



Conferencia Latinoamericana de Gestión de Mantenimiento Confiabilidad Operacional (GMC 2004)

IMPACTO DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE MOTORES ELÉCTRICOS DC

Ronaldo López Serrazina
Analista de Sistemas Eléctricos
Consultora ROLOP
CHILE

Resumen

La Compañía dispone, para llevar a cabo el proceso de producción de concentrados de cobre de una flota de Palas y perforadoras electromecánicas. Estos equipos poseen motores eléctricos de corriente continua de diversa envergadura, y corresponden a variados diseños y formas constructivas. Son, por cierto, piezas claves en el proceso productivo. La instalación de un motor de reemplazo por falla demanda un tiempo y costos no despreciables, particularmente cuando esta es imprevista, por lo que no es deseable emplear demasiado tiempo en determinar sus causas, lo que conduce a que, probablemente, ella se vuelva a suscitarse.

Estos hechos conducen a que la compañía, deba elaborar una estrategia, relacionada con el mantenimiento predictivo de sus motores eléctricos de Palas electromecánicas y Perforadoras eléctricas. Esta acción tiene relación fundamentalmente con:

Análisis de las fallas más frecuentes,
Pruebas de recepción de motores reparados,
Mediciones en terreno de motores en funcionamiento,
Instrumentos requeridos para el mantenimiento predictivo,
Consideración de la probabilidad de falla en las evaluaciones económicas de reparación y sustitución de motores,
Requisitos de terceros en lo que a mantenimiento correctivo se refiere.

Objetivos

El objetivo de este proyecto es mostrar, desde el punto de vista técnico y económico, el impacto de la aplicación de estrategias relacionada con el mantenimiento predictivo de motores eléctricos de corriente continua, en lo concerniente a la tasa de falla y, a la productividad de la operación, considerando los siguientes aspectos:

Análisis estadístico de las mediciones realizadas
Definición de índices Ad-Hoc (IP, DAR)



Definición de rangos aceptables de parámetros (R_{aisl} , R_{dc})
Correlación entre horas de operación e índices (IP, DAR).
Costo total anual por mantenimiento.
Costo medio de mantenimiento de componentes.

Introducción

La medida de resistencia de aislamiento como práctica habitual de mantenimiento

La razón por la que se realizan pruebas de aislamiento es la de prevenir las posibles averías en aquellas instalaciones eléctricas y sus distintos elementos (transformadores, motores, etc..) que a lo largo de los años está expuestos a factores ambientales adversos tales como el polvo, la grasa, temperaturas extremas, tensiones mecánicas y vibraciones. Estos factores pueden conducir al fallo de los aislamientos eléctricos y, en definitiva, son el origen de pérdidas económicas.

Las verificaciones periódicas del aislamiento eléctrico en los equipos proveen una información muy valiosa sobre el estado y posible deterioro de los aislantes y ayudan a predecir sus posibles fallos. Con ello se conseguirá no sólo evitar las averías de origen eléctrico, sino también prolongar la vida operativa de dicha instalación eléctrica y de todos sus elementos.

La Resistencia De Aislamiento.

En la medición de la resistencia de aislamiento, el equipo de medida aplica una tensión continua, V_{dc} , al sistema bajo prueba. Esta alta tensión provoca una corriente eléctrica (típicamente del orden de microamperios) que circula a través de los conductores de aquel sistema y sus materiales aislantes. La magnitud de esa corriente depende de la tensión aplicada, de la capacitancia del sistema, de su grado de contaminación, de su resistencia total y de su temperatura. Para una tensión fija, cuanto mayor es la corriente, más pequeña es la resistencia:

$$R = \frac{V_{dc}}{I}$$

La resistencia total es el equivalente entre la resistencia del conductor más la resistencia de aislamiento (idealmente muy alta) expresada en $M\Omega$.

El valor de la resistencia de aislamiento medido dependerá de las tres subcorrientes independientes siguientes, como se muestra en la Figura 1:

Corriente Conductiva (I_L)



La corriente conductiva es una pequeña corriente (μA) que normalmente circula a través del aislamiento entre dos conductores, o desde un conductor a tierra. Aumenta a medida que se deteriora el aislamiento y es la corriente predominante cuando se extinguen las corrientes de absorción y de carga capacitiva. Por ser bastante estable e independiente del tiempo, la medida de la corriente conductiva de fuga es la más adecuada a la hora de establecer la resistencia de aislamiento.

Corriente Capacitiva (I_c)

Dos o más conductores tendidos juntos, se comportan como un condensador. Debido a este efecto capacitivo, se establece una corriente de fugas a través del material aislante entre los conductores. En los primeros instantes de la prueba la corriente capacitiva es mucho más importante que la corriente conductiva de fuga, sin embargo aquella corriente tiende a desaparecer a lo largo del tiempo. En equipos de baja capacitancia, la caída de la corriente capacitiva es muy rápida (sólo unos segundos). En este caso, se debe esperar este tiempo antes de registrar la medida. En cambio, cuando se prueban equipos de alta capacitancia, la corriente capacitiva de fugas puede tardar mucho tiempo en extinguirse, por lo que no es posible la espera. En la siguiente sección se presentarán métodos recomendables de medida en estos casos.

