



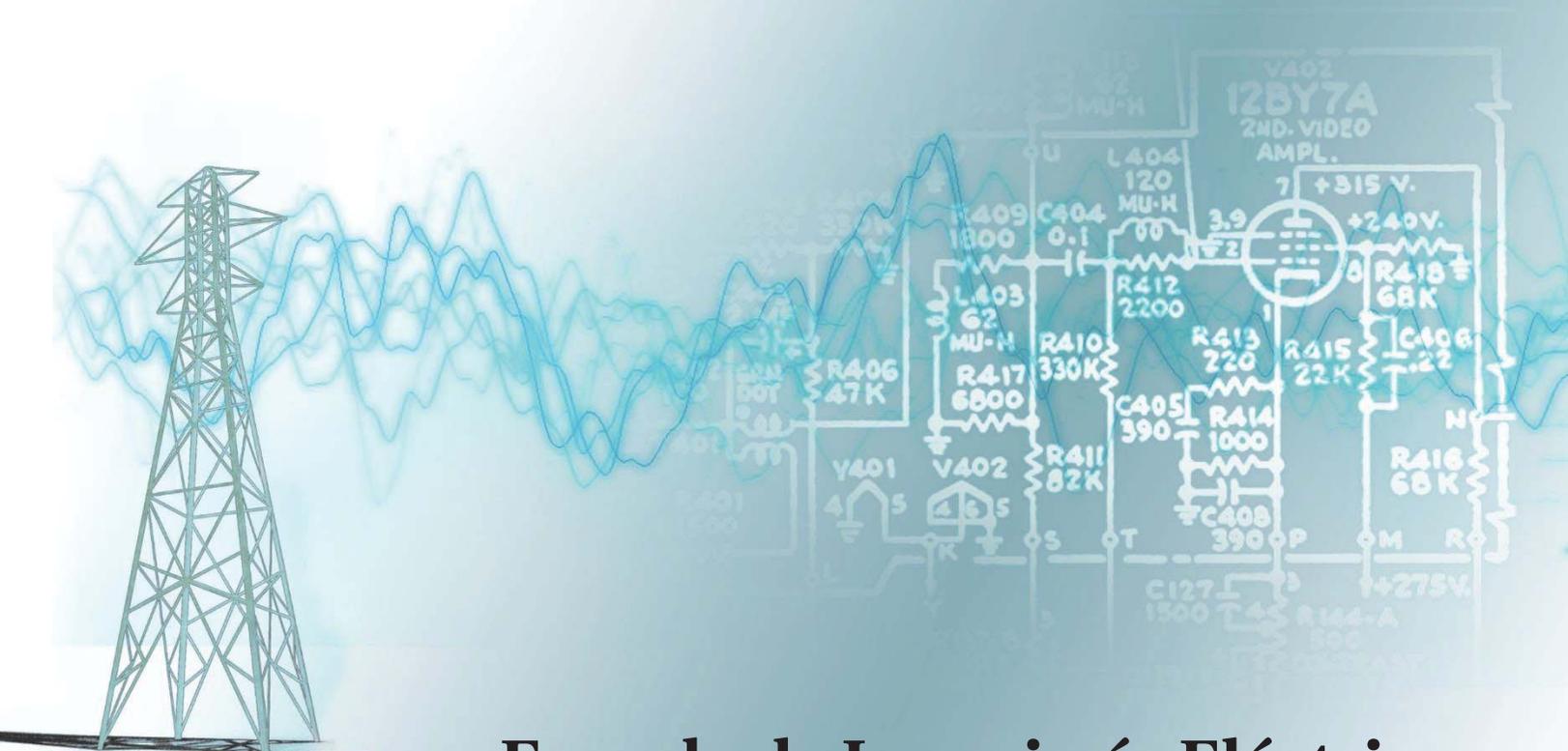
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO



Rubén Roberto Monardes Ponce

Confiabilidad en motores asíncronos en una planta de procesamiento de minerales

Informe Proyecto de Título de Ingeniero Eléctrico



Escuela de Ingeniería Eléctrica



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO

Confiabilidad en motores asíncronos en una planta de procesamiento de minerales

Rubén Roberto Monardes Ponce

Informe Final para el grado de Ingeniero Eléctrico,
aprobada por la comisión de la
Escuela de Ingeniería Eléctrica de la
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
conformada por

Sr. Paulino Alonso Rivas

Profesor Guía

Sr. Jorge Medina Hanke

Segundo Revisor

Sr. Sebastián Fingerhuth Massmann

Secretario Académico

Valparaíso, 12 de junio de 2017

A mi madre...por su lucha, amor y apoyo incondicional.

A mis abuelos Yorci y Rubén, y a mi hijo Agustín...por ser mi fuente de motivación.

Agradecimientos

Este trabajo representa la culminación de una etapa de mi vida, en la cual en cada proceso y en las distintas actividades en las que me desarrollé y desarrollé estuvieron presentes diversos actores.

Quiero agradecer a mi madre por todo su amor incondicional, esfuerzo, lucha y dedicación desde muy joven, asumiendo la responsabilidad y sacando la tarea adelante pese a las distintas adversidades que se fueron presentando en el camino, sin lugar a dudas esto es para ti.

A mis abuelos por estar presentes en cada etapa de mi vida, agradeciendo a Dios que aún se encuentren a mi lado y deseando que permanezcan por mucho tiempo más.

A mi padre por siempre estar presente y ser un referente de temple, humildad y bondad.

A Claudia, mi incondicional compañera. Gracias por tu amor y apoyo en cada momento que vivimos juntos y en lo que se nos avecina hoy en día, como lo es el nacimiento de nuestro hijo.

A mis tías Verónica y Mariela, gracias por creer en mí y siempre entregar su apoyo incondicional en este ámbito de mi vida. Y a mis tíos Cristian y María José por su apoyo en la ciudad de Iquique en mi etapa como memorista.

A mis compañeros de Iluminando Chile y al voluntariado en general, el cual resulta un pilar fundamental en mi etapa formativa y con el cual espero seguir trabajando por mucho tiempo más, en la búsqueda de ser un aporte en mejorar las desigualdades que existen en mi país.

A la Srta. Perla Veraguas por su noble labor formadora en las primeras etapas de la vida, sin duda siempre la recuerdo con cariño y admiración.

A mi profesor guía Sr. Paulino Alonso, por confiar en mí en esta etapa como memorista y por todo el apoyo brindado durante los distintos trabajos de voluntariado que he realizado en mi etapa universitaria.

A mi profesor Co referente Sr. Jorge Medina por cada crítica constructiva, conocimiento y consejo entregado durante la realización de este trabajo.

Valparaíso, 12 de junio de 2016

R. M

Resumen

El motor eléctrico es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas.

Dentro de cualquier planta o fábrica se puede encontrar al menos un motor eléctrico. Estas máquinas rotativas se han hecho parte fundamental de sistemas de bombeos, ventilación y diversa máquinas industriales, debido a su rendimiento, versatilidad y facilidad de uso. Por tal motivo una falla en un motor puede llegar a detener la producción. Teniendo en cuenta el rol que este cumple, muchas veces crítico dentro de la industria, es recomendable implementar un plan de mantenimiento que evite problemas en su funcionamiento.

En base a esto último este trabajo de título busca generar un plan de monitoreo predictivo para motores eléctricos. Dicho plan se basará en la confiabilidad de equipos y tiene como finalidad realizar un monitoreo sintomático de los motores asíncronos existentes, con la ayuda de un analizador dinámico de motores, para de esta forma, poder anticiparse a fallas incipientes en los equipos.

Este trabajo de título fue desarrollado en la Vicepresidencia de procesos de la Compañía minera Doña Inés de Collahuasi. El trabajo previo consistió en recabar información sobre los tipos de fallas en motores eléctricos, comparar las distintas tecnologías actuales en el mercado utilizadas en la detección de fallas eléctricas en motores; tanto pruebas estáticas como dinámicas. De igual forma se realizó el levantamiento de la información existente en la planta, referente a catálogos de fabricantes, hoja de vida de motores, fallas típicas, métodos predictivos actuales para detección de fallas, periodo de retiro y reemplazo actual.

A la vez se estudiará y utilizará el analizador dinámico de motores Explorer 4000 SKF Baker existente en la Compañía para realizar el estudio y determinar las acciones a seguir referente al plan predictivo a implementar una vez finalizada la tarea.

De esta forma se busca prolongar la vida útil de los motores existentes y prevenir eventos indeseados.

Abstract

An electric motor is an electrical machine that converts electrical energy into mechanical energy through the interaction between an electric motor's magnetic field and winding currents to generate force within the motor.

In almost every plant or factory there is at least one electric motor. These machines have a crucial role in pumping, ventilation, and different industrial machines due to their efficiency, versatility and easiness when using them. Therefore a failure in an motor can get stop production. Given the role that it plays, often critical in the industry, it is advisable to implement a maintenance plan to avoid operation problems.

Based on the latter, this thesis seeks to generate a predictive monitoring plan for electric motors. This plan will be based on the reliability of equipment and aims to make a symptomatic monitoring of existing asynchronous motors, with the help of a dynamic motor analyzer to anticipate incipient equipment failures.

This thesis was developed in the Vice president of the mining company Doña Ines de Collahuasi. Previous work consisted in collecting information on the types of faults in electric motors, comparing the various existing technologies in market used in the detection of electrical faults in motors; both static and dynamic tests. Similarly, the collecting of the existing plant information concerning catalogs of manufacturers, motor resume, typical failures, and current predictive methods for fault detection, withdrawal period and current replacement will be made.

At the same time will performs and use the dynamic engine analyzer SKF Explorer 4000 Baker existing in Company, to conduct the study and determine actions to be taken regarding the predictive plan for to implementing task.

In this way it seeks to extend the life of existing motors and prevent unwanted events.

Índice general

Introducción.....	1
Objetivos generales.....	3
Objetivos específicos	3
1 Antecedentes	4
1.1 Presentación.....	4
1.2 Descripción de la empresa	4
1.3 Historia	5
1.4 Accionistas.....	6
1.5 Ubicación.....	7
1.5.1 Área Cordillera	8
1.5.2 Área Puerto.....	8
1.5.3 Oficinas Generales.....	8
2 Tipos de fallas en motores eléctricos.....	9
2.1 Descripción	9
2.2 Tipos de zonas o áreas donde se producen las fallas.....	9
2.2.1 Circuito de Potencia.....	9
2.2.2 Calidad de energía.....	10
2.2.3 Estator o armadura.....	11
2.2.4 Fallas en el rotor: Ruptura en las barras del rotor y fallas en los anillos	11
2.2.5 Rodamientos.....	12
2.2.6 Relacionadas con la excentricidad.....	12
2.2.7 Sistema de aislamiento	13
3 Análisis estático de motores eléctricos.....	15
3.1 Introducción.....	15
3.2 Prueba de resistencia del devanado (método puente de Kelvin – ΔR).....	15
3.3 Prueba de resistencia de aislación (Megohm).....	16
3.4 Índice de Polarización (PI) / Absorción Dieléctrica (DA)	17
3.4.1 Índice de Polarización.....	17
3.4.2 Absorción Dieléctrica.....	18

3.4.3 Criterios de las pruebas.....	18
3.5 Alto Potencial (Hi Pot)	18
3.5.1 Hi Pot	18
3.5.2 Tensión de paso.....	19
3.6 Surge o Prueba de impulso	20
3.7 La razón por error de área (EAR)	22
3.8 Voltajes recomendados para las pruebas Hi Pot y Surge	23
3.9 Compensación de la temperatura.....	24
4 Análisis dinámico de motores	25
4.1 Introducción.....	25
4.2 Estudio de la calidad de energía	25
4.3 Estudio de la eficiencia de un motor	26
4.4 Estudio de las corrientes (nivel y desbalance).....	27
4.5 Estudio y análisis de los espectros.....	27
4.6 Estudio del torque.....	27
4.7 Estudio de las conexiones del motor.....	28
4.8 Monitoreo de VDF	28
4.9 Análisis de transientes	28
5 Explorer 4000.....	29
5.1 Introducción.....	29
5.2 Descripción del instrumento de medición	30
5.3 Objetivos del instrumento.....	31
5.4 Recopilación y organización de datos.....	31
5.5 Dominios	31
5.5.1 Dominio calidad de energía	31
5.5.2 Dominio rendimiento de la máquina.....	31
5.5.3 Dominio de corrientes	32
5.5.4 Dominio espectros	32
5.5.5 Dominio torsión	32
5.5.6 Dominio de conexiones	32
6 Pruebas realizadas en terreno	33
6.1 Antecedentes previos.....	33
6.2 Protocolos y diagrama de flujo	33
6.3 Levantamiento de motores	33
6.4 Historial de fallas y detenciones CCR.....	34
6.4.1 Correa 203	34
6.4.2 Correa 206	35
6.4.3 Correa 207	37
6.5 Mediciones	38
6.5.1 Descripción	38
6.5.2 Resultados obtenidos.....	39

7 Plan de acción	42
7.1 Introducción.....	42
7.2 Antecedentes	42
7.3 Pasos a seguir	47
8 Análisis económico.....	48
8.1 Introducción.....	48
8.2 Planteamiento	49
8.3 Determinación	49
Discusión y conclusiones.....	52
Bibliografía	53
A Apéndice.....	55

Introducción

La minería es el sector productivo que más aporta al PIB nacional, por lo tanto ha sido el actor principal en el crecimiento que ha presentado la economía chilena en las últimas décadas. La producción de cobre en Chile representa el 40% de la reservas del planeta y se lleva a cabo principalmente en las regiones de Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins.

El cobre es actualmente uno de los minerales de mayor utilización en la industria manufacturera, eléctrica, química y electrónica, en la construcción de automóviles y maquinarias.

El proceso del cobre se caracteriza por la extracción y traslado de mineral a planta, por la conminución de mineral fragmentado (chancado en minerales oxidados y chancado-molienda en sulfuros), por la concentración de minerales de cobre (aglomeración y lixiviación en minerales oxidados y flotación en minerales sulfurados) y por la obtención de cobre (extracción por solventes y electro-obtención en minerales oxidados y fundición en conjunto a electro-refinación en minerales sulfurados).

De esta forma se produce, principalmente, bajo la forma de cátodos, concentrados y refinados a fuego y es efectuada por tres grupos de empresas de la minería del cobre: Gran Minería, Mediana Minería y Pequeña Minería.

Dada la importancia que representa la industria del cobre en la economía del país es que resulta de suma importancia para las compañías mejorar los niveles de producción planteándolo como un objetivo principal.

Actualmente dada la disminución del precio del metal rojo, la mayoría de las mineras existentes en Chile han sido puestas en jaque, teniendo que ajustar costos, disminuir costos y en algunos casos entrar en recesión. En este escenario, se hace vital para la industria nacional optimizar la productividad, disminuir los costos y reducir los perjuicios tanto como para las personas como para el ambiente en donde se desarrolla la actividad y sus unidades operativas.

Particularmente en todos los procesos de una planta minera es donde se requerirá el uso de motores eléctricos; desde chancador principal, las correas transportadoras, molienda, etc. Todos equipos de gran relevancia para el proceso productivo. Por lo tanto, aumentar la continuidad

operacional y disminuir los costos de fallas en los motores de los distintos procesos va a contribuir a obtener las metas fijadas por la gran minería en Chile.

Cabe mencionar que la metodología de instalar motores en las distintas correas transportadoras de una planta, se efectúa debido a sus menores costos operacionales y de mantenimiento, como también a su mayor rendimiento en comparación a la utilización de camiones mineros para tal función.

Resulta importante para alcanzar las metas en la operación de la planta, estudiar los distintos equipos que intervienen en ella, las nuevas tecnologías existentes en el mercado y buscar soluciones y determinar un plan de trabajo, en el cual intervengan todos los actores que día a día llevan a cabo el proceso productivo.

El presente trabajo de titulación se origina en la Vicepresidencia de procesos de la Compañía minera Doña Inés de Collahuasi. De esta Vicepresidencia depende la Superintendencia de accionamiento de máquinas eléctricas y es de quien depende directamente el estudio de la implementación de un nuevo plan de monitoreo predictivo de la planta, lo que comprende tanto Faena Cordillera como el Puerto Patache. Por tal motivo por parte de la compañía se adquieren dos tipos de analizadores, uno de ellos es de tipo Dinámico y corresponde al Explorer 4000 y el segundo es de tipo estático y corresponde al AWA IV.

La importancia de los analizadores de motores recae en familiarizarse con ellos, determinar la mejor forma de utilizarlos y a la vez poder complementarlos en el monitoreo sintomático de los equipos para, de esta forma, buscar anticiparse a fallas incipientes, lo que conllevará al desarrollo de una estrategia óptima para la programación de las mantenciones y de esta forma alcanzar la mayor productividad con el menor costo por fallas.

