillos deslizantes o colector.	Rotor
Revisar contactos de alimentación.	Caja de conexiones
Controlar aislamientos y medir resistencias con megger.	Rotor y caja de Conexiones
Revisar y limpiar protecciones y arrancador del motor eléctrico.	Interruptor Arrancador

2.3.7 Beneficios

Los siguientes son algunos beneficios que pueden ser alcanzados con la implementación de un Programa de Mantenimiento Predictivo para Motores Eléctricos:

- ✍ Mantenimiento diferido
- ✍ Detección Temprana de los problemas
- ✍ Mejor planificación del mantenimiento
- ✍ Reducción de los fracasos inesperados
- ✍ Incremento en la confiabilidad del motor / disponibilidad

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✍ El mercado es el principal impulsor de la industria moderna. Sin embargo, para que una industria sea moderna y competitiva requiere poseer en sus instalaciones, procesos y métodos de producción con eficiencia en el mantenimiento de todas las máquinas operativas.
- ✍ Las tareas de mantenimiento son de naturaleza variada (control, medición, supervisión, monitoreo, señalización, documentación, coordinación, etc) y se distribuyen en diferentes niveles, tal como se describe en el desarrollo del artículo.
- ✍ Los sistemas de mantenimiento, control, costos, adquisición de datos, requieren de una numerosa presencia de dispositivos de medición, de seguimiento, y de equipos informáticos, los cuales permiten que el mantenimiento y su gestión sean parte de un sistema integrado del control total de la producción, en donde un proceso productivo requiere la sincronización gerencial de las operaciones de producción, mantenimiento, seguridad, manejo de materiales, calidad y recursos humanos.
- ✍ Con relación a los recursos humanos requeridos para la gestión del mantenimiento de instalaciones productivas, podemos destacar las recomendaciones siguientes. La Supervisión Operativa y de Mantenimiento por su naturaleza, requieren de personal especializado y en permanente capacitación, mientras que las tareas de mantenimiento de sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos pueden ser asignadas a especialistas bien entrenados.