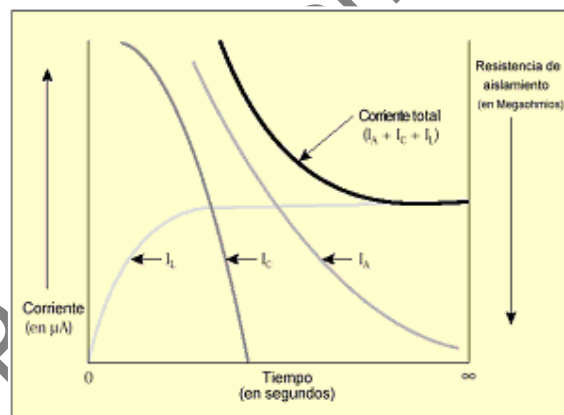


Figura 1 Componentes De La Corriente Por El Material Aislante.

Corriente De Absorción (I_A)

La corriente de absorción es debida a la polarización de las moléculas del material dieléctrico. En equipos de baja capacitancia, esta corriente es alta durante los primeros segundos y disminuye lentamente hasta hacerse casi cero. Cuando se prueban equipos de alta capacitancia o con aislamiento contaminado o húmedo, la corriente de absorción tarda mucho tiempo en extinguirse.



Aplicaciones

La medida de aislamiento tras a instalación inicial: Test de comprobación

El personal de mantenimiento regularmente realizan este "test de comprobación" para asegurar la correcta instalación y operación de los equipos, y la integridad de sus conductores y material aislante. La tensión de prueba utilizada es normalmente definida en base algún estándar en este caso se referencia al IEEE Std 43-2000.

Elección De La Tensión De Prueba

El test de comprobación se puede realizar en elementos de cualquier capacitancia. Se lleva a cabo con una sola tensión, comprendida normalmente entre 500 y 5.000 V y durante 1 minuto aproximadamente. Es habitual someter al aislamiento a tensiones por encima de las normales de trabajo con objeto de detectar pequeños defectos. En el caso de la verificación del aislamiento en maquinas rotativas nuevas (motores y generadores), se empleará una tensión del 60% al 80 % de la tensión alterna de prueba empleada por el propio fabricante (y en muchas ocasiones declarada por el mismo). Si no conoce esta tensión alterna de prueba, haga la verificación utilizando una tensión alterna que sea aproximadamente el doble de la tensión nominal de los conductores más 1.000 V. La tensión nominal es la tensión máxima a la que se puede someter el cable de la máquina durante un periodo de tiempo prolongado, y normalmente figura impresa en el conductor. En los sistemas monofásicos, bifásicos y trifásicos, la tensión nominal del cable se refiere a la tensión entre fases.

El Test de comprobación normalmente se llevar a cabo con tensiones continuas de prueba, en los niveles indicados por el estándar IEEE Std 43-2000.

Procedimiento De Medición

Para realizar el test de comprobación, se utiliza un medidor de aislación más conocido como Megger en este caso particular el equipo AVO S1-5010, primeramente se realiza la desenergización y/o desconexión del equipo a verificar, seguidamente se realiza la puesta a tierra para eliminar tensiones residuales, el resto del procedimiento se apeg a los lineamientos señalados en el estándar IEEE Std 43-2000.

Mediciones de Diagnostico Predictivo

Las mediciones realizadas con regularidad y cadencia, ofrecen una importante información sobre el estado actual y futuro del material aislante, y de los devanados de los motores. La clave de su eficacia radica en la periodicidad de los



ensayos y en tener un histórico de los datos obtenidos. Estos datos servirán de ayuda para programar el diagnóstico y los trabajos de reparación, con la reducción consiguiente del tiempo de parada debido a fallos inesperados.

Prueba De Resistencia De Aislación A Los 60 Segundos

La Medición a los 60 segundos es adecuada para verificar equipos eléctricos de baja capacitancia. El megger se conecta directamente al equipo sometido a prueba y se aplica la tensión $V_{dc-prueba}$ de ensayo adecuada de acuerdo con el estándar IEEE Std 43-2000. Con objeto de conseguir una lectura estable de la resistencia de aislamiento se debe esperar 1 minuto aproximadamente.

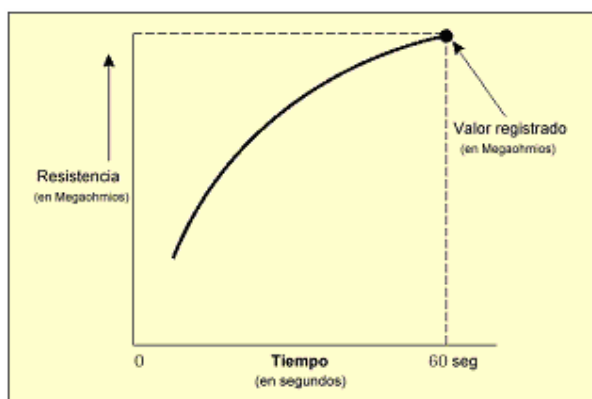


Figura 2 Medición de Resistencia de Aislación a los 60 seg.

Cuando se verifican equipos en buenas condiciones, se observa durante la prueba un aumento progresivo de la resistencia de aislamiento debido a la disminución de las corrientes capacitivas y de absorción. Debido a que la temperatura y la humedad pueden afectar a las lecturas, las medidas deben hacerse preferiblemente por encima del punto de rocío, aproximadamente 20 °C.