Teniendo en cuenta que el hecho de que ocurra una falla siempre está presente en la industria, la idea es minimizar al máximo estos eventos perjudiciales, mediante una estrategia predictiva.

Este plan de monitoreo debe ir acompañado de la información histórica existente en la planta en cuanto a fallas, levantamiento de motores, plan actual utilizado, periodo de retiro y reemplazo, etc.

En cuanto al analizador dinámico este será un equipo de gran ayuda en este estudio, debido a su versatilidad y opciones que presenta. Este equipo busca brindar al usuario una visión global de la integridad de un motor. Integra una amplia gama de capacidades de monitoreo lo cuales satisfacen los actuales estándares internacionales. Fue diseñado para el monitoreo en servicio de circuitos de potencia, motores en general, etc.

El analizador Explorer 4000 puede monitorear remotamente mediante el centro de control de motores o mediante una conexión Baker EP.

Las opciones a analizar tendrán que ver con el tipo de conexión, la calidad de energía, eficiencia, análisis de transientes, rendimiento del equipo, análisis de las corrientes, análisis de los

espectros,, estudio del torque, monitoreo de los variadores de frecuencia existentes y el monitoreo continuo de un determinado motor.

Objetivos generales

- Generar un plan predictivo de motores asíncronos.

Objetivos específicos

- Anticiparse a fallas incipientes en los equipos.
- Prolongar la vida útil de los motores.
- Evitar/reducir detenciones no programadas.

1 Antecedentes

1.1 Presentación

Este trabajo busca abordar el tema de Confiabilidad en motores asíncronos en una planta de procesamiento de mineral.

De forma preliminar se debe realizar un estudio previo sobre las zonas de fallas, las distintas pruebas estáticas y las distintas pruebas dinámicas existentes para motores eléctricos. Esto se enmarca en la necesidad de generar un plan predictivo para todos los motores existentes en una determinada planta minera, basado en un correcto levantamiento de motores, el historial de fallas y detenciones y las pruebas que se puedan llevar a cabo tanto con un analizador dinámico de motores, como con un analizador estático de motores.

Por lo tanto a modo de estudio previo se analizarán ambas pruebas a modo de poder comprender de mejor forma los fenómenos que se puedan presentar y complementar, pero a la hora de la ejecución, solo se realizarán pruebas dinámicas, para determinar finalmente el plan de acción a seguir, junto a los protocolos de conexión y uso de equipos que esto conlleva.

Cabe señalar que este trabajo se enmarca en la memoria de título realizada en la VP Procesos Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi. La Vicepresidencia de procesos comprende las instalaciones de puerto (Punta Patache) y cordillera (Rosario, Ujina y Huinquintipa).

Dicha compañía minera ha adquirido hace poco tiempo el analizador dinámico de motores Explorer 4000, del cual aún se desconocen sus usos y aplicaciones. A su vez la GSO posee el analizador estático de motores AWA IV, para las distintas pruebas que ellos determinen realizar de forma estática.

1.2 Descripción de la empresa

Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi es una empresa minera dedicada a la extracción y producción de concentrado y cátodos de cobre, y concentrado de molibdeno. La explotación del mineral es a rajo abierto y se centra actualmente en los yacimientos Rosario y Ujina y, en una forma menor, en Huinquintipa, todos situados a 4.400 metros de altura sobre el nivel del mar en la zona altiplánica de la Región de Tarapacá, comuna de Pica, en el extremo norte de Chile.

A diciembre de 2014, Collahuasi era la segunda mayor operación de cobre en el mundo, y el tercer mayor depósito de cobre del planeta en recursos minerales (9.964 millones de toneladas).

Sus centros industriales y los tres yacimientos conforman el “Área Cordillera”. En el sector de Ujina se encuentra también la planta concentradora, desde donde nace un mineroducto de 203 km, a través del cual el concentrado de cobre es trasladado como pulpa hasta las instalaciones de filtrado y embarque de la compañía ubicadas en Punta Patache, a 65 km al sur de la ciudad de Iquique, donde se embarcan los productos hacia los mercados internacionales. En este lugar, denominado “Área Puerto”, se encuentran también las plantas de molibdeno y de filtrado de concentrado.

Collahuasi cuenta con oficinas administrativas en Avenida Baquedano 902, comuna de Iquique, Región de Tarapacá, y en Avenida Andrés Bello 2687, piso 11, comuna de Las Condes, Región Metropolitana. Además, en la comuna de Pica funciona una oficina que sirve de puente para el relacionamiento con la comunidad. [1]

1.3 Historia

La actividad comercial del distrito minero Collahuasi se inició en 1880 con la explotación de los sistemas de vetas de cobre-plata de alta ley, operación que se interrumpió el año 1930 a raíz de la crisis económica mundial. Las actividades en el área se reiniciaron en 1978, año en el cual se identificaron los componentes claves del yacimiento Rosario.

Posteriormente, en 1991, una combinación de estudios basados en imágenes satelitales, levantamientos aerofotogramétricos, terrestres y actividades de perforación de sondajes dio como resultado el descubrimiento del yacimiento Ujina. Los estudios de factibilidad y de impacto ambiental del Proyecto Collahuasi fueron aprobados en 1995. A fines de 1996, habiéndose suscrito los acuerdos relativos al financiamiento y comercialización, se dio inicio a la etapa de desarrollo y construcción.

La Compañía inauguró su operación comercial el 7 de abril de 1999 y desde entonces se propuso desarrollar su actividad en base a políticas y prácticas que contribuyan al bienestar de la sociedad, su economía y medio ambiente, tomando en cuenta las necesidades de los grupos de interés con los cuales se vincula. [2]

1.4 Accionistas

Collahuasi es una sociedad contractual minera perteneciente a Anglo American plc y a Glencore, cada una con un 44% de la propiedad. El 12% restante pertenece a Japan Collahuasi Resources B.V., todas ellas representadas en el directorio.



Figura 1-1 Accionistas de CMDIC

Fuente: <http://www.collahuasi.cl/espanol2/compania/accionistas.asp>

Anglo American plc es una de las mayores compañías mineras del mundo, su casa matriz está en el Reino Unido y cotiza principalmente en la bolsa de Londres. Su cartera de negocios abarca metales preciosos en los que es líder global en platino y diamantes; metales –cobre y níquel–; productos a granel de mineral de hierro, carbón metalúrgico y carbón térmico. Anglo American está comprometida con los más altos estándares en seguridad y responsabilidad en todos sus negocios y países y en hacer una diferencia sostenible en el desarrollo de las comunidades cercanas a sus faenas. Sus operaciones mineras y extensa cartera de proyectos de crecimiento están localizados en África, Sudamérica, Australia, Norteamérica y Asia.

Glencore es una de las empresas de recursos naturales más grandes del mundo. Es líder en la producción y comercialización de materias primas, con una cartera equilibrada de diversos activos industriales; cuenta con un posicionamiento sólido para crear valor agregado en cada etapa de la cadena de suministro, desde la obtención de materiales del subsuelo hasta el suministro de productos a una base de clientes internacional. Las actividades industriales y de marketing del Grupo se apoyan en una red global de más de 90 oficinas situadas en más de 50 países. Sus operaciones diversificadas abarcan sobre 150 explotaciones mineras y metalúrgicas, plataformas petrolíferas, granjas e instalaciones agrícolas. Tiene aproximadamente 190.000 trabajadores.

El consorcio japonés está encabezado por *Mitsui & Co., Ltd.*, una de las mayores compañías de trading de la nación nipona, y comprende a las compañías *Nippon Mining & Metals Co., Ltd.* y *Mitsui Mining & Smelting Co., Ltd.* [3]

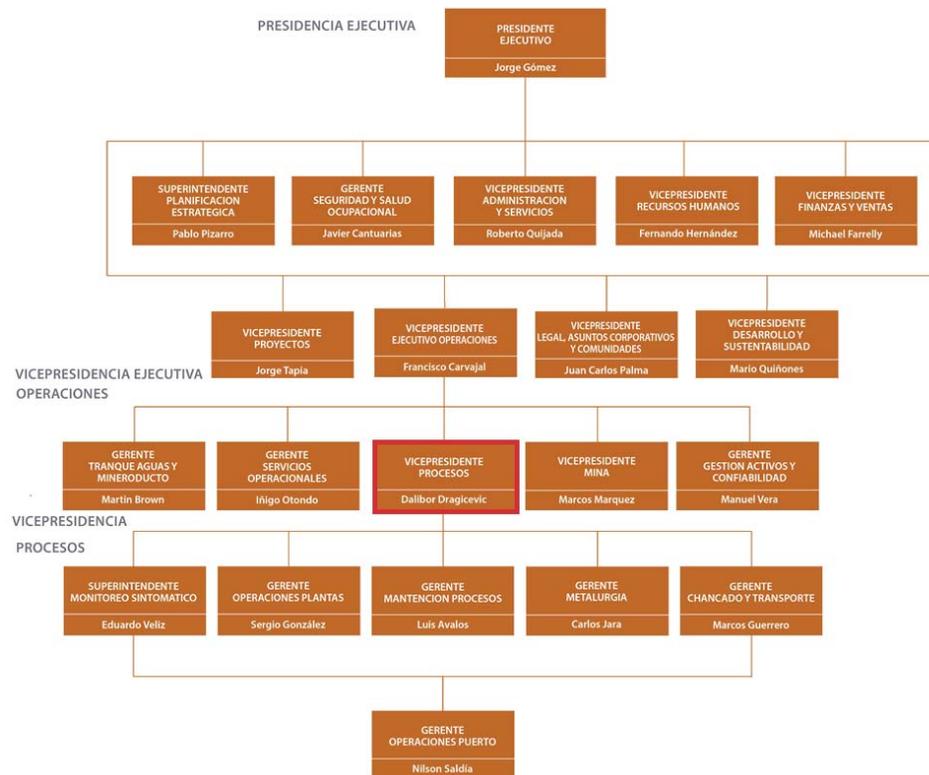


Figura 1-2 Organigrama de la compañía

Fuente: https://performancemanager.successfactors.com/sf/orgchart?bplte_company=CollahuasiP&_s.crb=fWF9V%252fufhEM4SS%252bbiLO3TH2X4nU%253d

1.5 Ubicación

Compañía minera Doña Inés de Collahuasi SCM está ubicada a 4.400 metros de altura sobre el nivel del mar, en la zona altiplánica de la primera región de Tarapacá, en el extremo norte de Chile.

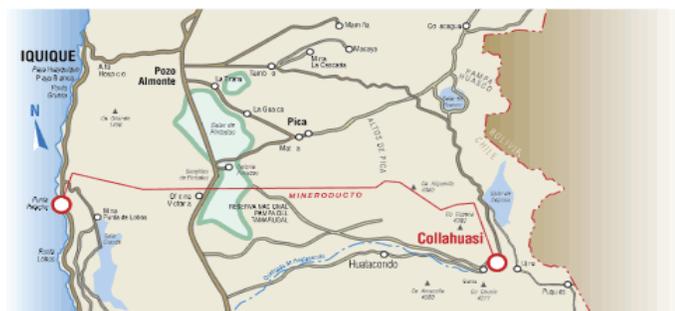


Figura 1-3 Localización

Fuente: http://ciecfe.epn.edu.ec/wss/VirtualDirectories/80/Automatizaci%C3%B3n-Instrumentacion/Laboratorios/procesos/anterior/PROYECTO%20CONTROL/collahuasi_archivos/image001.gif

1.5.1 Área Cordillera

Sus instalaciones industriales y sus yacimientos Rosario, Ujina y Huinquintipa están ubicados en la comuna de Pica, a 185 km al sureste de la ciudad de Iquique, a una altitud promedio de 4400 metros sobre el nivel del mar.

1.5.2 Área Puerto

En Ujina está ubicada la planta concentradora, desde donde nace un mineroducto que se extiende a lo largo de 203 km hasta las instalaciones de filtrado y embarque de la Compañía, situadas en Punta Patache, a unos 65 km al sur de Iquique, cuya labor es trasladar el concentrado de cobre. En este lugar se ubica también la planta de molibdeno y el terminal portuario donde se embarcan los productos procesados con destino a los mercados internacionales.

1.5.3 Oficinas Generales

Las oficinas principales de la Compañía están ubicadas en Iquique, capital de la Primera Región de Tarapacá, donde funciona la Presidencia Ejecutiva. Además, la empresa cuenta con oficinas corporativas en la comuna de Pica, en la misma región, y en la ciudad de Santiago, capital de Chile. [4]



Figura 1-4 Vista aérea instalaciones cordillera

Fuente: <http://www.gestionriesgos.cl/wp-content/uploads/collahuasi1-300x222.jpg>

2 Tipos de fallas en motores eléctricos

2.1 Descripción

Revisiones sobre fallas en máquinas eléctricas han encontrado los elementos más comunes de fallas. Estos han sido clasificados de acuerdo a los componentes principales de una máquina. Fallas relacionadas con: el estator, el rotor, los rodamientos y otras. [5]

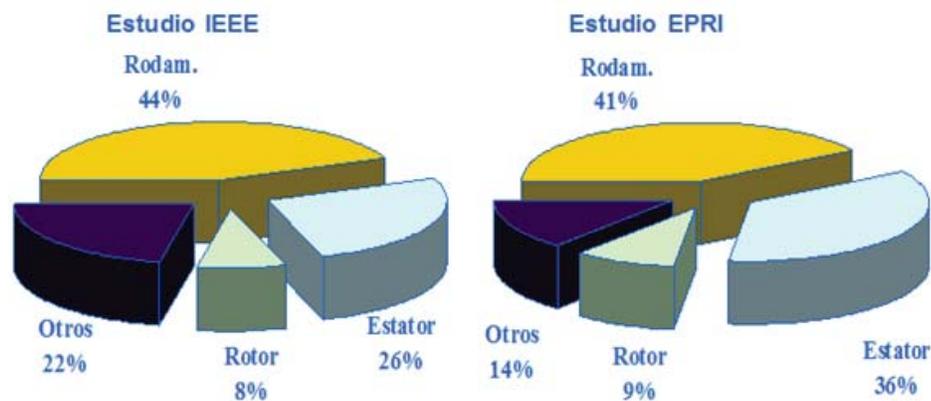


Figura 2-1 Tipos de fallas en máquinas eléctricas

Fuente: Inducción analizador avanzado de bobinados SKF Comulsa

Es conocido que las fallas dependen del tipo de máquina eléctrica, de las condiciones de trabajo donde esté ubicada, así como del ciclo de trabajo y mantenimiento al que están sometidas.

2.2 Tipos de zonas o áreas donde se producen las fallas

2.2.1 Circuito de Potencia

Comprende la zona desde el CCM hasta la caja de bornes de conexión del motor (involucrando todos los interruptores, conectores de los bornes, cuchillas, contactores, fusibles y protecciones térmicas).

Según las estadísticas el 46% de las fallas en los motores se han producido por falsos contactos, por lo que muchas veces el motor se encuentra en buen estado pero ha sido montado en un circuito de potencia defectuoso que al final lo termina dañando. [6]

Típicamente las conexiones de alta resistencia (se oponen al paso de la corriente) son causadas por:

- Terminales corroídos
- Cables sueltos
- Barras sueltas
- Hilos abiertos
- Prensa fusibles corroídos
- Conexiones entre aluminio – cobre
- Diferentes tamaños de conductores

Los problemas de conexiones de alta resistencia son variados, entre ellos:

- Generación de armónicas
- Desbalances de voltaje
- Desbalances de corriente

Uno de los métodos que se puede utilizar para defectos en el circuito de potencia de un motor corresponde a una prueba de tipo estática (con motor detenido) y recibe el nombre de medición de resistencia entre fases (prueba de resistencia del devanado).

Ahora, desde un punto de vista dinámico (con motor en movimiento) el motor puede ser evaluado al detectarse cualquier desbalance de voltaje y corriente en sus fases.

De acuerdo a la norma NEMA ningún motor debe ser operado con desbalances de tensión mayores a un 5%.

2.2.2 Calidad de energía

Corresponde a una zona con mucha influencia en la vida de un motor. Existen varios factores involucrados en localización de energía, algunos tales como:

- Desbalance de tensión
- Peaks de tensión
- Factor de potencia

- Distorsión armónica tanto de tensión como de corriente

Respecto al factor desbalance de tensión, se define que ocurre cuando los voltajes de línea aplicados a un motor no son equilibrados y se desarrollan corrientes desbalanceadas en los devanados del estator, a las cuales se les conoce como corrientes de secuencia negativa y reducen el torque del motor. Se producen dos efectos importantes, aumenta la temperatura en el devanado y aumenta su vibración. Un aumento de la temperatura por encima de su valor permitido provocaría daños al aislamiento, y el aumento en los niveles de vibración provocaría en algún grado solturas mecánicas, rodamientos y aflojamiento de las bobinas. [7]

2.2.3 Estator o armadura

En un estator es importante el diagnosticar los devanados, el aislamiento entre vueltas, juntas de soldado entre las espiras y el núcleo del estator o laminaciones.