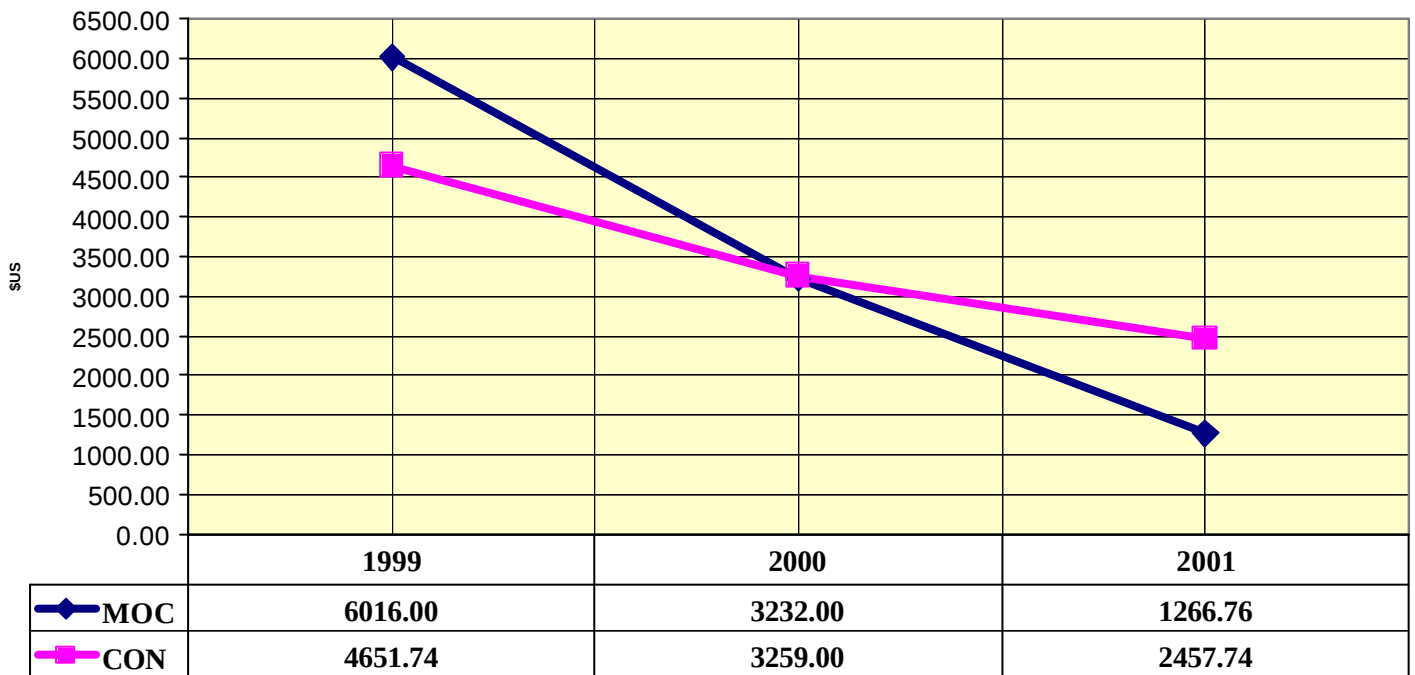
- ✍ Es necesario también que un equipo multidisciplinario de técnicos e ingenieros bilingües (por cuanto es preferible leer la información técnica en el idioma de origen) debe tener la tarea de elaborar y llevar a cabo el plan de mantenimiento y proporcionar el entrenamiento del caso a todo el personal involucrado.
- ✍ Por la experiencia en el caso de la Planta de gas de Víbora, podemos mencionar que los principales recursos tecnológicos para la gestión del mantenimiento son : su sistema informático, la disponibilidad de la información técnica referida al equipamiento y operación de los procesos (procedimientos operativos y procedimientos de mantenimiento) y la contratación de terceros para tareas de reparación, lo cual se refleja en la reducción de costos y en la optimización de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

Bibliografía

- 1. Mantenimiento Predictivo en Motores Eléctricos**, George Van Der Horn
- 2. Evolución del Mantenimiento de Equipos Eléctricos**, Ernesto J. Perez Moreno – Alfonso Delgado Sancho
- 3. Mantenimiento en Gestión Energética**, Ministerio de Energía y Minas del Perú
- 4. Ingeniería de Mantenimiento**, Comimsa
- 5. Mantenimiento de Instalaciones Automatizadas**, Arturo Rojas Moreno
- 6. Mantenimiento Industrial**, Raimundo Heber Gonzales