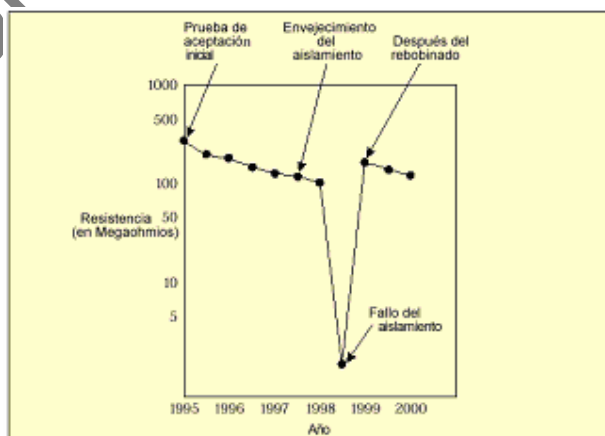


Figura 2 Registro De Resistencia De Aislación A Los 60 Seg.



Normalmente, con el paso del tiempo las resistencias de aislamiento medidas irán siendo ligeramente inferiores resultado del envejecimiento y/o contaminación del material aislante, tal y como se muestra en las siete primeras medidas de la figura 2. La caída acusada de la octava medida podría indicar un fallo del aislamiento y es una advertencia de posibles problemas.

Prueba De Resistencia De Aislación Por Escalones De Tensión

La prueba de tensión por pasos se lleva a cabo con distintos valores de tensión de prueba; se aplica cada tensión de prueba durante el mismo período (60 segundos) y se traza un gráfico de la resistencia de aislamiento registrada.

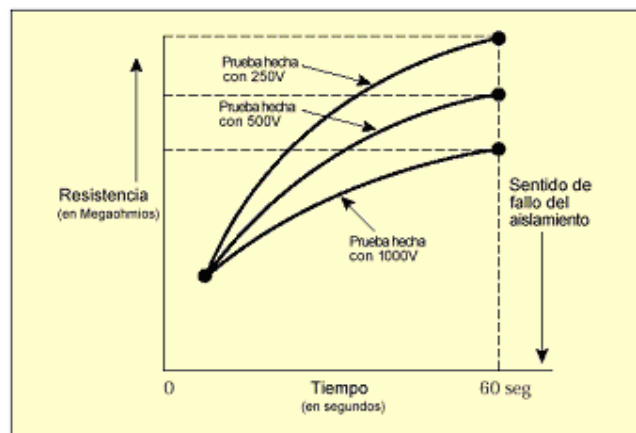


Figura 3 Prueba De Escalones De Tensión

Aplicando escalones crecientes de tensión, el aislamiento se somete a esfuerzos eléctricos en aumento que pueden revelar información sobre defectos tales como pequeñas perforaciones, daños físicos o fragilidad.

Un aislamiento en buen estado debe permanecer aproximadamente invariable durante las pruebas con distintos niveles de tensión, por lo que su resistencia se mantendrá constante durante la prueba.

Sin embargo, un aislamiento deteriorado, agrietado o contaminado experimentará un incremento del paso de corriente a medida que la tensión de prueba aumenta, con la consiguiente disminución de su resistencia. Esta prueba es independiente del material aislante, de la capacitancia del equipo y del efecto de la temperatura. Puesto que se necesita más tiempo para su realización. Mientras que el Test de la medida a 60 segundos refleja un cambio absoluto de la resistencia (lectura única) en función del tiempo, en el test de tensión por pasos se buscan tendencias en la resistencia en relación con tensiones de prueba variables.



Prueba Resistencia - Tiempo. Índice De Polarización (IP). Absorción Del Dieléctrico (DAR)

Prueba Resistencia – Tiempo: es independiente del tamaño del equipo y de la temperatura. Compara las características de absorción de un aislamiento contaminado con las características de absorción de un aislamiento en buen estado.

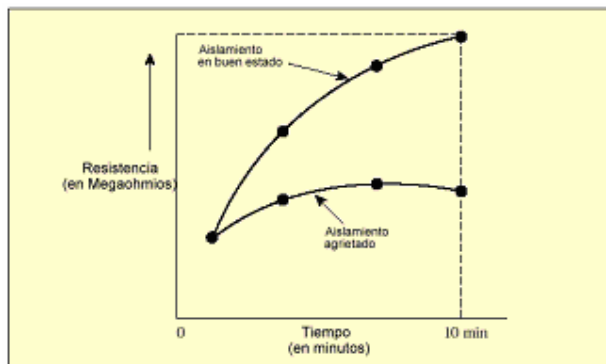


Figura 4 Prueba Resistencia - Tiempo

La tensión de prueba se aplica durante un periodo de 10 minutos y se registran los datos cada 10 segundos durante el primer minuto y cada minuto a continuación, de acuerdo a los lineamientos señalados en el estándar IEEE Std 43-2000.

El Índice De Polarización (IP): es especialmente valioso para descubrir la presencia de humedad y/o contaminantes en el aislante. Estos defectos son especialmente peligrosos en las máquinas rotativas pues pueden llegar a poner en cortocircuito sus devanados. El *índice de polarización* es la relación de dos lecturas de tiempo/resistencia: una se toma al cabo de 1 minuto y la otra al cabo de 10 minutos.

Con el aislamiento en buen estado, la resistencia de aislamiento empezará por un valor bajo y aumentará a medida que se vayan haciendo más pequeñas las corrientes de fugas capacitivas y de absorción. El valor del Índice de Polarización se obtiene dividiendo el valor de la prueba de 10 minutos por el valor de la prueba de 1 minuto. Un valor bajo del *índice de polarización* indica normalmente problemas en el aislamiento.

La Razón De Absorción Dieléctrica (DAR): es útil cuando el tiempo de prueba está limitado o la capacitancia del equipo es muy baja, se obtiene dividiendo el valor de la prueba de 1 minutos por el valor de la prueba de 30 segundos, en lugar del *índice de polarización* se puede utilizar el *test de absorción del dieléctrico*, con la misma filosofía.