El diagnóstico de esta zona de falla puede ser efectuada desde el CCM o directamente desde los terminales del motor.

Las fallas en el devanado del estator son a menudo causadas por fallas en el aislamiento entre dos espiras adyacentes en una bobina y eventualmente destruye todo el motor. Esto es llamado una falla entre vuelta-vuelta o cortocircuito en el devanado, esto reduce la habilidad de producir un campo magnético balanceado.

Las corrientes inducidas resultantes producen calentamiento adicional y causan un desequilibrio en el campo magnético de la máquina. Esto a la vez trae otras consecuencias como un aumento en la vibración de la máquina, y por ende degradación del aislamiento y daños a los rodamientos del motor.

Aún más grave que esta es la falla entre fases, un corto de este tipo acelera rápidamente la destrucción del motor. Fallas de este tipo puede ocurrir varias veces en un motor y no resultan en una falla a tierra. Debido a esta razón, el utilizar solamente un Megger como herramienta predictiva es insuficiente ya que este tipo de fallas pueden ser pasadas por alto. Si el núcleo del motor se llegase a dañar el reemplazo del motor sería total. [8]

2.2.4 Fallas en el rotor: Ruptura en las barras del rotor y fallas en los anillos

Cuando se trata del rotor de deben revisar las barras, laminaciones y los anillos en cortocircuito. La detección de este tipo de fallas es importante debido a que la fractura de una de sus barras o uno de sus anillos, convierte al rotor en un circuito trifásico desbalanceado. Tal desbalance se manifiesta por medio de la circulación de corrientes de secuencia negativa. Como consecuencia de ello, se establece un campo giratorio que gira en sentido contrario a la rotación del rotor, este campo magnético giratorio provoca un nuevo par sobre el rotor. Este par, a su vez, ocasiona una oscilación en la velocidad del rotor, cuya amplitud depende de la inercia acoplada. Tales oscilaciones afectan a las corrientes del estator, sobre las cuales se inducen las denominadas bandas laterales. Estas bandas laterales permiten identificar claramente fallas en el rotor, las

frecuencias a las que se manifiestan son función del deslizamiento del motor y su amplitud es fuertemente dependiente del estado de la carga.

Muchas veces, los problemas en las barras del rotor no son fácilmente detectables con tecnologías comunes y se obvia como causa raíz. Un diagnóstico correcto exige como mínimo que el motor se encuentre por encima de la mitad de su carga nominal. [9]

2.2.5 Rodamientos

Los rodamientos representan la causa más común de fallas en los motores. Fallas en el camino interior de rodadura, camino exterior de rodadura o en los elementos rodantes, producirá componentes de frecuencia de vibración únicas en las mediciones de la máquina y en los sensores que se utilicen para tal efecto. Bajo condiciones normales de funcionamiento, los rodamientos fallan por desgaste o fatiga de material, cuando comienzan a fallar se incrementan las vibraciones de las máquinas y los niveles de ruido acústico aumentan. Estas frecuencias de falla de rodamientos están en función de la geometría y la velocidad de marcha. Aunque aproximadamente más del 40% de las fallas en las máquinas eléctricas están relacionadas con los rodamientos, estas pueden llegar a confundirse con asimetrías rotóricas. [10]

2.2.6 Relacionadas con la excentricidad

Corresponde a una falla mecánica del rotor, y se produce cuando el rotor no está centrado dentro del estator, produciendo un entrehierro no uniforme entre ellos (Air Gap). Si este Air Gap no está bien distribuido en los 360° del motor, se producirán campos magnéticos desiguales. Esto puede ser causado por el constante uso, defectos en los rodamientos, fallas de fabricación o algún golpe en su instalación o manipulación.

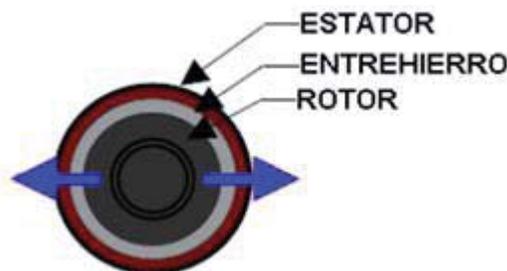


Figura 2-2 Sección rotor-estator sin excentricidad del rotor y esfuerzos laterales compensados

Fuente: <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0616t.pdf>

La variación en el entrehierro distorsiona la distribución del campo magnético dentro del motor y esto produce unas fuerzas radiales desbalanceadas en el rotor en la dirección de este pequeño entrehierro.

Esto puede ser llamado “esfuerzos magnéticos desbalanceados” que causan una especie de rozamiento o fricción entre el rotor y el estator, resultando con esto un daño en el motor. Estos campos magnéticos desiguales que generan fallas en el aislamiento y fallas en los rodamientos, a simple vista se traducen en fenómenos mecánicos como la vibración.

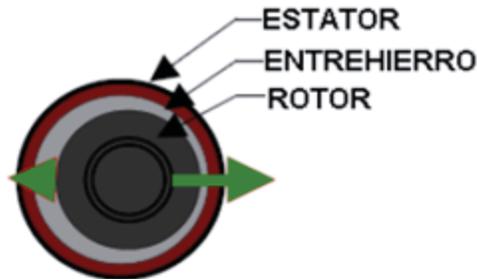


Figura 2-3 Sección con mínimo entrehierro a un lado de la sección provocando esfuerzo no compensado

Fuente: <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0616t.pdf>

Existen básicamente dos tipos de excentricidades:

- a) La estática: En la cual el rotor está descentrado pero fijo en un lugar. Generalmente este tipo de problemas es causado cuando los alojamientos de los roles están desalineados, por un inadecuado alineamiento o por que la carcasa del motor fue torcida cuando se instaló en su base.
- b) La dinámica: En la cual lo que ocurre es que el punto de entrehierro mínimo no permanece fijo en una posición en el espacio si no que gira solidario con el rotor. La causa de este comportamiento puede ser la forma oval del rotor, o el hecho de que el centro de giro de este último no sea su centro geométrico de rotación.

2.2.7 Sistema de aislamiento

El sistema de aislamiento de los motores se encuentra sujeto a diversos esfuerzos de tipo mecánico, térmico y eléctrico; y suele degradarse con el paso del tiempo debido al efecto de múltiples factores, los cuales aceleran el proceso de deterioro natural.

El sistema de aislamiento busca aislar las bobinas entre sí, al igual trata de aislar las bobinas de las diferentes fases, las bobinas de la carcasa de la máquina y aislar las láminas del núcleo magnético. [11]

Cuando se habla de la condición de aislamiento, se refiere a la resistencia que existe entre este a tierra (RTG, por sus siglas en inglés). La RTG indica que tan limpio o sano esta un aislamiento. Para que se dé una falla a tierra, deben ocurrir dos cosas:

- Primero, debe crearse un camino de conducción a través del aislamiento. Conforme el aislamiento envejece se fisura y posibilita que se acumule material conductor.
- Segundo, la superficie exterior del aislamiento se contamina con material conductor y conduce suficiente corriente a la carcasa o núcleo del motor que está conectado a tierra.

Las principales causas de que exista contaminación en el sistema de aislamiento, se producen por los siguientes factores:

- Humedad: severa humedad resulta en corrosión en el núcleo laminado.
- Condensación.
- Abrasión: Contínua abrasión puede remover el aislamiento del bobinado.
- Objetos extraños: Pueden cambiar ciertas propiedades dieléctricas haciendo al aislamiento más propenso a una falla.

Al determinar la causa raíz de una falla en el aislamiento de un motor, puede involucrar alguna de estas posibles causas:

- Circuito de potencia: Una conexión de alta resistencia, produce un voltaje de línea balanceada.
- Armónicas: Introducen corrientes de secuencia negativa sobrecalentando el devanado.
- Ambiental: Contaminación del motor.

Entre las fallas más comunes en el sistema de aislamiento se encuentran las siguientes:

- Fallas de línea a tierra: La causa más común de sobrevoltaje sostenido en los sistemas aislados es que una fase del sistema se aterrice. En este caso el aislamiento de las otras dos fases se somete a un 73% más de lo normal y aún si en ciertos casos una falla como esta no es suficiente para que se provoque una ruptura del aislamiento, la repetición de estas condiciones acorta su vida.
- Condiciones resonantes: Cualquier aparato eléctrico que tenga un sistema de aislamiento está expuesto a los voltajes resonantes. Como la capacitancia de fase a tierra de los sistemas grandes es alta, se puede dar la condición aproximada del circuito resonante durante una falla de fase a tierra, con alguna inductancia, como una bobina dañada de un partidador de un motor.

3 Análisis estático de motores eléctricos

3.1 Introducción

Para probar motores adecuadamente y tener programas de mantenimiento, efectivos y previsibles, se sugiere usar una secuencia específica de pruebas. La idea general es hacer las pruebas con una serie de pruebas progresivamente más rigurosas, aceptando la idea de que si una prueba falla, la investigación del problema y reparación del mismo debe comenzar en ese momento. Pruebas posteriores más rigurosas serán llevadas a cabo solo después de obtener diagnósticos satisfactorios y/o reparaciones. El conjunto de las pruebas las recomienda la IEEE, NEMA, EASA e IEC. [12]

3.2 Prueba de resistencia del devanado (método puente de Kelvin – ΔR)

Esta prueba busca un desbalance de resistencia entre fases. Si un desbalance grande es encontrado (dentro de los parámetros según la norma vigente), el motor debería ser inspeccionado para determinar las causas de las discrepancias. Los problemas típicos que existen son:

- a. Cortocircuitos francos en el núcleo del motor.
- b. Cortocircuitos francos entre bobinas de una misma fase o entre fases.
- c. Bobinas rebobinadas con alambre de calibre impropio.
- d. Conexiones flojas o corroídas.

❖

La fórmula para el cálculo entre los valores prácticos obtenidos es la siguiente:

$$\Delta R = \frac{R_{Max} - R_{Min}}{R_{Promedio}} \times 100\% \quad (3.1)$$

Pruebas adicionales como por ejemplo Hi Pot o Surge no son necesarias hasta que las medidas de resistencia sean aceptables.

Criterios pasa/no pasa:

- Alimentador – 2% Desbalance máximo (Motor con rotor devanado).
- Conductores del motor – 1% Desbalance máximo (Motor con rotor devanado).
- Alimentador – 3% Desbalance máximo (Motor con devanado aleatorio).

- Conductores del motor – 2% Desbalance máximo (Motor con devanado aleatorio).

3.3 Prueba de resistencia de aislación (Megohm)

Esta prueba se rige por la norma IEEE Std. 43 y se realiza utilizando una prueba de voltaje basada en el voltaje operacional del motor, en los estándares apropiados y directrices de la compañía. Busca algún valor bajo de resistencia cuando es comparado con los valores de medidas previas o límites aceptados por la industria para este tipo de aislamiento del motor. Si un valor bajo es hallado, el motor debe ser inspeccionado por daños en la pared de aislamiento a tierra. [13]

Los posibles problemas incluyen:

- Daño en el aislamiento de la cobertura de las ranuras o quemaduras en el aislamiento del alambre.
- El motor puede estar cubierto de suciedad, polvo de carbón, agua u otros contaminantes.
- Las conexiones a las bobinas pueden estar defectuosas
- El aislamiento equivocado puede haberse usado para conectar las bobinas en la caja de conexiones, etc.

❖

El potencial se debe aplicar por un minuto y los cálculos se deben corregir a una temperatura de 40 °C. Teniendo presente como regla de oro que la resistencia disminuye a la mitad por cada 10 °C de aumento de la temperatura. La fórmula para el cálculo entre los valores prácticos obtenidos es la siguiente:

$$R_{aisl.} = R_{aisl.medida} \times 0,5 e^{\frac{temp.-40}{10}} \quad (3.2)$$

Esta prueba no determina si el motor está totalmente en buenas condiciones o si existen fallas entre espiras. No son necesarias pruebas posteriores hasta que la razón para las medidas bajas de Mega-Ohm sea encontrada y corregida.

Tabla 3-1 Directrices para la aplicación de voltajes DC durante la prueba de resistencia de aislamiento

Winding rated voltage (V) ^a	Insulation resistance test direct voltage (V)
<1000	500
1000–2500	500–1000
2501–5000	1000–2500
5001–12 000	2500–5000
>12 000	5000–10 000

Fuente: Norma IEEE 43-2000

3.4 Índice de Polarización (PI) / Absorción Dieléctrica (DA)

3.4.1 Índice de Polarización

La prueba de índice de polarización se rige por la norma IEEE Std. 43 y es similar a la del Megohm, esta se realiza con el fin de medir cuantitativamente la capacidad de un aislante a polarizarse. Busca deterioro, resequedad, humedad o contaminación del aislamiento a tierra.

Cuando un aislador se polariza, los dipolos distribuidos en todo el aislante se suman al campo eléctrico aplicado. La polarización de las moléculas, la polarización de la corriente, o la corriente de absorción, se desarrollan de tal forma que se suman a la pérdida de aislamiento. Esta corriente de polarización adicional disminuye en el tiempo y se reduce a cero cuando el aislamiento está totalmente polarizado.

La prueba de PI es típicamente realizada en 500, 1000, 2500 o 5000 volts. Esto depende del voltaje de operación de los motores de prueba. La duración de la prueba es de 10 minutos. El valor de PI es calculado mediante la división del valor de la resistencia de aislamiento en 1 minuto por la resistencia a 10 minutos.

En general, los aisladores que se encuentran en buen estado mostrarán un índice de polarización alto, mientras que los aisladores que están dañados no. Para ver las recomendaciones de valores mínimos de aislamientos aceptables según la clase de aislamiento térmica del motor, se debe ver la norma IEEE 43-2000.

Muchos materiales aislantes desarrollados recientemente (últimos 20 años) no se polarizan fácilmente. Como se recomienda en IEEE 43-2000, si la resistencia de aislamiento de un minuto es superior a 5000 MΩ, la medición de PI puede no ser significativa.

Es importante señalar que la prueba de PI no debe ser utilizada como base para los criterios de aceptación de motor. El PI debe ser usado como una herramienta de diagnóstico de tendencias y, junto con los resultados de otras pruebas.

Ninguna prueba adicional es necesaria, hasta que la razón de la lectura de bajo PI sea encontrada y corregida [14]. Es recomendable utilizar el PI para motores superiores a 100 HP.

Análisis de falla:

- El aislamiento entre la línea y la ranura o el esmalte de los conductores se encuentra quemado o dañado.
- El motor podría estar sucio con carboncillo, humedad u otros contaminantes.
- Bobinas del motor en cortocircuito a tierra.
- Bajo aislamiento del cable.

La fórmula para el cálculo entre los valores prácticos obtenidos es la siguiente:

$$PI = \frac{10 \text{ min. insulation resistance}}{1 \text{ min. insulation resistance}} \quad (3.3)$$

3.4.2 Absorción Dieléctrica

La Prueba Absorción Dieléctrica es esencialmente una prueba **PI** de **corta duración** y es destinada para motores relativamente pequeños, se recomienda utilizar el **DA** para motores entre 50 y 100 HP. Motores grandes cuyo aislamiento no se polariza fácilmente, son también buenos candidatos para la prueba **DA**. Con excepción del corto tiempo de duración de la prueba, todos los otros principios son esencialmente los mismos que para la prueba **PI**. Por lo general si la resistencia obtenida es más de 5000 MΩ en un minuto, entonces se debe realizar la prueba de Absorción Dieléctrica.

El valor **DA** es la razón entre la Resistencia de la Pared Aislamiento a Tierra (**IR**) en 3 minutos y la Resistencia de la Pared Aislamiento a Tierra (**IR**) en 30 segundos.

La fórmula para el cálculo entre los valores prácticos obtenidos es la siguiente:

$$DA = \frac{3 \text{ min. insulation resistance}}{30 \text{ seg. insulation resistance}} \quad (3.4)$$

3.4.3 Criterios de las pruebas

- IP > 1 se deja en servicio (Criterio de terreno)
- IEEE exige IP 2 o superior
- No hay estándar aceptado para DA
- Se entiende que el valor DA debe estar cercano a la relación IP (>2)

3.5 Alto Potencial (Hi Pot)

La prueba de índice de alto potencial se rige por la norma IEEE Std. 95 y se utiliza generalmente en pruebas de fábrica o de control de calidad. Esta prueba consiste en aplicar una corriente directa al bobinado de un motor, de la misma manera que las pruebas de Mega-Ohm / PI, pero a un voltaje mucho más alto – usualmente un voltaje dos veces el voltaje operacional del motor. Consta de las siguientes pruebas:

- Hi-Pot escalón de voltaje: Acumula la tensión y la envía al motor.
- Rampa: Genera una rampa y la envía al motor.
- Step-Voltage (Voltaje de paso): Es aplicada en tensiones de peldaños.