Figura 1

RELACION COSTO MANO DE OBRA - CONTRATOS

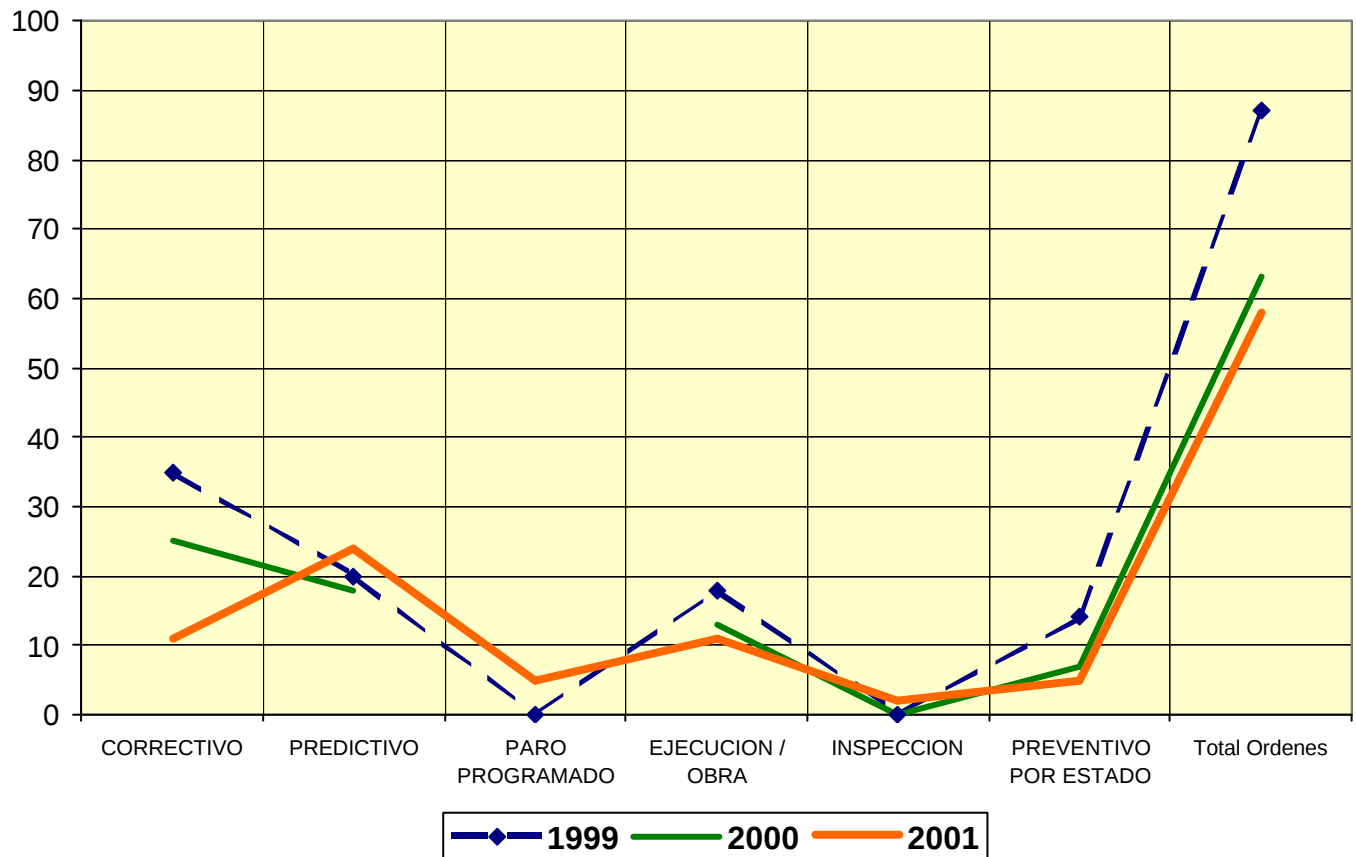


MOC : Mano de Obra Contratada Anual(Incluye costo de Hrs./Hombre)

CON : Contrato (Servicio de Diagnóstico por vibraciones, rebobinado, repuestos)