Estado de la resistencia de aislamiento	DAR Relación 60/30 s (absorción del dieléctrico)	IP Relación 10/1 min. (índice de polarización)
<i>Peligro</i>	<i>0 – 1,10</i>	<i>0 – 1,10</i>
<i>En riesgo</i>	<i>1,11 – 1,24</i>	<i>1,11 – 1,50</i>
<i>En observación</i>	<i>1,25– 1,33</i>	<i>1,51– 2,00</i>
<i>Bueno</i>	<i>1,34 y superior</i>	<i>2,10 y superior</i>

Figura 5 Relaciones de índices (definidos en Compañía)

Desarrollo y/o Aplicación

Introducción

La gran cantidad de métodos de prueba para la aislación y los procedimientos que aparecen en la literatura y descripción de productos pueden parecer desorientadores para alguien que desee establecer un régimen de pruebas o cumplir con alguna aplicación determinada.

Por supuesto que un análisis detallado de todas ellas excede el alcance de este artículo, pero teniendo en cuenta un principio de organización conveniente uno puede referirse a la Ley de Retornos Decrecientes. Es decir, ninguna prueba en particular puede decir todo con respecto a una sección determinada de aislación o a los aparatos que la componen, de manera que pueden necesitarse pruebas adicionales para destacar algún problema o tomar una decisión. Pero en general se puede equilibrar con un sentido práctico a fin de evitar pérdida de tiempo y el gasto de realizar más y más pruebas para obtener menores y mejores resultados adicionales.

De manera que en lo sucesivo nos centraremos exclusivamente en la prueba de *índice de polarización* (IP) y resistencia de devanados DC u otras adicionales a las que se recurrirá según sea necesario, aplicadas sobre motores eléctricos de corriente continua DC con conmutador y con una tensión de operación de 550 VDC.

Primeramente tomando en consideración el parque de equipos a medir que asciende a un número de 49 componentes, contando cada equipo con 7 unidades y que operan en régimen ininterrumpido de 600 hrs/mes, se definió por razones prácticas y compatibilidad con las detenciones programadas para mantenimiento, que las inspecciones y mediciones se realizara en conjunto.

Los motores de accionamiento de las de Palas electromecánicas cumplen diversas funciones las cuales se pueden identificar como siguen:



- Giro: Motor Swing
- Levante del balde: Motor Hoist
- Empuje del balde: Motor Crowd
- Traslado o propulsión: Motor Propel

Cada uno de estos accionamientos están asociados a componentes mecánicos, eléctricos y su correspondiente motor, el cual varía en cuanto a su dimensionamiento de acuerdo al tipo de equipo en lo que dice relación fundamentalmente a la potencia nominal.

La estrategia de mantenimiento aplicada a las de Palas electromecánicas en la compañía deriva en intervenciones con una cadencia de 600 hrs. para los motores principales y 1200 hrs. para los motores de propulsión, esta elección de la frecuencia de inspección y seguimiento de los parámetros de resistencia de aislación y de devanados, obedece al tiempo de operación característica de los accionamientos.

Las actividades propias de inspección y seguimiento se incluyeron en las cartillas del área de mantenimiento eléctrico del área Mina, de manera que quedaron insertadas como actividades de programación automática en el sistema de administración de mantenimiento.

Para el desarrollo de las actividades de medición el personal de terreno dispone del siguiente equipamiento:

- Medidor de resistencia de aislación Megger AVO S1-5010
- Medidor de resistencia DC AVO Ducter DLRO 10X
- Medidor de temperatura y humedad EXTECH 4465CF

Para los efectos de programación, control y registro de la información se dispone de los siguientes software:

- Sistema de administración de mantenimiento MIMS OE 4.3.1.2
- S1-5010/5020 Control Software Versión 1.03
- AVO Download Manager Versión 1.0.19
- Microsoft Excel 2002

Procedimiento Operativo

Resistencia de Aislación.

La resistencia de aislamiento de los devanados de máquinas rotatorias depende de una serie de factores entre los cuales podemos señalar el tipo de material utilizado y del proceso de fabricación empleado.



En general varía directamente con los espesores de la aislación e inversamente con el área de la superficie conductora.

Para efecto de las mediciones de resistencia de aislación dependen de los siguientes factores:

- Condición de la superficie
- Humedad
- Temperatura
- Valor de tensión continua de ensayo
- Tiempo de medición
- Carga residual de los arrollamientos

El polvo depositado en las superficies aislantes en presencia de humedad puede hacerse parcialmente conductor y reducir el valor de la resistencia de aislación.

Si la resistencia de aislación se reduce por causa de la contaminación o excesiva humedad, normalmente puede lograrse un incremento de su valor procediendo a realizar una adecuada limpieza y secado de la máquina.

Aunque la superficie de los devanados se encuentre limpia, si la temperatura de los mismos es igual o menor a la temperatura de rocío del aire, se forma una película sobre el devanado que reduce el valor de la resistencia de aislación.

La resistencia de aislación de la mayoría de los materiales varía inversamente con la temperatura.

Cuando se comparan valores de ensayos de medición de resistencia de aislación se deben efectuar correcciones por temperatura, las normas dan coeficientes de temperatura que permiten corregir aproximadamente como varía la resistencia de aislación, en particular este coeficiente se hace igual a 1 para una temperatura base de 40 °C.