3.5.1 Hi Pot

Esta prueba se realiza con un voltaje de prueba que es substancialmente más alto que la prueba de Megohm, sin embargo, se lleva a cabo a las tensiones que el motor normalmente, ve durante el arranque y parada. La tensión de ensayo debe estar basada en la tensión de funcionamiento del motor y las normas apropiadas/directrices de la empresa.

Busca altas corrientes de fuga inusuales que no se mantiene constante o intermitentes saltos arriba y abajo. Las altas corrientes de fuga son una indicación de debilidad de aislamiento con respecto a tierra. Inspeccione la ranura del estator. [15]

Ninguna prueba adicional es necesaria, hasta que la razón del valor inaceptable de HiPot sea encontrada y corregida.

Análisis de falla:

- El aislamiento entre la línea y la ranura o el esmalte de los conductores se encuentra quemado o dañado.
- El motor podría estar sucio con carboncillo, humedad u otros contaminantes.
- Bobinas del motor en cortocircuito a tierra.
- Bajo aislamiento del cable.

3.5.2 Tensión de paso

La prueba de tensión de paso se utiliza para el mantenimiento predictivo y pruebas de fábrica. Esta prueba se realiza en CC a una tensión similar a lo que el motor es sometido durante el arranque y parada. La tensión de prueba es recomendada por la IEEE. El voltaje de CC se aplica a las tres fases del devanado y aumenta lentamente a un nivel de tensión preprogramados y es mantenido por un período de tiempo predeterminado. Esta prueba se continúa hasta que la tensión de prueba es alcanzada.

Dado que la prueba es la más estable al final de cada paso, los datos son registrados en este punto. Si un este punto la corriente de fuga (mA) se duplica desde el paso anterior, hay una indicación de la debilidad del aislamiento y la prueba debe ser detenida. Si la corriente de fuga (mA), se proyecta cada vez menos del doble, el aislamiento del motor se encuentra en buen estado. La corriente de fuga también debe ser monitoreada durante los períodos mantenidos.

Si se encuentra algún problema ninguna prueba adicional es necesaria, hasta que la razón de la lectura inaceptable sea encontrada y corregida.

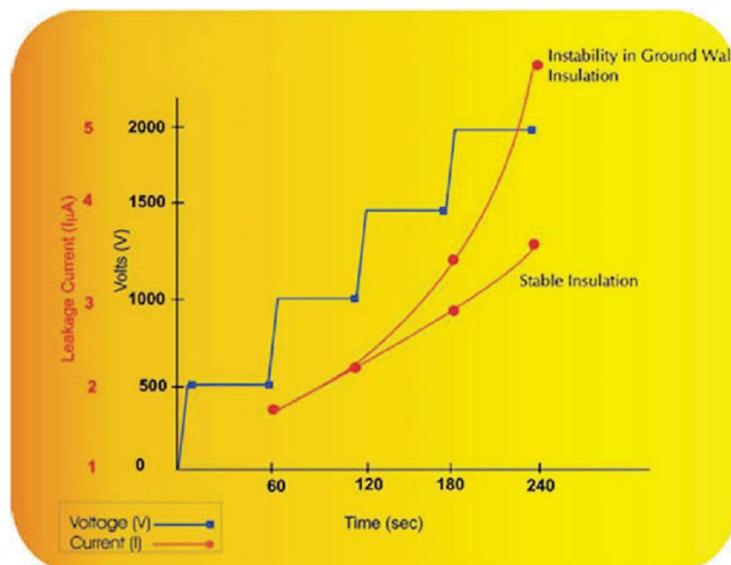


Figura 3-1 Voltaje de paso

Fuente: Guía rápida AWA-IV SKF Comulsa

Las pruebas de tensión de paso se deben realizar en los motores que cumplan los siguientes criterios:

- Lecturas de aislamiento del bobinado del estator aceptable.
- Datos aceptables en la medición y curva de PI.
- Esta prueba generalmente se realiza en el CCM. Si el motor no supera la prueba en el CCM, el motor debe ser probado desde la caja de uniones para confirmar la lectura.

Tabla 3-2 Configuración de la prueba Hi Pot

Voltaje nominal	Voltaje/Paso	Tiempo mantenido
480	500	30 sec
2KV+	1000	30-60 sec

Fuente: Guía rápida AWA-IV SKF Comulsa

Análisis de falla:

- Las mismas que las de Prueba de HiPot DC.

3.6 Surge o Prueba de impulso

Mientras que las pruebas de Mega-Ohm / Índice de Polarización / Hi-Pot son usados para detectar debilidades de la pared de aislamiento a tierra, la prueba de impulso (o de sobrevoltaje) es usada para detectar debilidades de aislamiento entre espiras.

Fallas de aislamiento de motores usualmente comienzan como fallas de aislamiento entre espiras, las que eventualmente dañan la pared de aislamiento a tierra y conducen a fallas catastróficas. La prueba de impulso puede detectar estados anteriores a un problema antes de que éste se haga más severo.

Como se indicó anteriormente, la prueba de impulso se la ejecuta para detectar daños de aislamiento entre espiras dentro de un bobinado. Este tipo de problema de aislamiento no puede ser encontrado de ninguna otra manera sino con la prueba de impulsos. Esta prueba consiste en aplicar a un bobinado un impulso de corriente de tiempo de subida rápido. Este impulso de tiempo de subida rápido inducirá una diferencia de voltaje entre dos espiras adyacentes en el bobinado. Si el aislamiento entre dos espiras está dañado o algo como debilitado, y si la diferencia de voltaje entre espiras es suficientemente alto, se producirá un arco entre dichas espiras. **Este arco se presenta como un cambio en la forma de la onda.**

La prueba de impulso es ejecutada con un generador de impulsos y una pantalla para observar la “forma de onda del impulso” en progreso. Esta forma de onda del impulso es el voltaje presente en las puntas de prueba del instrumento de medida durante la prueba.

La indicación de falla entre vueltas o entre espiras es un deslizamiento de la onda hacia la izquierda y un decrecimiento de la amplitud de la onda cuando ocurre un arco entre espiras.

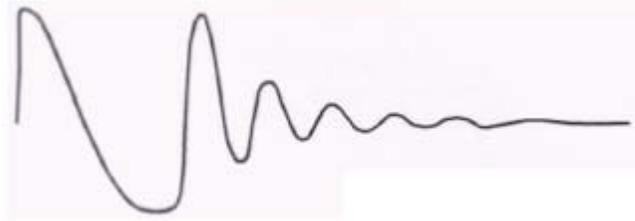


Figura 3-2 Forma de onda del impulso

Fuente: Manual AWA-IV Prueba de impulso

El patrón de onda observada durante la prueba de impulso es directamente relacionado con la inductancia de las bobinas; (hay otros factores que influyen en el patrón de onda, pero la inductancia es la primaria). La bobina se convierte en uno de los dos elementos de lo que es conocido como un circuito tanque, circuito **tipo LC** consistente de la inductancia de las bobinas y la capacitancia (**C**) interna del instrumento.

La inductancia (**L**) de una bobina es determinada por su geometría, número de vueltas de alambre y el tipo de núcleo de hierro en el cual descansa. La frecuencia del patrón de onda es aproximadamente determinada por la fórmula. [16]

$$Frecuencia = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{LC}} \quad (3.5)$$

Esta fórmula implica que, cuando la inductancia se reduce, la frecuencia aumenta.

Una prueba de impulso puede detectar una falla entre espiras observando un salto en la frecuencia de este circuito tanque LC. Si el potencial de voltaje es mayor que la debilitada fuerza dieléctrica del aislamiento de la espira, una o más espiras pueden estar cortocircuitadas. En efecto, el número de espiras en la bobina es reducido. Menos espiras de trabajo reducen la inductancia de la bobina e incrementan la frecuencia de patrón de onda del impulso.

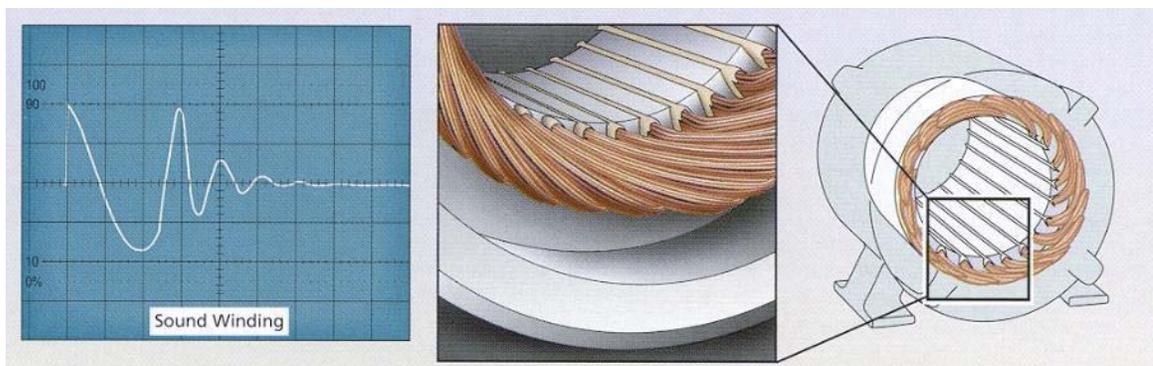


Figura 3-3 Forma de onda de un buen devanado

Fuente: Inducción analizador avanzado de bobinados SKF Comulsa

El voltaje o amplitud del patrón de onda del impulso es también reducido en amplitud debido a la reducción en inductancia de la bobina con falla entre espiras.

Esto se determina por la siguiente fórmula:

$$\text{Voltaje} = L \frac{di}{dt} \quad (3.6)$$

Cuando el aislamiento entre espiras es débil, el resultado es un arco de baja energía y un cambio en inductancia. Cuando esto pasa, el patrón de onda se vuelve inestable y puede deslizarse rápidamente a la izquierda y derecha y vuelve a su posición original.

Notas:

- 80% de las fallas del motor empiezan como fallas entre espiras (General Electric Paper).
- La mayoría de los motores fallan a tierra, pero la causa raíz del problema se basa en una falla entre espiras (General Electric Paper).

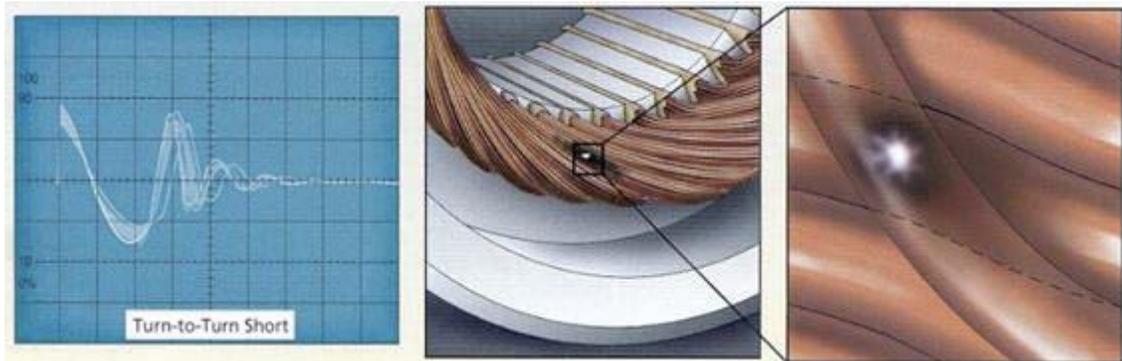


Figura 3-4 Forma de onda de un devanado con problemas

Fuente: Inducción analizador avanzado de bobinados SKF Comulsa

3.7 La razón por error de área (EAR)

Cuando se prueban motores de tres fases, las formas de onda de las tres fases pueden ser comparadas entre ellas. Todas ellas deberían ser muy iguales: la misma forma, los mismos cruces por cero y de la misma amplitud. En la práctica, sin embargo, las tres formas de onda nunca serán exactamente iguales. Siempre habrá una diferencia debido a pequeñas diferencias físicas entre las bobinas mismas, debido a que una fase es bobinada sobre la otra. La pregunta es: “¿Cuan diferente deberían ser estas dos formas de onda para identificar una bobina mala?”.

La razón de área de error (EAR) fue inventada para contestar esa pregunta. El EAR da un número cuantitativo de cuan diferentes son dos formas de onda. El EAR es definido como:

$$EAR_{1-2} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{pts}} Abs (F_i^{(1)} - F_i^{(2)})}{\sum_{j=1}^{N_{pts}} Abs (F_j^{(1)})} \quad (3.7)$$

Donde:

F(1): Datos de puntos que representan la forma de onda 1.

F(2): Datos de puntos que representan la forma de onda 2.

EAR_{1-2} : Razón de área de error de la forma de onda 2 con respecto a la forma de onda 1.

Si dos formas de onda son exactamente iguales, el valor EAR será cero. Dos formas de onda que son “casi exactamente iguales” tendrán valores EAR de 3-4%.

Formas de onda con separaciones obvias tendrán valores EAR mayores que 10%.

Esta aplicación de comparar una fase de un bobinado a otra es llamada como EAR de Línea-a-Línea (abreviada como EARLL).

La aplicación de la Razón de Área de Error indicada, es utilizada para comparar dos formas de onda de dos cables (salidas) o fases de un motor. Una segunda aplicación es usar la fórmula de EAR como una manera para comparar las formas de onda de impulso de un solo cable o fase a sí mismo. Esta aplicación del EAR es llamada EAR de Pulso-a-Pulso (abreviada como EARPP).

Para explicar el EARPP, se debe recordar que el arco por corto entre espiras es identificado por un deslizamiento a la izquierda de la forma de onda del impulso a medida que el voltaje es incrementado lentamente. En una buena bobina, las formas de onda en pulsos consecutivos parecerían casi iguales, siendo la única diferencia el incremento en amplitud a media que el voltaje de prueba incrementa.

En una bobina mala, los pulsos consecutivos parecerían casi iguales hasta que el arco por corto circuito entre espiras ocurra. En este voltaje, toda la forma de onda se desliza hacia la izquierda y posiblemente decae en amplitud.

Considere cómo un cálculo de EAR de dos pulsos consecutivos podría parecer como incrementos de voltaje. Dado que la amplitud de las dos formas de onda son diferentes, debería haber algún valor de EAR calculado, posiblemente alrededor de un 4 - 7%. Ahora, considere realizar el cálculo de EAR con el pulso justo antes de ruptura y el pulso justo después de la ruptura. El valor del EAR debería saltar a un valor significativamente más alto. [17]

3.8 Voltajes recomendados para las pruebas Hi Pot y Surge

Cuando se realizan pruebas de Hi-Pot y de impulsos en motores, generadores o transformadores el voltaje de prueba es dos veces el voltaje de la línea a la que operan más 1000 voltios. Este voltaje de prueba es consistente con las reglas de NEMA MG-1, IEEE 95-1977 (para voltajes mayores a 5000 V), e IEEE 43-2000 (para voltajes menores a 5000 V).

A continuación esta un ejemplo para motores de 460 VAC y 4160 VAC:

$$2 \times 460 + 1000 = 900 + 1000 = 1920 \text{ [V]}.$$

$$2 \times 4160 + 1000 = 8320 + 1000 = 9320 \text{ [V]}.$$

Para bobinados nuevos o motores rebobinados, el voltaje de prueba es a veces incrementado por 1.2 o hasta 1.7 veces. Esto provee un nivel de más alto control de calidad sobre el trabajo realizado. Para el motor de 460 V el voltaje de prueba sería:

$$1920\text{V} * 1.2 = 2304 \text{ [V]}.$$

o

$$1920 * 1.7 = 3264 \text{ [V]}.$$

3.9 Compensación de la temperatura

Los efectos de temperatura tanto en el cobre como en la resistencia del aislamiento a tierra pueden ser substanciales. El conocimiento de la temperatura es de importancia especial si los datos de la prueba van a ser comparados o relacionados con medidas previas.

4 Análisis dinámico de motores

4.1 Introducción

El análisis dinámico de motores comprende el monitoreo con estos en marcha, y su uso preferentemente se utiliza en diversas aplicaciones en las cuales se presenta un proceso continuo, como es el caso de la minería; donde no es necesario que las máquinas sean puestas fuera de servicio para realizar las diversas mediciones. Proveen información acerca de las condiciones de la energía, el motor, la carga y la interacción entre ellas. Representará una imagen de la salud del motor y suministrará información requerida para diagnosticar y predecir eminentes fallas. Se mejora el control de la calidad y la capacidad del diagnóstico de fallas.

Como ventaja a pesar de que se deban instalar equipos adicionales, se debe tener en cuenta que la máquina al poder estar en un monitoreo constante, implica que el mantenimiento predictivo se agiliza y vuelve más cómodo para el encargado del seguimiento, una falla puede ser detectada inmediatamente y se pueden tomar las medidas correctivas a tiempo.