Figura 2

INDICE MOTIVOS DE MANTENIMIENTO P/ AÑO



Fuente : Base de datos – MANTEC

Figura 3

**CANTIDAD DE HORAS IMPRODUCTIVAS ANUALES
MOTORES ELECTRICOS**

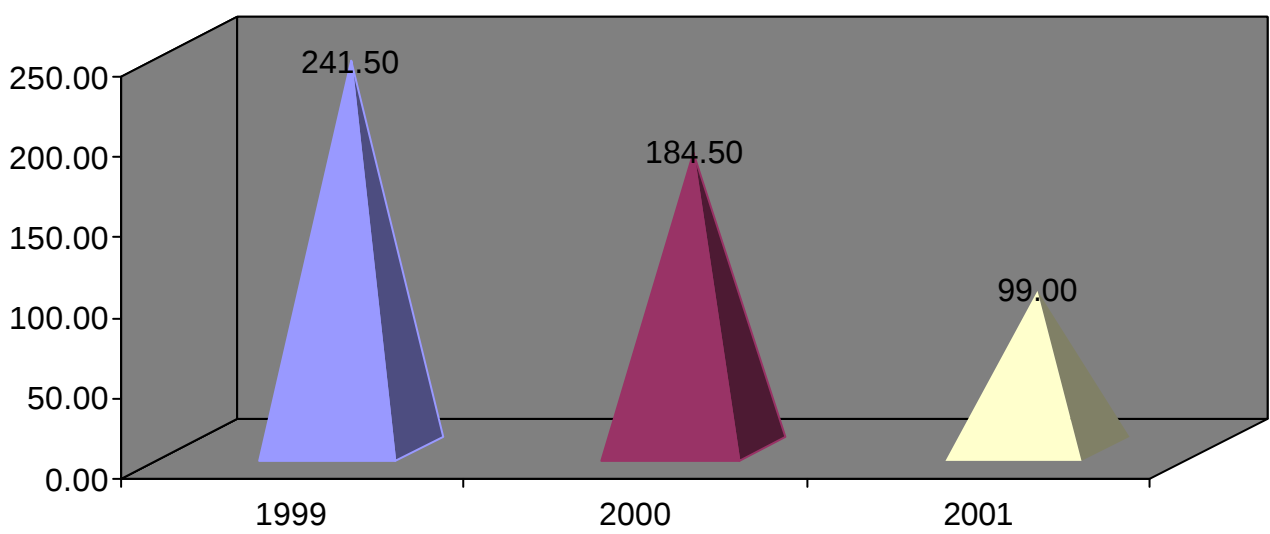
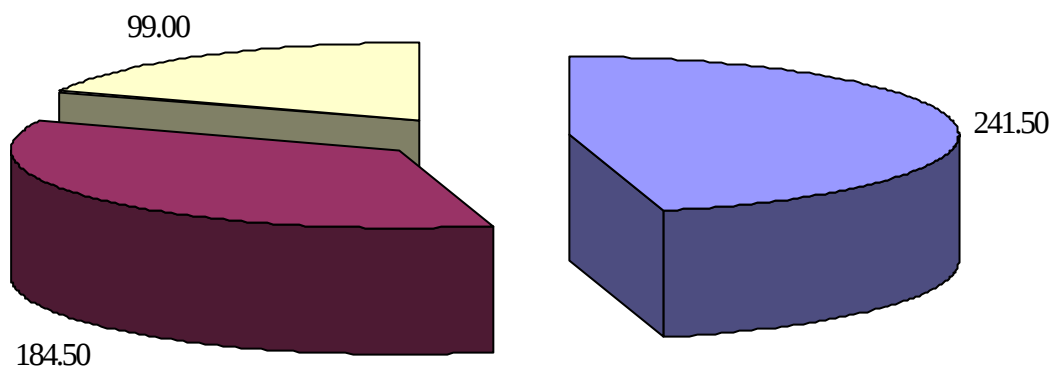
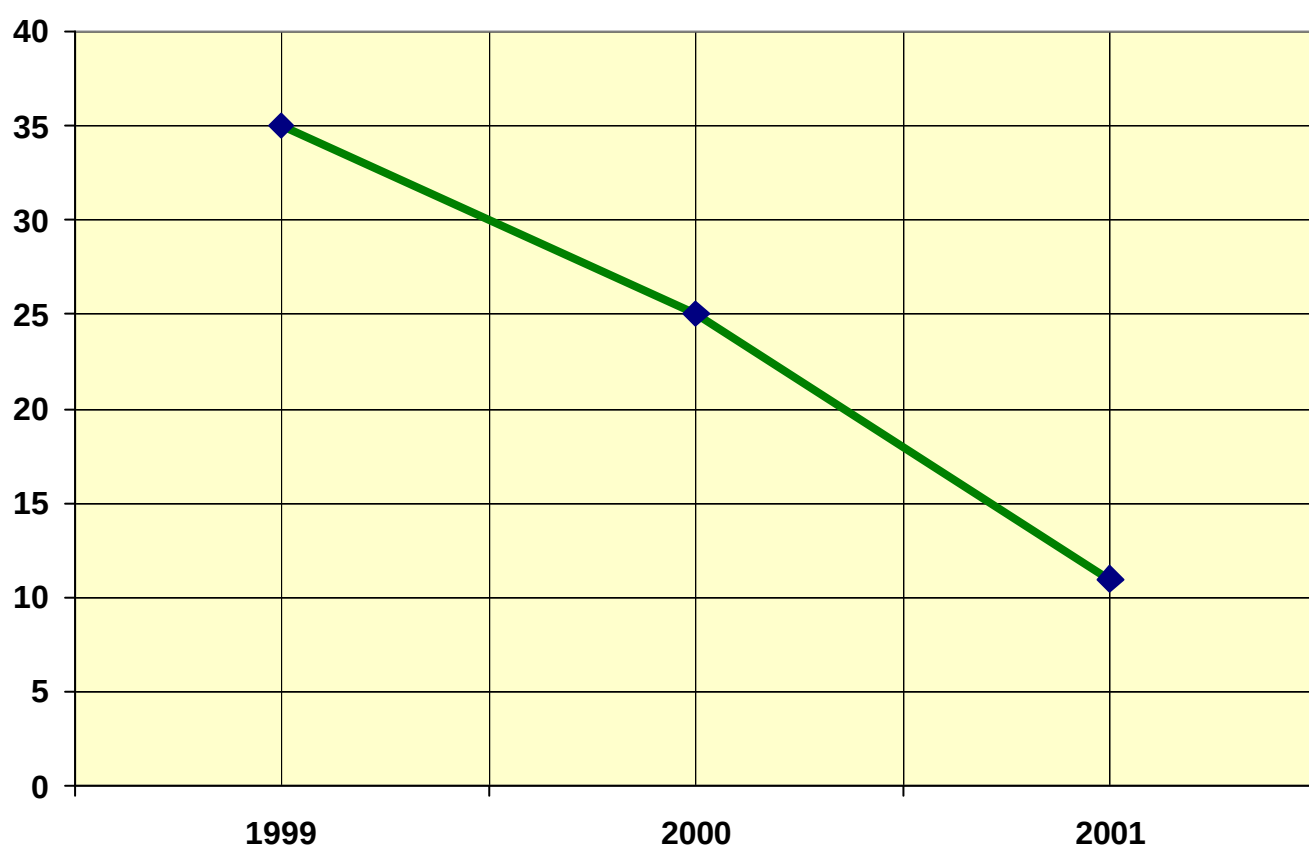