La medición de la resistencia de aislación debe ser realizada con un valor de tensión continua adecuado el nivel de aislamiento del devanado de acuerdo a lo indicado en el estándar IEEE Std 43-2000.

El valor de la resistencia de aislamiento puede reducirse algo con el aumento de la tensión de ensayo; sin embargo para aislamientos en buenas condiciones y completamente secos los valores son independientes del valor de tensión de ensayo siempre que no se supere el correspondiente valor máximo admisible para el nivel de aislación del devanado.

Una disminución significativa de la resistencia de aislación con la tensión puede poner en evidencia alguna imperfección del aislamiento.



Las lecturas de resistencia de aislación se hacen normalmente después de 1 min. de aplicación de la tensión continua, y de ser factible después de 10 min. para poder determinar el índice de polarización (relación entre el valor de resistencia de aislación medida a los 10 min. y a 1 min.).

El valor de la medición se estabiliza después de uno o dos minutos de aplicada la tensión de ensayo si el devanado está húmedo o sucio.

El resultado de los ensayos es erróneo si existen cargas residuales en los arrollamientos.

Cuando el centro de estrella es accesible es recomendable que el ensayo se realice aislando las fases y midiendo cada una separadamente, de este modo se pueden comparar las mediciones entre sí.

Cuando el ensayo se hace con la totalidad de los devanados al mismo tiempo, sólo se prueba la aislación contra masa y no entre fases. La aislación entre fases sólo se puede probar cuando se ensaya una sola fase y las restantes están conectadas a tierra.

Se debe tener en cuenta que los cables de conexión, capacitores, descargadores u otros accesorios externos pueden influenciar el valor de la medición; es aconsejable medir directamente en bornes del motor.

Resistencia De Los Devanados.

Una reducción en la resistencia de los devanados puede deberse a la presencia de conductores cortocircuitados, un aumento en cambio puede indicar alguna conexión o soldadura deficiente.

En este caso es aconsejable medir la resistencia empleando el método de voltímetro y amperímetro (utilizando instrumentos con alcances y escalas adecuadas), con una corriente próxima a la nominal para poner en evidencia eventuales defectos.



Situación De Costos De Reparación De Motores Eléctricos Antes Del Mantenimiento Predictivo

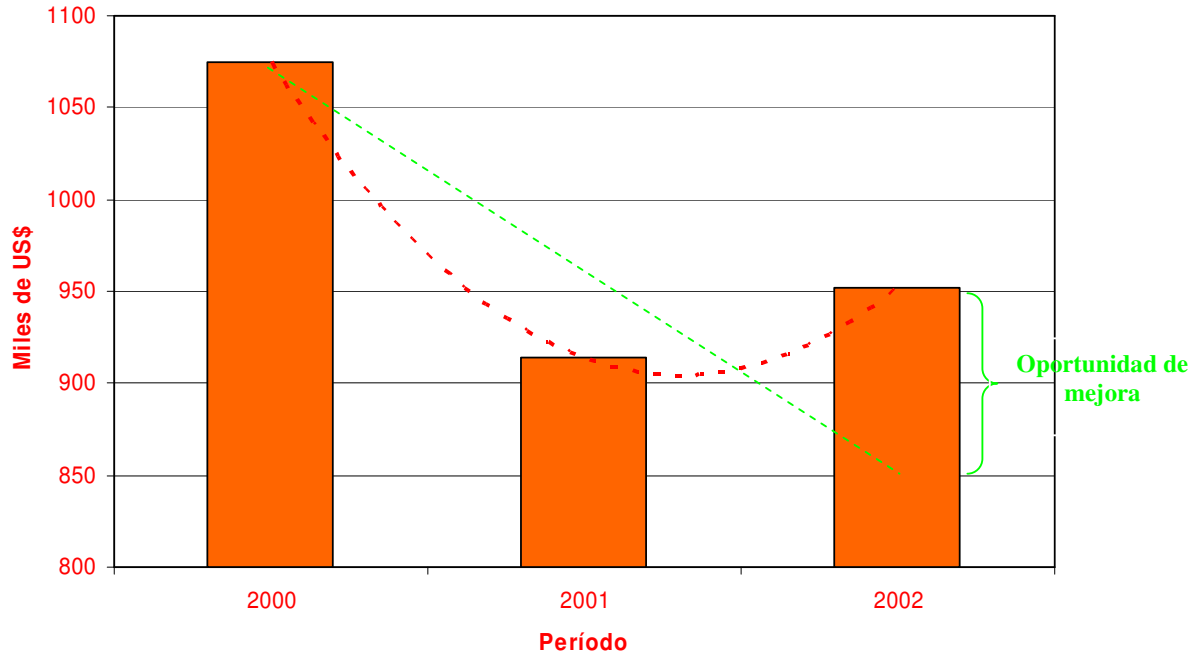


Figura 6 Costos de Reparación de Motores Eléctricos

Costos Implicados En La Implementación de Un Sistema de Mantenimiento Predictivo de Máquinas Eléctricas:

Los costos asociados en la implementación y puesta en práctica de este programa de mantenimiento predictivo, puede se resumirse en el siguiente detalle de costos:

Costo de equipos:	Inversión inicial	US \$ 50.000
Costo de asesoría:	Anual (única vez)	US \$ 20.000
Costos mano de obra anual:	Anual (2 personas)	US \$ 30.000
	Total aproximado	US \$ 100.000