4.2 Estudio de la calidad de energía

Los problemas de calidad de energía causan estrés adicional al motor, éstos comprenden los problemas frecuentes que se generan relacionados con el nivel de voltaje, equilibrio de voltaje, distorsión armónica, distorsión total, potencia y armónicos.

Se incluyen configuraciones erróneas de taps del transformador de alimentación, cargas monofásicas mal distribuidas, sobrecarga (saturación) de transformadores de alimentación, exceso de variadores de frecuencia (VDF) en barras de bajo voltaje, exceso de frecuencias no armónicas en un VDF, falta de inductores en línea en aplicaciones de VDF y capacitores de corrección de factor de potencia dañados. [18]

Hay que tener en cuenta que una baja calidad de energía causa incremento de temperatura y a la vez por cada 10°C de incremento de temperatura, la vida del aislamiento se reduce a la mitad. Una condición de desbalance de voltaje causa corrientes de secuencias negativas dentro del inductor, lo cual genera un exceso de calor.

La corriente de inductor, la torsión y la velocidad operativa generalmente describen el estado de una máquina. Por ejemplo, se debe alertar al personal de mantenimiento si una máquina se debe operar a una velocidad más baja para proporcionar la misma torsión. La máquina puede tener un problema causado por barras rotas, exceso de calor o condiciones de tensión variables.

En cuanto a los armónicos, las similitudes y diferencias entre la distorsión armónica total (THD) y la distorsión total (TD) son las siguientes:

- La THD suma únicamente los componentes armónicos y los divide por el tono fundamental.
- La TD resta el tono fundamental a partir de la RMS y lo divide por el tono fundamental.
- La THD se define en las normas del IEEE y la NEMA, mientras que la TD no se define en estas normas.
- La THD ofrece resultados confiables para máquinas de operación de línea.
- La TD ofrece resultados confiables para todas las máquinas.
- Para todas las aplicaciones, los valores de TD siempre dan como resultado valores más altos que la THD.

4.3 Estudio de la eficiencia de un motor

Este estudio permite evaluar la operación del motor, identificando las operaciones estresantes y sus causas. Observando el Factor de Servicio Efectivo, la Condición Operativa, la Eficiencia. Los problemas que se encuentran por lo general incluyen: sobrecarga térmica del motor y reconocimiento del deterioro del equipo, entre otros ítems directamente relacionados con la condición del motor y la energía que se pierde por ineficiencias. A través de este estudio también con la ayuda de un software se puede incluso calcular plazos de amortización.

Respecto a la carga, una combinación de condiciones ambientales y un estado de urgencia de la máquina pueden autorizar el ajuste del nivel de umbral en una determinada medición a un valor más alto o más bajo. Por ejemplo, un enfriamiento adicional de la máquina puede ser un motivo para permitir un nivel de carga superior antes de emitir una alarma.

Si se trata de la condición de operación, hay que tener en cuenta que cada motor de inducción tiene una curva característica de operación de torque-velocidad y corriente-velocidad. [19]

La eficiencia es proporción de la salida mecánica de la potencia del motor sobre la energía eléctrica de entrada al motor.

$$\eta = 100 \left(1 - \frac{P_{loss}}{P_{in}} \right) \quad (4.1)$$

Dónde:

P_{loss} = Pérdida de potencia = la potencia que disipa (principalmente calor).

P_{in} = Potencia de entrada

La pérdida de potencia se puede considerar un posible desperdicio de energía en la factura de electricidad y degrada el estado del motor.

Una prueba de eficiencia muestra la eficiencia operativa del motor y las eficiencias del motor medidas previamente. Resultados bajos en la prueba de eficiencia sugieren que puede ser aconsejable realizar mejoras al motor. Un descenso de eficiencia puede indicar un aumento de la temperatura operativa del motor, lo cual puede degradar el motor más rápido.

4.4 Estudio de las corrientes (nivel y desbalance)

Un exceso de corriente puede ejercer una tensión excesiva sobre ciertas fases de la máquina. La prueba de nivel de corriente determinará si la máquina puede estar consumiendo más de su calificación de corriente en una o más fases. Esto produce un exceso de calor y disminuye la vida útil de la aislación.

Las máquinas también mostrarán desequilibrios de corriente muy grandes en condiciones con cargas livianas o sin carga, incluso cuando son accionadas por una tensión equilibrada. Estos desequilibrios de corriente sin carga son comunes en máquinas en buen estado y desaparecen rápidamente cuando la máquina se carga.

4.5 Estudio y análisis de los espectros

Estas pruebas identifican problemas de la totalidad de sistemas del equipo, por ejemplo sobretensión y desequilibrio de la corriente. Observan la condición de todo el sistema y describen problemas relacionados con la corriente.

A través del espectro de bandas laterales se pueden analizar las barras del rotor de un motor, la cual evalúa la condición general de la máquina. Las barras rotas causan un exceso de calor en la máquina, lo cual disminuye la eficiencia, acorta la vida útil de la aislación y puede causar daños al núcleo.

Respecto a lo armónicos se puede comparar la magnitud de los componentes armónicos con las corrientes y tensiones fundamentales del sistema. Los gráficos de barras que se pueden generar a raíz del estudio muestran la distribución del contenido armónico en las diferentes bandas de frecuencias para todas las corrientes y tensiones.

4.6 Estudio del torque

El estudio del rizado de torque y el espectro de torque permiten al encargado de las mediciones desde el punto de vista eléctrico, realizar pesquisas mecánicas, a la vez de detectar numerosos problemas de manera rápida y precisa. Este dominio se especializa en diagnosticar problemas mecánicos, muestra la sobrecarga transitoria, detecta desequilibrios mecánicos, desalineamientos, ejes doblados, además de problemas de rodamientos y cavitación. Si la señal

de torque se muestra diferente a la de una señal normal, el problema se encuentra en la carga. [20]

4.7 Estudio de las conexiones del motor

A través del estudio de las conexiones se pueden visualizar los diagramas de fase, las tres corrientes, tres voltajes, impedancia, desequilibrio de impedancia, información de corriente de secuencia positiva (aceleración), secuencia negativa (retraso), gráfico de barras armónicas, voltaje instantáneo, frecuencia, componentes simétricos y seguimientos de velocidad de las aplicaciones de variadores de frecuencia (VDF). En conjunto, estas herramientas evalúan la condición del rodamiento, el desequilibrio y desalineamiento del rotor.

4.8 Monitoreo de VDF

Se trata de monitorear el funcionamiento de las aplicaciones VDF y de servo motores CA, al igual que el de los motores de inducción y generadores trifásicos. Estos tipos de accionamiento siempre han creado problemas a los profesionales de mantenimiento. Este análisis demuestra como la frecuencia, velocidad, torsión y el nivel de voltaje varían con respecto al tiempo. Para medir motores operados con variador de frecuencia, este análisis ayudará a determinar problemas en su variador tales como contenido armónico, frecuencia fundamental de operación, Torque o Par, etc.

Este estudio resulta de vital importancia para aquellos usuarios que tengan muchas máquinas operadas por VDF o máquinas críticas operadas por VDF.

Beneficios:

- Programar accionamientos
- Análisis de cargas
- Fallas en IGBT'S
- Problemas de realimentación en accionamientos

4.9 Análisis de transientes

Este análisis ayuda a establecer los rangos de disparos de las Corrientes, programar los arrancadores suaves o soft starters, diagnosticar problemas en bombas y ventiladores, etc.

5 Explorer 4000

5.1 Introducción

Para la creación de un nuevo plan estratégico de mantenimiento predictivo de motores basado en el monitoreo sintomático de estos, se debe realizar un estudio y análisis para su posterior planificación.

CMDIC ha adquirido recientemente el analizador dinámico de motores Explorer 4000, el cual será utilizado para dicho efecto. De forma complementaria la GSO utilizará el analizador estático de motores AWA IV – 12 Kv.

La función del analizador dinámico, será la de llevar a cabo pruebas dinámicas tanto en motores de baja tensión como motores de media tensión existentes en la planta, generando reportes, los cuales servirán para generar de un registro histórico y a la vez construir tendencias sobre el comportamiento de los motores existentes. Para de esta forma poder determinar la mejor estrategia posible en el plan predictivo a implementar.



Figura 5-1 Explorer 4000

Fuente: Manual en español EXP4000 SKF

5.2 Descripción del instrumento de medición

Instrumento de medición compuesto de una batería de bajo voltaje, capaz de realizar monitoreos en servicio de forma remota desde el CCM o mediante una conexión Baker EP de circuitos de potencia, motores en general, carga y rendimiento, entre otros. Brinda al usuario una visión global de la integridad del motor.

Este instrumento proporciona datos sobre degradación del rendimiento del motor y los efectos en la operación del mismo. A la vez se puede controlar la eficiencia general de la planta, determinar los ajustes, las oscilaciones de la carga y los peak de energía momentánea.

Los resultados son entregados de forma inmediata, por lo que permiten al usuario determinar el verdadero costo de la energía que se desperdicia.

Está programado para proveer información sobre el nivel de equilibrio y desequilibrio de voltaje, distorsión armónica y total, condición del rotor de jaula, eficiencia del motor, factor de servicio efectivo, sobrecorriente, condición operativa, rizado de torque, datos históricos de cargas, entre otros. [21]

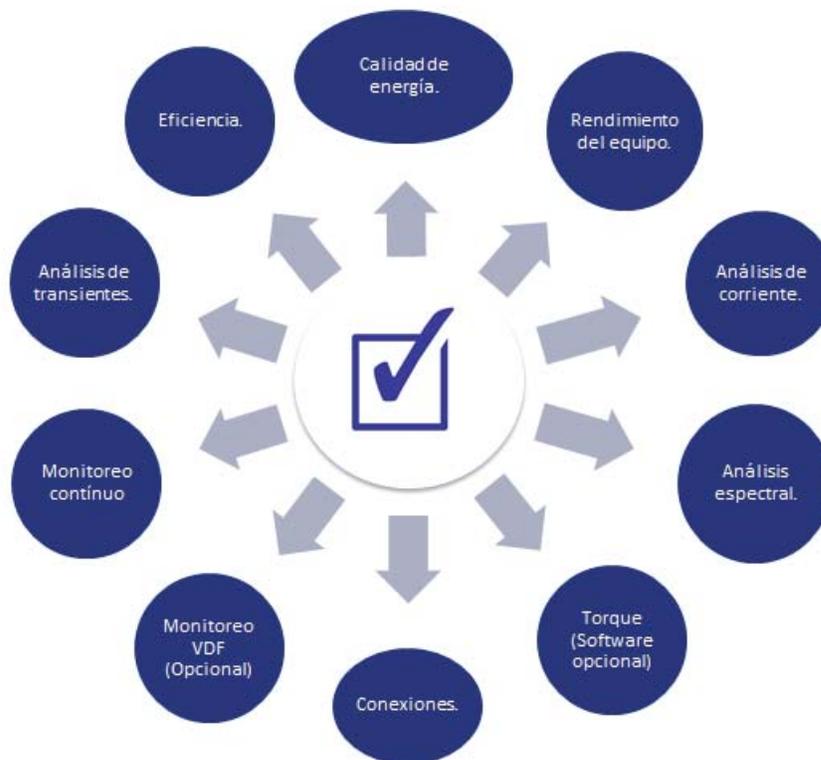


Figura 5-2 Dominios de las pruebas del analizador

Fuente: Manual en español EXP4000 SKF

5.3 Objetivos del instrumento

- Reducir paradas no programadas.
- Análisis de la raíz de la causa del problema.
- Ahorro de dinero en el gasto de energía eléctrica.
- Análisis del uso de variadores de frecuencia (VDF).
- Aseguramiento de la calidad del motor.

5.4 Recopilación y organización de datos

Una vez que es completado un ensayo, los datos obtenidos se pueden almacenar para cada motor. Esta documentación permite recuperar información para utilizar con la capacidad de elaborar tendencias. Estos resultados son almacenados en formato de archivo de base de datos estándar MS Access.

Los informes se generan con rapidez mediante la consola principal de impresión, que permite a los operadores la confirmación visual de la integridad del motor.

5.5 Dominios

Mediante los distintos dominios el analizador puede identificar y puede entregar importante información referente a los problemas que se generan en los motores.

A continuación se enumeran los distintos dominios que posee que analizador dinámico de motores AWA IV-12 Kv. Cabe señalar que en la sección Apéndice A.2 de este trabajo, se encuentran descritos detalladamente cada dominio.

5.5.1 Dominio calidad de energía

- Nivel De voltaje.
- Desbalance de voltaje.
- Distorsión armónica.
- Distorsión total.
- Energía.
- Armónicos.

5.5.2 Dominio rendimiento de la máquina

- Factor de servicio efectivo.
- Carga.
- Condición de operación.
- Eficiencia.
- Retorno de la inversión.

5.5.3 Dominio de corrientes

- Nivel de corriente.
- Desbalance de corriente.

5.5.4 Dominio espectros

- Barras del rotor.
- Espectro V/I.
- Demodulación.

5.5.5 Dominio torsión

- Rizado de torque.

5.5.6 Dominio de conexiones

- Formas de onda.
- Componentes simétricas.
- Fasores.

6 Pruebas realizadas en terreno

6.1 Antecedentes previos

Previo a realizar mediciones en terreno, se crea un diagrama de flujo para la conexión del analizador dinámico de motores Explorer 4000 y un protocolo para dicha conexión. Además se obtienen datos desde el CCR de CMDIC referentes a fallas en las correas 115CV203, 115CV206 y 115CV207. Estos registros corresponden a los años 2014, 2015 y 2016, y son relevantes a la hora de realizar una gráfica comparativa y analizarlas. A la vez se obtiene la información existente sobre el levantamiento de motores de CMDIC Cordillera.

De igual forma se realiza crea un protocolo para la conexión del analizador estático AWA IV.

6.2 Protocolos y diagrama de flujo

El protocolo de medición que se realiza para el analizador dinámico tiene que ver con los objetivos que se persiguen, los alcances, los responsables dentro de la empresa, las definiciones, equipos y materiales utilizados para dicho efecto, descripciones varias, registros a tener en cuenta, referencias, los anexos y finalmente el análisis del riesgo de la tarea (ART). A la vez se genera un diagrama de flujos para detallar de una forma más didáctica el procedimiento debido al personal eléctrico.

En cuanto al análisis dinámico, aunque no es materia de esta memoria realizar análisis estático, de todas maneras se genera un procedimiento estático para la utilización del AWA IV.

Todo este material se encuentra en la sección “Anexo” de este informe de memoria, además del diagrama completo de la planta existente en Ellipse.

6.3 Levantamiento de motores

Respecto al levantamiento de motores, se tiene la información existente en la compañía referente a sus instalaciones de motores en la planta de Rosario, en la concentradora ubicada en Ujina y las correas que conectan estos dos sectores de CMDIC Cordillera. En base a esta información, datos de placa y pruebas realizadas, se terminará concluyendo la mejor forma de realizar el seguimiento a los motores en la faena.

6.4 Historial de fallas y detenciones CCR

Este historial de fallas de las correas 115CV203, 115CV206 y 115CV207, corresponde a los años 2014, 2015 y 2016.

6.4.1 Correa 203

Esta correa posee 4 motores (A,B,C,D o 1,2,3,4), con sus respectivos sistemas de ventilación y pertenece al área 2.

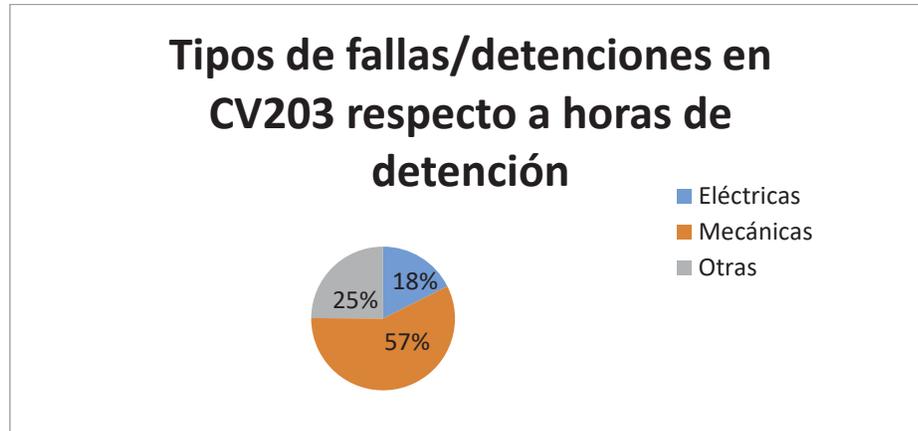


Figura 6-1 Tipos de fallas CV203

Fuente: Centro de colaboración de registros

Se genera a la vez una tabla con los tipos de falla/detención, la descripción de la falla, sumatoria de horas de detención a raíz de la falla, el porcentaje de aporte de la falla en relación a las fallas en este sector y el año al que corresponden.