Figura 4

**INDICE DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO
MEJORAMIENTO DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN MOTORES
ELECTRICOS**



FUENTE: SOFTWARE MANTEC

El Autor:

José Luis Limpías A., es un Ingeniero Electricista Senior, con 22 años de experiencia, trabaja en la compañía Petrolera Repsol-Ypf Bolivia desde el año 1997 en el área de Mantenimiento en la Gerencia de Producción, tiene a su cargo la Supervisión y Coordinación del Departamento de Mantenimiento para establecer el control, filosofía, diseño y mantenimiento en las áreas eléctrica, mecánica e instrumentos.

Anteriormente trabajó en la empresa estatal petrolera de Bolivia YPFB, durante 12 años, como encargado de Electricidad e Instrumentos en plantas de refinación y plantas de gas natural.

Cuenta con experiencia en Electromecánica trabajando en la Administración de Aeropuertos y Servicios Auxiliares a la Navegación Aérea (AASANA), donde diseñó instalaciones eléctricas, telefónicas, aire acondicionado y sonido para varios aeropuertos de Bolivia.

Docente en la Universidad Mayor de San Andrés y la Universidad Privada de Santa Cruz, en las asignaturas de Centrales eléctricas, Líneas de transmisión, Medidas eléctricas y Física general.

Limpías ha sido graduado como Ingeniero Electricista en la Universidad Nacional de La Plata – Rep. Argentina.

Santa Cruz, Bolivia, Octubre 2001