Análisis De Pareto

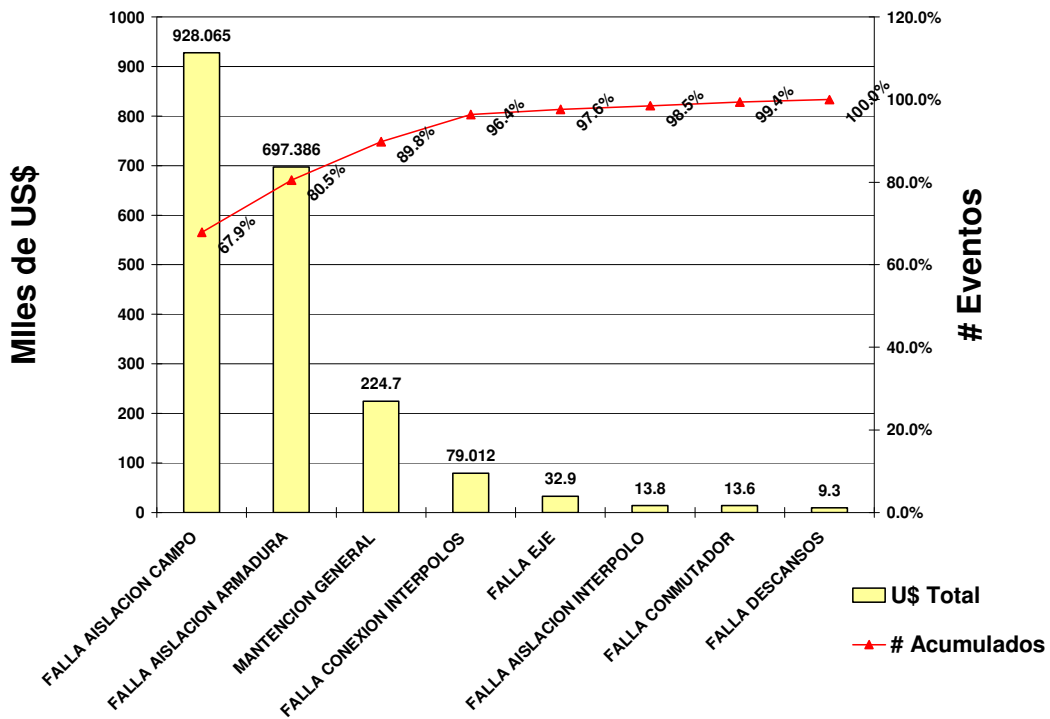


Figura 7 Diagrama de Pareto de Fallas en Motores Eléctricos

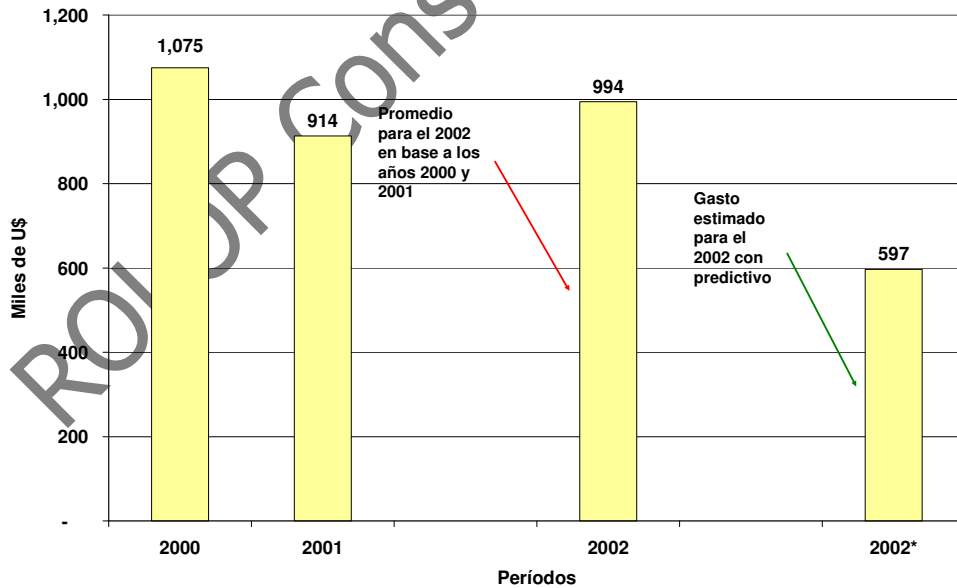


Figura 8 Gráfico de ahorros estimados por Fallas en Motores Eléctricos

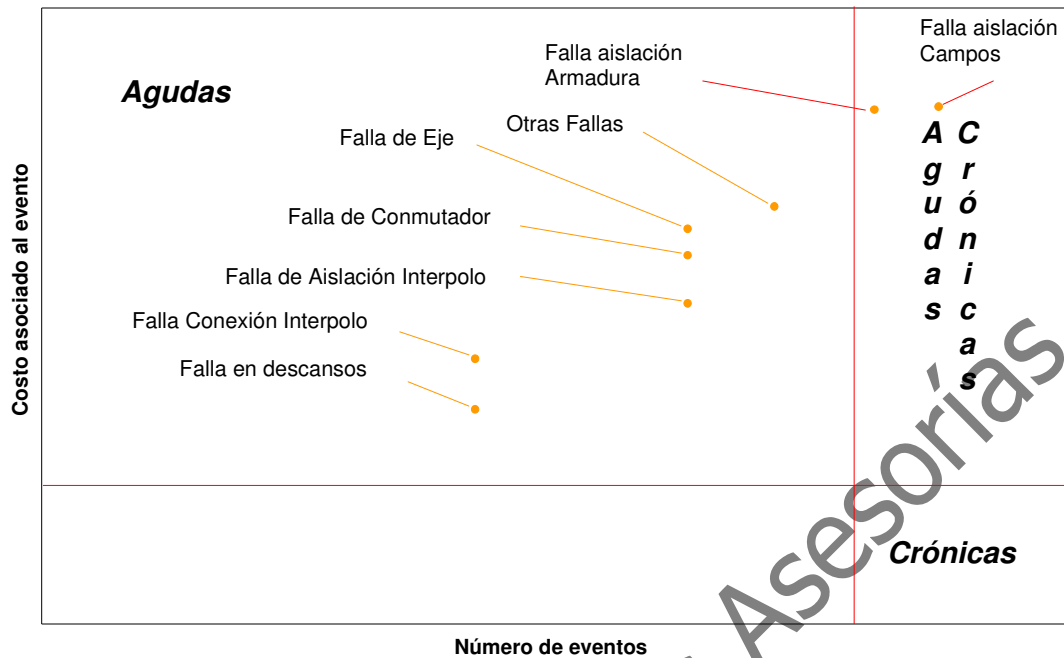


Figura 9 Diagrama de dispersión fallas en Motores Eléctricos

Indicadores Claves De Gestión (Kpi) De Mantenimiento Predictivo De Maquinas Eléctricas

Los primeros indicadores de éxito a considerar son:

- **TFS** (Horas): Tiempo (horas) fuera de servicio.
- **TFS**(%acumulado)
- **TFS** (Horas)/Tiempo total del equipo fuera de servicio.
- **TMPR** (Horas) . Tiempo medio (horas) de reparación

$$\text{TMPR} = \frac{\text{TFS(Horas)}}{n}$$

En que:

n= es el número de veces que se repite la falla



Al plantear los indicadores de gestión pretendemos:

- Proponer un incremento en los costos asignados a mantenimiento predictivo y su planificación.
- Prometer una disminución de los costos asignados a mantenimiento correctivo y de emergencia. Esto en base a curvas de probabilidad.
- Prometer una disminución de los costos ocultos (cifra difícil de evaluar en forma total, pero factible de evaluar parcialmente en forma cualitativa).
- Mantener (aproximadamente) el presupuesto de mantenimiento.

Pérdidas Ocultas (Difíciles De Evaluar):

- Pérdidas de producción por mantenimiento programado (pequeñas)
- Pérdidas de producción por mantenimiento no programado (emergencias). Se puede medir por el tiempo de reparación.
- Pérdidas en el ritmo de producción (por funcionamiento anormal o ineficiente).
- Pérdidas de calidad de producción.
- Pérdidas transicionales (disminuye la sinergia de la planta)

Así desarrollamos indicadores que reflejan las pérdidas ocultas, tales como:

- Tiempo entre fallas inesperadas (en lo posible asociarle un costo, al menos por pérdida de producción).