Tabla 6-1 Fallas CV203

Tipo de Falla/detención	Descripción	Sumatoria de horas	Sumatoria de Aporte %	Año
Sobrecarga de motor	Se detiene por trip de motor ventilador, Posición C	3,58	100%	2015
Total		3,58	100%	

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de Centro de Control de Registros

En base a esta tabla se genera un diagrama de Pareto para visualizar de forma gráfica el grado de incidencia que tiene cada falla.

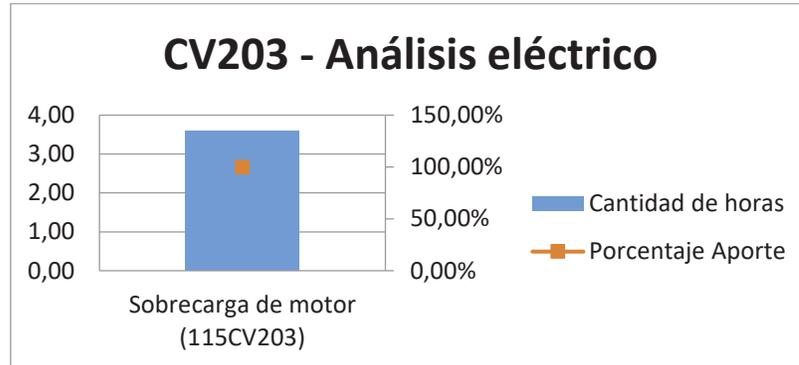


Figura 6-2 Diagrama de Pareto CV203

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de Centro de Control de Registros

6.4.2 Correa 206

Esta correa posee 4 motores (A,B,C,D o 1,2,3,4), con sus respectivos sistemas de ventilación y pertenece a la fase 2.

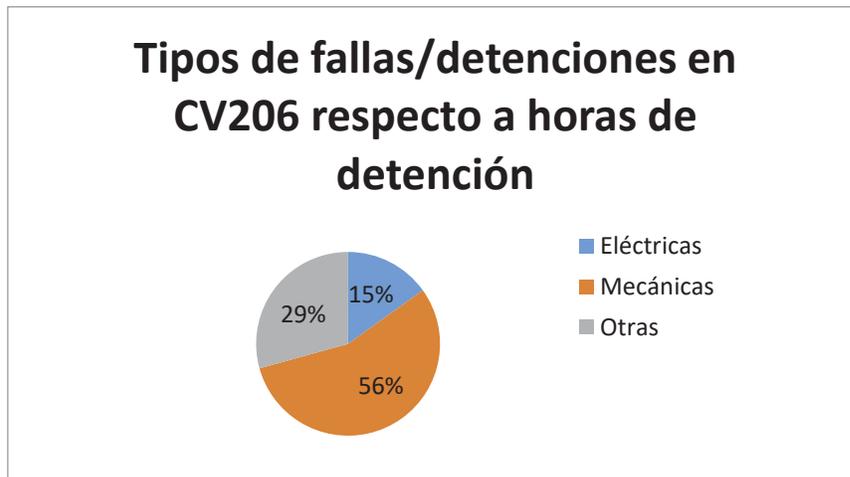


Figura 6-3 Tipos de fallas CV206

Fuente: Centro de colaboración de registros

6 Pruebas realizadas en terreno

Se genera a la vez una tabla con los tipos de falla/detención, la descripción de la falla, sumatoria de horas de detención a raíz de la falla, el porcentaje de aporte de la falla en relación a las fallas en este sector y el año al que corresponden.

Tabla 6-2 Fallas CV206

Tipo de Falla/detención	Descripción	Sumatoria de horas	Sumatoria de Aporte %	Año
Desacople Motor	Por falla en el motor de ventilación	1,37	42,71%	2014
Sobrecarga de motor	Detención por falla de variador	0,78	67,19%	2014
Desacople de motor por alta vibración	Desacople del motor #1	0,48	82,29%	2014
Alta temperatura de motor	Detención por temperatura motor #1 bobina 6	0,37	93,75%	2015
Sobrecarga de motor	Se detiene por protección de motor #2, se realiza chequeo	0,20	100%	2014
Total		3,2	100%	

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de Centro de Control de Registros

En base a esta tabla se genera un diagrama de Pareto para visualizar de forma gráfica el grado de incidencia que tiene cada falla.

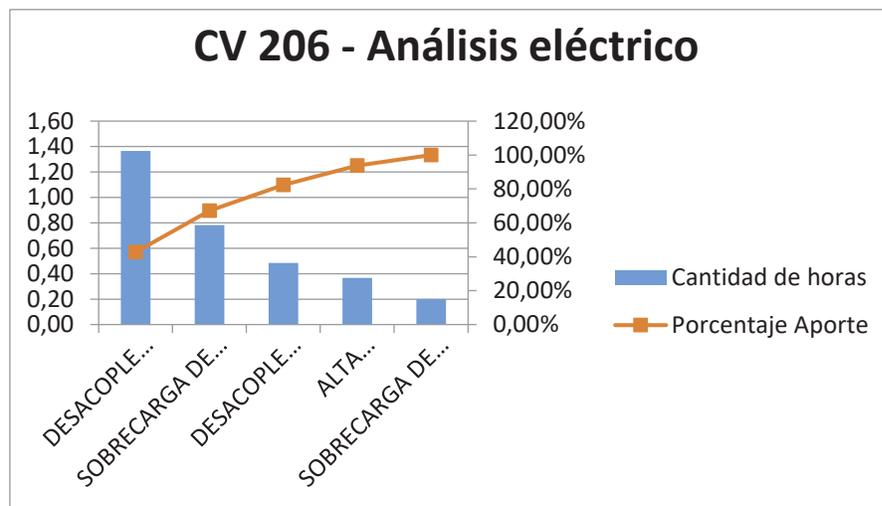


Figura 6-4 Diagrama de Pareto CV206

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de Centro de Control de Registros

6.4.3 Correa 207

Esta correa posee 3 motores (A,B,C o 1,2,3), con sus respectivos sistemas de ventilación y pertenece a la fase 2.

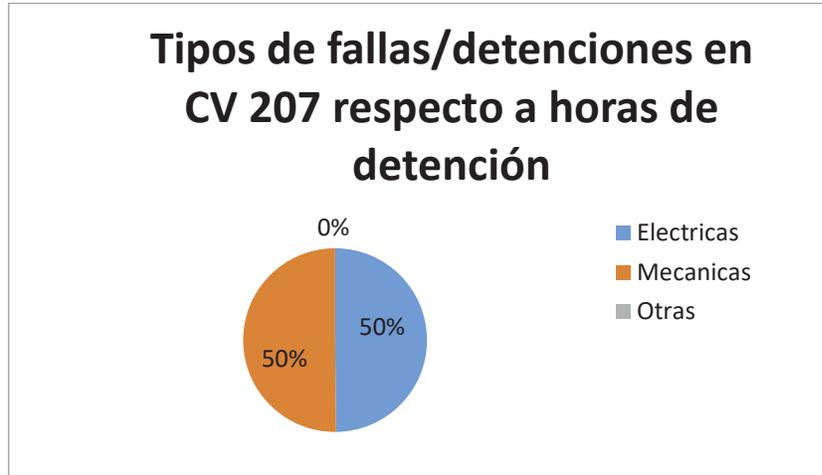


Figura 6-5 Tipos de fallas CV207

Fuente: Centro de colaboración de registros

Se genera a la vez una tabla con los tipos de falla/detención, la descripción de la falla, sumatoria de horas de detención a raíz de la falla, el porcentaje de aporte de la falla en relación a las fallas en este sector y el año al que corresponden.

Tabla 6-3 Fallas CV207

Tipo de Falla/detención	Descripción	Sumatoria de horas	Sumatoria de Aporte %	Año
Falla ventilador de motor	Detención por trip ventilador reductor #1 (falla contactor)	0,92	31,08%	2015
Falla protección de motor	Falla contactor enfriador reductor #2	0,78	57,43%	2014
Falla protección de motor	Falla contactor enfriador reductor #2 (Camb. Cubiculo)	0,53	75,34,29%	2014
Falla ventilador de motor	Detención por trip ventilador reductor #1	0,43	89,86%	2015

6 Pruebas realizadas en terreno

Activa protección de motor eléctrico	Se activa protección de los 3 motores eléctricos	0,30	100%	2014
Total		2,96	100%	

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de Centro de Control de Registros

En base a esta tabla se genera un diagrama de Pareto para visualizar de forma gráfica el grado de incidencia que tiene cada falla.

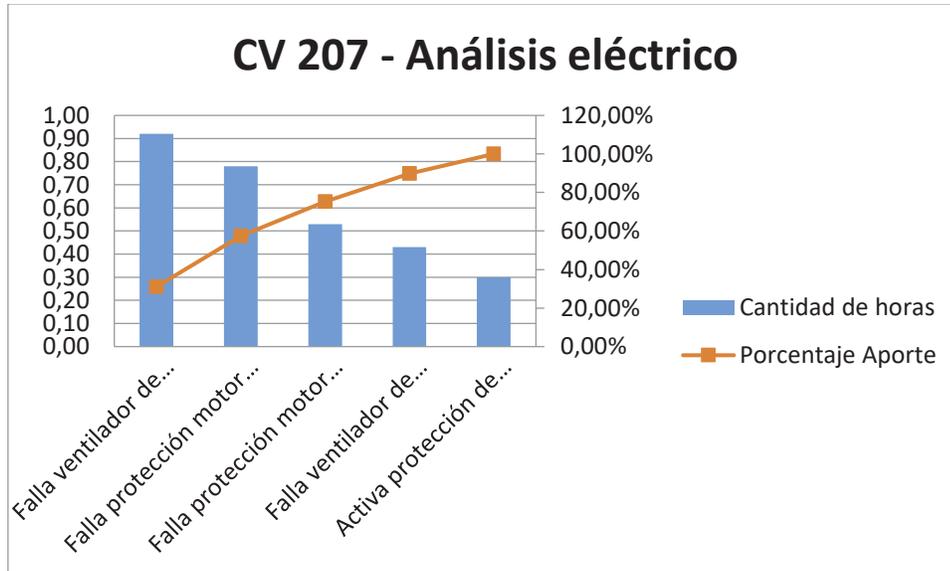


Figura 6-6 Diagrama de Pareto CV207

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de Centro de Control de Registros

6.5 Mediciones

6.5.1 Descripción

En el mes de junio los días 8, 15 y 29, se realizaron mediciones de forma dinámica con el Analizador de motores Explorer 4000. Dichas mediciones se realizaron en los motores del sistema de ventilación de los motores de media tensión ubicados en las correas 2003, 206 y 207 de la planta de chancado y correas de CMDIC cordillera.

Los motores de las correas tienen las siguientes características:

TAG	DESCRIPCION	MARCA	MODELO	TENSIÓN	CORRIENTE	KW	RPM	FACTOR	HZ
115 CV 203 - A	motor principal	WEG	HGF 10408	2300	587	2052 KW	994	1,00	50

Figura 6-7 Valores placa característica motores

Fuente: Placa motor CMDIC

La correa 203 posee 4 motores (A,B,C,D), la correa 206 posee 4 motores (A,B,C,D) y la correa 207 posee 3 motores (A,B,C) y cada motor posee su sistema de ventilación forzada.

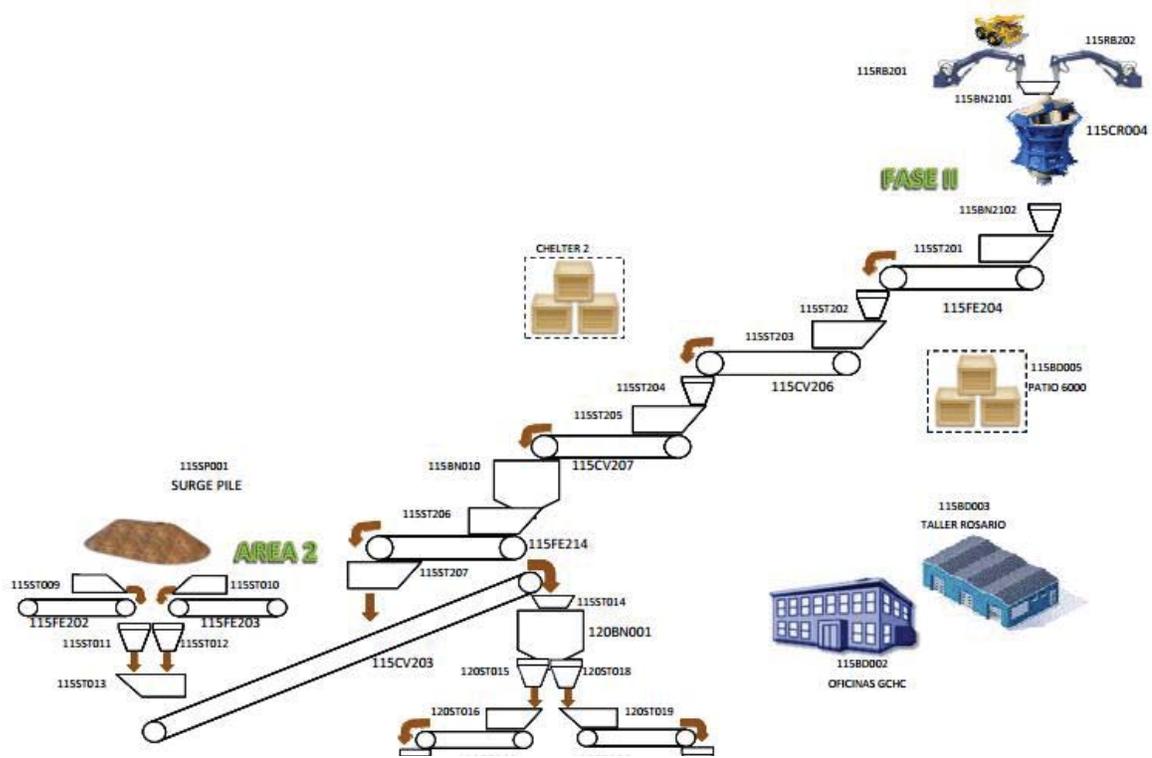


Figura 6-8 Layout Planta

Fuente: Software Ellipse

6.5.2 Resultados obtenidos

Como se comentó en el apartado (6.5.1), en primera instancia se realizaron pruebas el día 8 de junio, las cuales arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 6-4 Valores medición 1

TAG	Sector	Hora	Valores nominales					Valores medidos															
			V_n [V]	I_n [A]	P_n [kW]	RPM	\mathcal{F} [Hz]	V_{m1} [V]	V_{A-B} [V]	V_{B-C} [V]	V_{C-A} [V]	I_{m1} [A]	I_A [A]	I_B [A]	I_C [A]	P_{load} [kW]	RPM	F.P	ζ [Nm]	E_{rr} [%]	Load [%]	V_{des} [%]	I_{des} [%]
115CV203-A-FA	Área 2	17:55:38	380	22,1	11,2	1465	50	419,52	418,30	419,20	421,10	17,510	17,50	17,20	17,90	8,7	1475,30	0,76	56,30	90,20	77,70	0,40	2,30
115CV203-B-FA	Área 2	18:01:34	380	22,1	11,2	1465	50	418,98	417,70	418,70	420,50	9,998	10,00	9,60	10,30	3,10	1495,20	0,47	19,60	89,80	27,50	0,40	3,50
115CV203-C-FA	Área 2	18:05:39	380	22,1	11,2	1465	50	416,69	415,50	416,40	418,20	17,908	17,80	17,60	18,30	8,90	1474,20	0,76	57,70	90,20	79,50	0,40	2,20
115CV203-D-FA	Área 2	18:09:37	380	22,1	11,2	1465	50	417,40	416,10	417,40	418,70	17,679	17,60	17,40	18,00	8,90	1474,40	0,77	57,50	90,30	79,30	0,30	2,00
115CV206-B-FA	Fase 2	17:00:17	380	22,1	11,2	1465	50	398,62	398,20	397,90	399,90	16,875	17,20	16,50	16,90	8,70	1472,80	0,83	56,70	90,90	78,10	0,30	2,30
115CV206-C-FA	Fase 2	17:07:34	380	22,1	11,2	1465	50	397,60	397,10	396,90	398,90	16,120	16,40	15,70	16,20	8,30	1476,20	0,82	53,90	91,30	74,40	0,30	2,40
115CV206-D-FA	Fase 2	17:23:28	380	22,1	11,2	1465	50	397,97	397,50	397,10	399,20	11,066	11,30	10,70	11,20	2,80	1493,20	0,41	17,70	87,80	24,70	0,30	3,40
115CV207-A-FA	Fase 2	15:55:34	380	22,1	11,2	1465	50	397,55	396,60	397,20	398,80	16,694	16,60	16,40	17,10	8,60	1474,30	0,82	55,70	91,20	76,90	0,30	2,40
115CV207-A-FA	Fase 2	15:58:20	380	22,1	11,2	1465	50	397,55	396,60	397,20	398,80	16,768	16,70	16,40	17,20	8,60	1475,00	0,82	56,00	91,10	77,20	0,30	2,50
115CV207-A-FA	Fase 2	16:11:30	380	22,1	11,2	1465	50	398,96	398,00	398,60	400,30	16,509	16,40	16,20	16,90	8,50	1473,00	0,82	55,10	91,20	76,00	0,30	2,50
115CV207-B-FA	Fase 2	16:22:22	380	22,1	11,2	1465	50	398,08	396,90	399,30	398,10	15,912	15,80	15,70	16,20	8,10	1474,10	0,81	52,70	91,30	72,70	0,30	2,00
115CV207-C-FA	Fase 2	16:28:17	380	22,1	11,2	1465	50	397,19	396,10	398,50	397,00	16,478	16,30	16,30	16,80	8,30	1473,30	0,80	53,80	91,00	74,20	0,30	2,30

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de las mediciones en terreno

Una vez generado el reporte de las mediciones con el analizador se verificó que existían valores en 2 motores que diferían del resto, siendo que presentan los mismos valores de referentes a la placa característica y están sujetos a esfuerzos muy similares.