- Tiempo medios de reparación (tiempo total de reparación/ numero de fallas). Asociar un costo al menos por el costo de la reparación.
- Disponibilidad (tiempo medio entre fallas/ tiempo total) o producción en función del tiempo (producción media mensual, producción mínima, producción máxima, la banda de valores mensuales mientras mas pequeña menores son los costos ocultos). Se puede establecer un costo asociado a trabajar con baja producción.
- Finalmente a la promesa se puede asociar un factor un factor de probabilidad de ocurrencia. Si fracasamos, las fallas seguirán tal cual y



habría pérdidas iguales al mayor costo que significó dar más presupuesto a la planificación del mantenimiento y al mantenimiento predictivo.

- Si se tiene éxito en un 100% se podría prometer pasar de una curva de probabilidad de ocurrencia de falla a otra con mejores parámetros (que sería nuestra promesa para el próximo año). Puede definirse con los parámetros estadísticos o simplemente con el valor medio esperado (que también se deriva de la misma distribución prometida). En este caso, nuestra meta es que la tasa de falla sea menor que el valor medio esperado.
- Como a la tasa de falla le hemos asociado pérdidas ocultas, la disminución de la tasa de falla queda expresada en ahorros.

Resultados y Conclusiones

A casi 2 años de implementarse el área Mantenimiento Predictivo eléctrico, se puede concluir que la evaluación inicial del proyecto tanto en el ámbito técnico como el estudio de costos, fue acertado ya que en estos momentos la compañía, ha realizado ahorros importantes, en lo que se refiere a cantidad de motores retirados porque se incrementó su probabilidad de falla (aumento del budget de utilización de los motores), disminución de reparaciones por fallas catastróficas de motores retirados por emergencia (solo 5 en los casi 2 años), reducción de pérdidas operaciones por fallas imprevistas. Esto se muestra en los gráficos y tablas que se muestran a continuación:

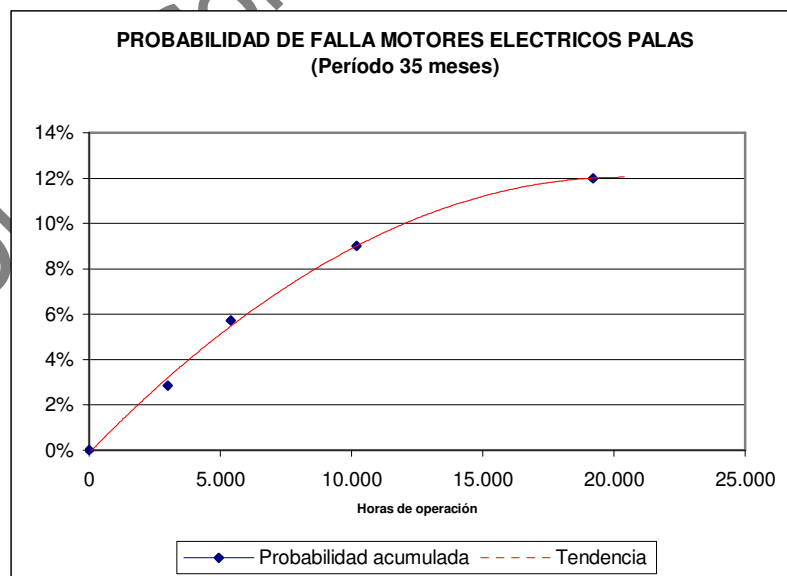


Figura 10 Diagrama de probabilidad de falla en Motores Eléctricos de Palas

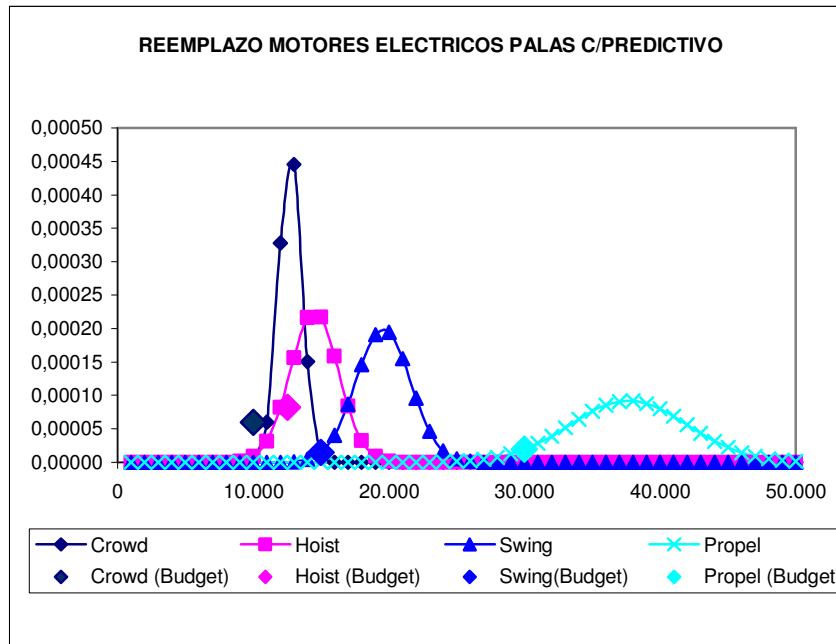


Figura 11 Distribución de tiempo de reemplazo de motores eléctricos en Palas

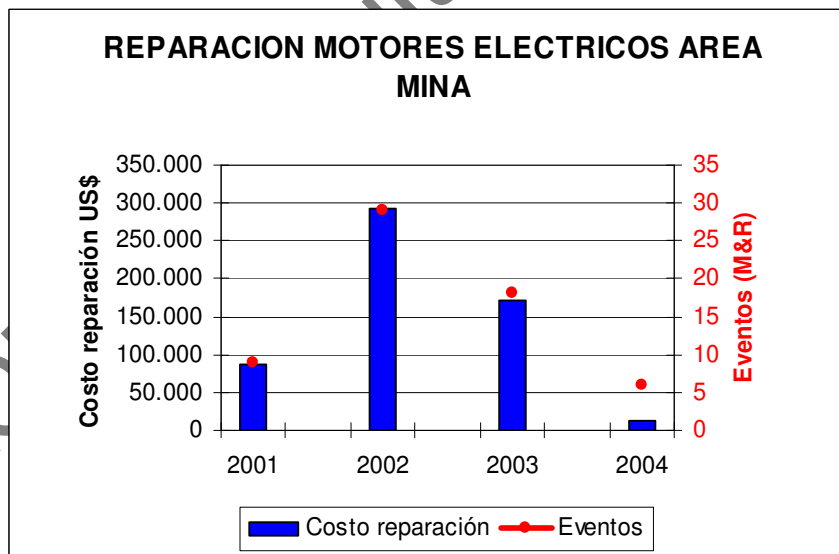


Figura 13 Distribución de costos y fallas en motores eléctricos Palas período 2001 - 2004



Estos buenos resultados, ha hecho necesario y deseable el expandir, esta estrategia de mantenimiento predictivo a los equipos eléctricos de la planta Concentradora y otras áreas del complejo industrial. La inversión para estos nuevos requerimientos es relativamente baja ya que se utilizan los mismos equipos adquiridos en la etapa de inicial de implementación, y otros utilizados por otras especialidades del mantenimiento predictivo como son colector de datos para análisis de vibraciones, cámara termográfica y otros.

Bibliografía

- "Técnicas para el Mantenimiento y Diagnóstico de Máquinas Eléctricas Rotativas", Manés Fernández Cabanas y otros, Edit. Marcombo 1998.
- Seminario "Gestión de Mantenimiento Eficaz", Edward Hartmann
- Manual "Analizador Digital de Motores Marca Baker®"
- Manual "Probador de Diagnostico de Aislamientos S1-5010, Marca Megger®"
- Manual "Probador de Tangente Delta 2000, Marca Megger®"
- Manual "Miliómetro Digital 3220, Marca Hioki®"
- Manual "Cámara de Termovisión® 550, Marca Agema"
- Manual "Analizador de Vibraciones CMVA 60, Microlog®, Marca SKF"