Respecto al motor 115CV206-D-FA el analizador dinámico Explorer 4000 en su reporte indica “Precaución” en la sección “Barra Rotor” y respecto al motor 115CV203-B-FA en esta misma prueba el analizador en su reporte indica “Indeterminado” en la sección “Barra Rotor”. Cosa que en los demás motores en los cuales los valores obtenidos son razonables, esto no ocurre indicando que se encuentran “en buen estado”.

Debido a esto el día 15 de junio, se realizaron nuevamente mediciones, pero sólo al motor: 115CV206-D-FA.

Tabla 6-5 Valores medición 2

TAG	Sector	Hora	Valores nominales					Valores medidos															
			V_L [V]	I_L [A]	P_e [kW]	RPM	F [Hz]	V_m [V]	V_{A-B} [V]	V_{B-C} [V]	V_{C-A} [V]	I_m [A]	I_A [A]	I_B [A]	I_C [A]	P_{load} [kW]	RPM	F.P	ζ [Nm]	E_{eff} [%]	Load [%]	V_{des} [%]	I_{des} [%]
115CV206-D-FA	Fase 2	15:41:46	380	22,1	11,2	1465	50	401,31	401,00	400,80	402,10	11,159	11,30	10,90	11,30	2,70	1491,60	0,40	17,40	87,50	24,40	0,30	2,20
115CV206-D-FA	Fase 2	15:43:56	380	22,1	11,2	1465	50	400,67	400,30	400,20	401,50	11,131	11,20	10,90	11,30	2,70	1493,00	0,40	17,50	87,50	24,40	0,21	2,30

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de las mediciones en terreno

Después de esto el HMI ubicado en la sala eléctrica indica una alarma por temperatura en el motor 115CV206-D. Personal eléctrico se acerca al sector a realizar una inspección, notando que este motor no giraba con la misma potencia del motor que se encontraba a un lado y que tiene las mismas características.



Figura 6-9 Motor de ventilación

Fuente: Tomada en terreno

Al día de hoy este motor se encuentra a la espera de una mantención programada en la planta para poder ser retirado y reemplazado, y a la vez para que de esta forma se le puedan realizar más pruebas para determinar de forma certera su estado. Por el momento se encuentra con un sistema de apoyo por ventilación forzada en caso de ser necesaria en algún instante.



Figura 6-10 Sistema de ventilación forzada

Fuente: Tomada en terreno

El día 29 de junio se realizan mediciones al motor 115CV203-B-FA encontrando que aún se encuentra con valores similares a los tomados el día 8 de junio.



Figura 6-11 Vista lateral motor

Fuente: Tomada en terreno

7 Plan de acción

7.1 Introducción

Considerando la importancia de los motores dentro de la operación de una industria, resulta de vital importancia establecer y llevar a cabo un plan de mantenimiento adecuado que garantice el correcto funcionamiento de éstos. La detención de un motor eléctrico origina importantes costos debido a las interrupciones en la producción; es por esto que la industria está más preocupada de generar rigurosos planes de mantención para sus motores eléctricos, tanto preventivos periódicos como predictivos, prefiriéndolos en lugar de mantenimiento orientado a la falla o correctivo.

7.2 Antecedentes

7.2.1 Estrategias de mantenimiento

En la literatura se encuentra tres tipos de mantenimiento para los sistemas que se procederán a describir a continuación:

- **Mantenimiento correctivo** (Corrective maintenance): En esta estrategia de mantenimiento, las reparaciones o sustituciones se realizan después de transcurrido una falla o evento crítico, en donde es evidente y en consecuencia, detectable fácilmente por el personal (el proceso pasa al estado de parada no planificada), cuando el evento no es crítico, las reparaciones o sustituciones en el sistema se pueden postergar, si es que el equipo puede seguir operando, aunque este operara con una condición degradada.
- **Mantenimiento preventivo** (Preventive maintenance): En esta estrategia de mantenimiento, las reparaciones o sustituciones se realizan antes de que ocurra alguna falla o evento crítico a partir de un programa pre-establecido. Las inspecciones, revisiones y pruebas también se consideran como partes de las actividades de esta estrategia de mantenimiento (como resultado de las actividades mencionadas, el proceso está en el estado de parada planificada, aunque algunas inspecciones, revisiones y pruebas se pueden realizar mientras el sistema está funcionando).

- **Mantenimiento predictivo** (Predictive maintenance): En esta estrategia de mantenimiento, se utilizan mediciones de sistema, con la finalidad de determinar su condición (modo de operación), estando en funcionamiento (en servicio). A partir de esta información, se puede programar los trabajos de mantenimiento, antes de que ocurran fallas o eventos críticos evidentes, evitando paradas no planificadas.

Hoy en día, las empresas apuntan a aumentar la disponibilidad y a disminuir el costo de las fallas de los componentes de los sistemas. Para conseguir los objetivos planteados, la elección de la estrategia de mantenimiento es crucial. En caso que la elección se base en el mantenimiento preventivo, aumentan los costos de mantenimiento (aumentan las reparaciones o sustituciones), disminuyen las fallas o eventos críticos y, en consecuencia, disminuyen los costos de operación (suponiendo que las duración de las paradas planificadas es menor que la paradas no planificadas). Por el contrario, en caso que la elección sea en base al mantenimiento correctivo, los costos de mantenimiento disminuyen (disminuyen las reparaciones o sustituciones), aumentan las fallas o eventos críticos y, por consiguiente aumentan los costos de operación. Finalmente, en caso que la elección se base en el mantenimiento predictivo, se podría conseguir teóricamente el costo de falla óptimo, debido a que se puede reducir el número de reparaciones o sustituciones como también el número de fallas o eventos críticos mediante la determinación de condición del sistema.

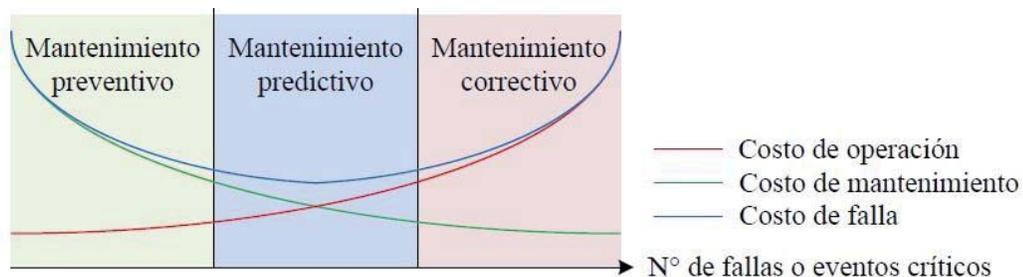


Figura 7-1 Mantenimiento vs Falla

Los costos de falla corresponde a los costos de operación y costos de mantenimiento de cada falla o evento crítico, el costo de mantenimiento corresponde a los recursos gastados en reparaciones y sustituciones, el costo de operación corresponde a los ingresos perdidos, a causa de la reducción en la tasa de producción.

7.2.2 El mantenimiento como fuente de rentabilidad

Para analizar la gestión de mantenimiento, es necesario definir los objetivos dispuestos por la empresa (rentabilidad, mercados competitivos). Para analizar la gestión y el cumplimiento de dichos objetivos y como estos contribuyen a mejorar la rentabilidad de la institución. Lo anterior se debe cuantificar monetariamente. En la actualidad las estrategias de mantenimiento apuntan a garantizar la disponibilidad y la eficacia de las unidades, equipos e instalaciones, minimizando

los costos de mantención (dentro del marco de la seguridad y medio ambiente) y asegurando la duración de su vida útil. Los factores claves son la disponibilidad y la eficiencia. La maximización de estos, permiten el éxito de la gestión de mantenimiento, estos factores nos indicaran la fracción tiempo en que los equipos se encuentra en condiciones de servicio (disponibilidad) y la fracción de tiempo en que su servicio resulta efectivo para su producción. El ítem disponibilidad se ha de tener solo cuando se requiere. Esta depende mucho de la criticidad de los recursos y esa criticidad puede variar según la condiciones del mercado, tener una disponibilidad excesiva en recurso que no son tan necesarios, solo encarecen los costos, al hacer un uso excesivo e innecesario de recursos de mantención. La mejora de los dos factores, disponibilidad y eficacia, y la disminución de los costos de mantención, suponen el aumento de la rentabilidad de la empresa y por tanto tiene influencia directa sobre las utilidades.

7.2.3 Evolución del concepto de mantenimiento

El objetivo fundamental del mantenimiento, es preservar la función y la operatividad, optimizar el rendimiento y aumentar la vida útil de los activos, procurando una inversión optima de los recursos. Este enfoque del mantenimiento es el resultado de una evolución importante a través del tiempo. La literatura hace referencia a tres generaciones distintas de mantenimiento, cada una de las cuales representa las mejores prácticas utilizadas en una época determinada. Un crecimiento importante de nuevos conceptos de mantenimiento y metodologías se ha vivido en los últimos años, hasta finales de los 90, los desarrollos alcanzados en la 3° generación del mantenimiento incluía:

- Herramientas de ayuda a la decisión, como estudios de riesgos, modos de fallas y análisis de causa de falla.
- Nuevas técnicas de mantenimiento, como el monitoreo de condición.
- Equipos de diseños, dando mucho énfasis a la confiabilidad y mantenibilidad.
- Un cambio importante de pensamiento.

A estos usos se han añadido nuevas técnicas y metodologías hasta la actualidad, de tal forma que hoy se puede hablar de una “cuarta generación” del mantenimiento.

Las técnicas proactivas son el nuevo enfoque que se centra en la eliminación de fallas, ya no basta con eliminar la consecuencia de la falla. El futuro apunta a eliminar el causante de esta. Asimismo, existe una preocupación creciente en la importancia de la mantenibilidad y confiabilidad de los equipo de manera que resulta clave tomar en cuenta estos valores desde la fase de diseño del proyecto, Otro punto importante es la tendencia a implantar sistemas de mejora continua de los planes de mantenimiento preventiva y predictiva, de la organización y ejecución del mantenimiento. Aparte de estas características, existen otros dos temas importantes dentro del mantenimiento actual cuya importancia ha aumentado exponencialmente los últimos años.

- La Gestión de Riesgo: Cada día cobra más importancia la identificación y control de los posibles sucesos que presentan una baja probabilidad pero consecuencias graves, sobretodo en organizaciones que operan con industrias con riesgos. El mantenimiento se está viendo como un participante clave en este proceso. En el pasado este tipo de sucesos se controlaban simplemente con una extensión de los sistemas de Gestión de Seguridad y Medio Ambiente implantados en cada empresa. Sin embargo, existe una creciente percepción de que la aplicación de estos sistemas de gestión a los sucesos de “baja probabilidad/consecuencias graves” no es efectiva, por lo que es necesario desarrollar otras tecnologías.
- Patrones de fallas: Las nuevas investigaciones están cambiando muchas de las tradicionales creencias sobre la relación existente en una maquina entre el envejecimiento y la falla. En particular se ha demostrado que para muchos equipos existe muy poca relación entre el tiempo de operación y la probabilidad de falla. El enfoque inicial del mantenimiento suponía que la probabilidad de que una maquina falle aumenta según el tiempo de operación, siendo mayor la probabilidad de falla en la “vejez” de la máquina, la segunda generación de mantenimiento introdujo el concepto “mortalidad infantil”. De esta forma la tasa de fallas de una maquina puede ser representada con una curva de bañera, existiendo, por tanto, más probabilidad de falla durante el principio y al final de su vida útil.

Sin embargo, en el mantenimiento actual se ha demostrado que se puede definir seis patrones diferentes de tasa de fallas, según el tipo de máquina que estemos utilizando. Tener en cuenta el patrón al que se ajusta cada elemento es fundamental si se quiere conseguir una óptima planificación del mantenimiento. Se debe estar seguro que el mantenimiento escogido es el adecuado, ya que de nada sirve realizar el trabajo planificado de manera correcta, si este no es el más adecuado.

7.2.4 Métodos para mejorar la confiabilidad

- Métodos proactivos: Buscan la mejora de la confiabilidad mediante la utilización de técnicas que permitan la paulatina eliminación de las fallas tanto crónicas como potenciales. Claros ejemplos son el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y el Mantenimiento Producto Total.
- Métodos reactivos: Buscan de una manera rápida y eficaz la solución de problemas y evitar repetición de eventos mayores. En líneas generales se trata de métodos sobre todo “post-mortem”. Actualmente su mejor exponente es el Análisis Causa Raíz.

7.2.5 Mantenimiento centrado en confiabilidad

Esta técnica surge a finales de los años sesenta como respuesta al aumento de costos y actividades del mantenimiento de las aeronaves (básicamente preventivo). En esta industria demuestra ser muy valioso, no solo bajando los costos y actividades de mantenimiento, sino que además mejora los niveles de confiabilidad, disponibilidad y seguridad. Estos éxitos los hicieron apetecibles a otras industrias, como la militar, petrolera y generadora de electricidad.

Esta técnica se basa en seleccionar mantenimiento solo donde las consecuencias de las fallas así lo requieran, para esto se necesita hacer un estudio exhaustivo de todas las funciones, fallas, modos y consecuencias de las fallas, para luego decidir dónde y qué tipo de mantenimiento hacer. Establece un orden de prioridades: la seguridad y ambiente, producción, costos de reparación. Esto ha hecho que sea una herramienta valiosa en la industria que requieren elevados niveles de seguridad, generando a cambio de los esfuerzos, buenos resultados.

Es una técnica bastante analítica, lo cual ha traído problemas de implantación, debido a que a veces resulta difícil pasar del papel a la realidad. Conduciendo esto a fuertes pérdidas de dinero y esfuerzos, degenerando al final en frustraciones de los equipos de trabajo. Se trata de una práctica recomendada por el EPRI para sistemas eléctricos.

HOJA DE VIDA MOTOR ELÉCTRICO									
Tipo: Inducción Jaula de Ardilla						N° Interno: 003			
Marca: SIEMENS			Modelo: 6H2			N° Serie/N°: 3003516974-10			
Carcas:		Frame: 880S		Montaj: HORIZONTAL		IP:		Velocidad 593 rpm.	
N° de Fases: 3		Potencia: 448 kW		HP = 600		F. Servici: 1,15		Tipo Serv: CGZ	
Clase Nema:		Frecuenci: 50 Hz		Voltaje(s) Nom. Est:		Y		N° Term. Ac:	
Voltaje Rotor: 4000 V		e. Nom. Estado: 94,4 A		Corriente Nom. Rot: A					
I _{nom} :		A		Letra de Códig: H		Clase Aislació: F		F. de Pot:	
Torque nominal:		N-m		Torque P _{nom} :		N-m		Torque P _{max} :	
Rodamiento lado Libre:					Rodamiento lado Carg:				
Tipo Grasa: POLYREX-EM		Cant. Grasa Rod. L. Lil: 93,55 g		Cant. Grasa Rod. L. C: 93,55 g					
Carbones:		Tipo:		Ancho: mm		Alto:		Longitud: mm	
Calefactor (es):		Cantidad:		Potencia:		V		Voltaje: V	
Prot. Térmica de Bobinas:		Si: <input checked="" type="checkbox"/>		No: <input type="checkbox"/>		Tipo:		N° por Fase:	
Observaciones: LUBRICACION CADA 3000 HORAS DE SERVICIO O CADA 6 MESES DETENIDO									
<i>Aplicaciones del Equipo</i>									
Actualmente instalado en: Chancador Primario Giratorio.						Fecha: 08-ene-15			
Otras Aplicaciones:		1.-		2.-		3.-		4.-	
		4.-		5.-					
Intervención Practicada									
Fecha		Horómetrc		Intervención Practicada					
01-05-2014				Es puesto en servicio por primera vez.					
14y15 de julio 2014				1- Limpieza General del Motor 2- Reapriete de conexionado (Fueza-calefactores) 3- Sellado de Caja de Conexiones					
08-01-2015									

Figura 7-2 Hoja de vida de un motor

Fuente: Elaboración propia

7.3 Pasos a seguir

- Utilizar un tipo de mantenimiento predictivo.
- Revisar levantamiento de motores existente y complementar.
- Crear Hoja de vida de motores.
- Crear planilla de características resumidas de motores.
- Generar un diagrama de flujo Diagrama de flujo de conexiones.
- Capacitar al personal eléctrico sobre la utilización de ambos instrumentos.
- Crear protocolos de trabajo.
- Este segundo semestre de 2016 para comenzar a generar tendencias, es necesario realizar dos pruebas dinámicas en distintas fechas y una estática que la complemente en cada uno de los motores.

8 Análisis económico

8.1 Introducción

Desde el año 2014, por política de la compañía, se comienza a registrar detalladamente la detención de un equipo y el motivo por el cual se detiene. En años anteriores solo se registraba el tiempo de detención del equipo.

De esta forma resulta necesario según el registro de fallas y detenciones obtenido desde la base de datos de la compañía, generar un análisis económico de las implicancias que genera una falla/detención en la producción a causa de un desperfecto eléctrico. Para tal registro es necesario contemplar motores eléctricos de baja tensión como los de media tensión.

De forma gráfica se presenta a continuación una descripción sobre la ubicación de motores en una correa transportadora, en tal caso los motores principales corresponden a motores de meda tensión y los motores del sistema de ventilación de estos, corresponden a motores eléctricos de baja tensión.



Figura 8-1 Detalle de motores en correa

Fuente: Elaboración propia

8.2 Planteamiento

En el Capítulo 6, fueron planteadas las fallas/detenciones en los motores de las correas CV203, CV206 y CV207 pertenecientes a Chancado y Transportes. En base a las tablas generadas en aquel capítulo se presentan a continuación cuatro fallas de dos correas distintas con su tiempo correspondiente. Tales fallas implican los sistemas de ventilación, variadores de frecuencia y vibraciones, a modo de ejemplificar y tener en cuenta los tipos de estudios que es capaz de realizar el analizador dinámico de motores Explorer 4000, con el cual se espera reducir al máximo posible las fallas que se puedan producir en los motores.

Tabla 8-1 Tipos de fallas en motores

Tipo de Falla/detención	Descripción	Sumatoria de horas	Correa	Año
Sobrecarga de motor	Se detiene por trip de motor ventilador, Posición C	3,58	203	2015
Desacople Motor	Por falla en el motor de ventilación	1,37	206	2014
Sobrecarga de motor	Detención por falla de variador	0,78	206	2014
Desacople de motor por alta vibración	Desacople del motor #1	0,48	206	2014

Fuente: Elaboración propia

8.3 Determinación

Si se considera que la planta no produzca alrededor de las 1,37 horas, entonces se tendrá una pérdida de oportunidad de producción, el cual es representado en la tabla 10.

Se sabe que la producción es variable, por lo tanto se realizará la pérdida de oportunidad para tres niveles de producción, 9000, 10000 y 11000 Ton/Hrs.

Tabla 8-2 Producción

Producción (Ton/Hrs)	Tonelajes apilados (Ton)	Porcentaje de Stock Pile	Autonomía (días)
11000	317.130	50%	1,65
10000	288.300	45%	1,5

9000	259.470	41%	1,35
------	---------	-----	------

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, con una alimentación de la concentradora de 11000 Ton/Hrs, si se tiene una producción del 100% entonces se obtendría una autonomía de 1,65 días, esto quiere decir que chancado y transporte hubiera tenido 1,65 días hasta que la concentradora se quedara sin mineral. Cabe señalar que la empresa no pierde si chancado y transporte se encuentra detenido, por lo que en estos casos se habla de una pérdida por oportunidad de haber tenido ese material en el stock pile, así de esta forma se puede calcular aproximadamente el costo de pérdida por oportunidad de no haber tenido ese material en el stock pile.

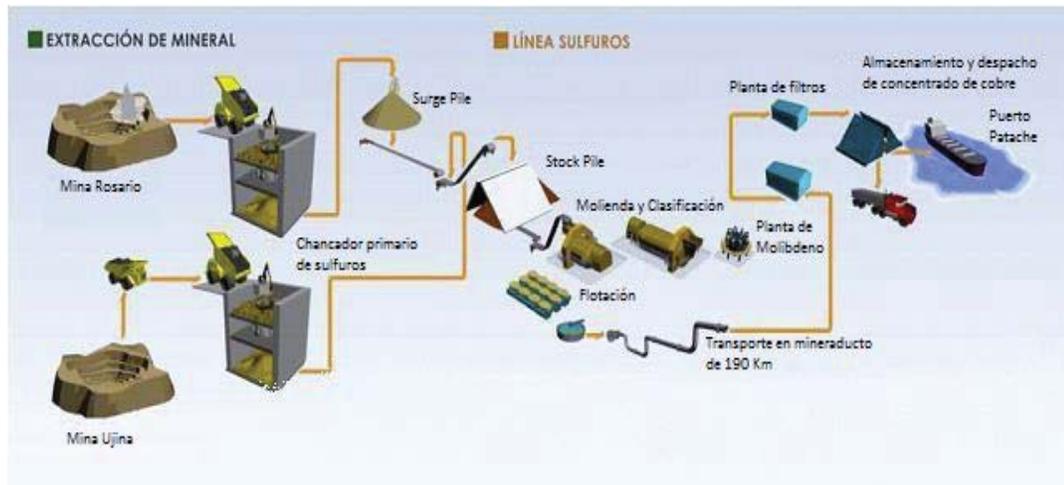


Figura 8-2 Línea de producción de sulfuros

Fuente: Esquema CMDIC

Luego, con un Precio de 216,5 US\$/Lb (19 de agosto 2016), además de tener una ley de mineral de alrededor de 1%, entonces:

$$\text{Tonelaje} = \text{Tonelaje apilado} * \text{Ley}$$

$$\text{Tonelaje} = 317.130 * 0,01 = 3.171,3 \text{ [Ton]}$$

Luego sabiendo que:

$$1 \text{ Ton} = 2204,62 \text{ Libras}$$

Entonces, el tonelaje expresado en Libras será:

$$3.171,3 \text{ Ton} = 6.991.511,4 \text{ Lb}$$

Por lo tanto, el precio de venta sería el siguiente:

$$Pv = 2,165 * 6.991.511,4 = \text{US\$}15.136.622,18$$

Ahora, considerando que el Costo de producción (C1) actual de la empresa es 1,08 US\$/Lb entonces el costo de producción (Ct) de esta cantidad de mineral será:

$$Ct = C1 * \text{Tonelaje}$$

$$Ct = 1,08 * 6.991.511,4 = \text{US\$}7.550.832,31$$

Por lo tanto la pérdida por oportunidad de no tener ese mineral en el stock pile, quedará expresado como:

$$Po = Pv - Ct = 15.136.622,18 - 7.550.832,31$$

$$Po = \text{US\$} 7.585.789,87$$

Entonces la pérdida por oportunidad de no haber contado con esos 317.130 [Ton] en el stock pile es de US\$ 7.585.789,87. Si se propone aunque sea detectar una falla incipiente este sería el beneficio que se estaría aportando a la compañía. En particular este análisis se realizó para demostrar los beneficios de contar con un buen plan de mantenimiento en el que claramente los estudios realizados al estado los motores existentes en la planta serán de vital importancia y un gran aporte. Estos datos están sujetos a cambios según el valor del metal rojo, como también la variabilidad del costo de producción C1 del cobre por parte de la compañía.

Discusión y conclusiones

Conocer el funcionamiento y todo lo que envuelve a las máquinas eléctricas, resulta de vital importancia para los mantenedores. Ya que con un acabado conocimiento de ellas se puede llegar a determinar fallas y sus causas, para de esta forma poder determinar el mejor escenario posible para la programación de las mantenciones predictivas y modificaciones que se tengan que realizar, en busca de maximizar los tiempos medios entre las fallas y a la vez minimizar los tiempos medios entre las reparaciones de estas, todo esto unido al acabado conocimiento del lugar de operación y teniendo la forma más acabada sobre la información de eventos anteriores, levantamientos de motores, etc.

El hecho de que ocurra una falla incipiente siempre estará presente, pero la idea es buscar los mejores mecanismos para mantenerlas en el máximo control posible, y esto se logra conociendo los distintos equipos, capacitando constantemente a los trabajadores, realizando un acabado estudio de los distintos tipos de fallas, distintas pruebas que se pueden realizar y como se complementan, a la vez buscar en el mercado las nuevas alternativas y la mejor tecnología que se pueda implementar en el lugar de operación.

Por lo tanto en este mismo escenario se hace necesario conocer los motores con los que se cuenta, realizando un exhaustivo levantamiento de la información de la placa característica de cada uno, creando una hoja de vida por motor, unido a una planilla de características resumidas de motores ubicada en el Centro de Control de Registros (CCR) de la compañía minera. Se debe comenzar a generar tendencias sobre el comportamiento de los distintos motores de la planta, mediante la utilización de ambos instrumentos (Analizador dinámico y Analizador estático) para que de este modo se puedan complementar en los análisis de estas máquinas eléctricas y de esta forma ir en la búsqueda de minimizar la ocurrencia de fallas, las cuales puedan causar daños irreparables a los equipos y que a la vez afecte a la producción, el tema que es de suma importancia en este rubro. Para esto resulta vital, que el personal eléctrico pueda ser capacitado en el uso de ambos instrumentos, que se generen protocolos de conexión, diagramas de flujos de conexiones y un banco de pruebas en las instalaciones de la compañía minera, tanto en cordillera, como también en puerto Punta Patache. Para la planificación de actividades a seguir, se recomienda que este segundo semestre, se puedan programar dos mediciones del tipo dinámicas y una del tipo estática que la complemente, en cada uno de los motores, todo esto en distintas fechas, y según como resulten estas mediciones, puedan ser programadas las que sean necesarias el próximo año y así sucesivamente todo el tiempo que sea necesario.

Bibliografía

[1]<<La compañía – Descripción de la empresa>> [En línea]

http://www.collahuasi.cl/espanol2/compania/descripcion_empresa.asp

[2]<<La Compañía – Reseña histórica>> [En línea]

<http://www.collahuasi.cl/espanol2/compania/historia.asp>

[3]<<La Compañía – Accionistas>> [En línea]

<http://www.collahuasi.cl/espanol2/compania/accionistas.asp>

[4]<<La Compañía – Localización>> [En línea]

<http://www.collahuasi.cl/espanol2/localizacion/ubicacion.asp>

[5]<<Fallas en máquinas eléctricas>> [En línea]

http://www.umng.edu.co/documents/10162/4585612/articulo_3.pdf

[6]<<Análisis de las zonas de fallas de motores eléctricos – Cto. de potencia>> [En línea]

http://www.termogram.com/pdf/nov14_03/Paper_IEEE_Concapan_XXI.PDF

[7]<<Análisis de las zonas de fallas de motores eléctricos – Calidad de energía>> [En línea]

http://www.termogram.com/pdf/nov14_03/Paper_IEEE_Concapan_XXI.PDF

[8]<<Un estudio sobre la localización, detección y diagnóstico de fallas en máquinas eléctricas – Fallas en el estator o armadura>> [En línea]

http://www.umng.edu.co/documents/10162/4585612/articulo_3.pdf

[9]<<Análisis de las zonas de fallas de motores eléctricos – Rotor>> [En línea]

http://www.termogram.com/pdf/nov14_03/Paper_IEEE_Concapan_XXI.PDF

[10] <<Un estudio sobre la localización, detección y diagnóstico de fallas en máquinas eléctricas – Rodamientos>> [En línea]

http://www.umng.edu.co/documents/10162/4585612/articulo_3.pdf

[11] <<Análisis de las zonas de fallas de motores eléctricos – Aislación>> [En línea]

http://www.termogram.com/pdf/nov14_03/Paper_IEEE_Concapan_XXI.PDF

[12] Baker Instrument Company, an SKF Group Company <<Manual AWA Spanish – Secuencia de prueba recomendada>>

[13] Baker Instrument Company, an SKF Group Company <<Manual AWA Spanish – Prueba Mega-Ohm>>

[14] Comulsa <<Guía de inicio AWA IV 12 – Prueba índice de polarización>>

[15] Comulsa << Guía rápida AWA IV 12 – Prueba de Hi Pot>>

[16] Comulsa <<Guía de inicio AWA IV 12 – Prueba Impulso>>

[17] Comulsa <<Guía de inicio AWA IV 12 – La razón de error por área>>

[18] Comulsa << Guía rápida Explorer 4000 – Calidad de energía>>

[19] Comulsa <<Manual completo Explorer 4000– Condición de operación>>

[20] Comulsa << Guía rápida Explorer 4000 – Torque>>

[21] Comulsa <<Guía rápida Explorer 4000– Capacidades de monitoreo integrada>>

[22] Comulsa <<Manual completo Explorer 4000– Factor de servicio efectivo>>

[23] Comulsa <<Manual completo Explorer 4000– Retorno de la inversión>>

[24] Comulsa <<Manual completo Explorer 4000– Barras del rotor>>

A Apéndice

A.1 Estándares aplicables a pruebas estáticas

- EASA Standard AR100-1998 Recommended Practice for the Repair of Rotating Electrical Apparatus.
- IEC 60034-1 (1999-08) Consolidated Edition, Rotating Electrical Machines Part I: Rating & Performance Ed. 10.2.
- IEEE 43-2000 Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery.
- IEEE 95-1977 Guide for Insulation Maintenance of Large AC Rotating Machinery.
- IEEE 112-1991 Test Procedures for Polyphase Induction Motors and Generators.
- IEEE 113-1985 Guide on Test Procedures for DC Machines.
- IEEE 115-1983 Test Procedures for Synchronous Machines.
- IEEE 429-1972 Evaluation of Sealed Insulation Systems for AC Electric Machinery Employing Form-Wound Stator Coils.
- IEEE 432-1992 Guide for Insulation Maintenance for Rotating Electrical Machinery (5hp to less than 10,000hp).
- IEEE 434-1973 Guide for Functional Evaluation of Insulation Systems for Large High-Voltage Machines.
- IEEE 522-1992 Guide for Testing Turn-To-Turn Insulation on Form-Wound Stator Coils for Alternating-Current Rotating Electric Machines.
- NEMA MG1-1993 Motors & Generators.

Organizaciones que respaldan las pruebas dinámicas

- IEEE 522
- IEC 34-15
- NEMA MG-1.
- NFPA 70B
- EASA

A.2 Analizador dinámico de motores Explorer 4000

Dominio calidad de la energía

Mediante este dominio el analizador puede identificar y puede entregar importante información referente a los problemas de desbalance de voltaje, nivel de voltaje, distorsión armónica, distorsión total, energía y armónicos.

Nivel de voltaje

- Identifica las condiciones de sobretensión e insuficiencia de voltaje.
- Compara los niveles de voltaje medidos con los umbrales definidos por el usuario.

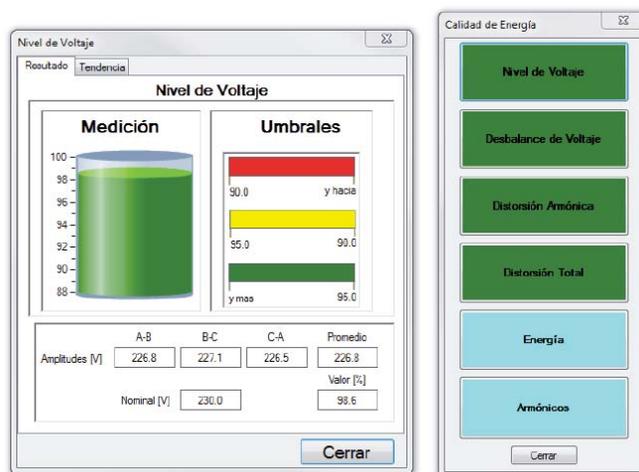


Figura 0-1 Captura de imagen de software sobre el nivel de tensión

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

Desbalance de voltaje

- Examina la tensión monofásica en el motor al calcular su desequilibrio en porcentaje a través de la reducción de NEMA (derrateo NEMA MG-1).
- Compara el nivel de desbalance de voltaje con el umbral almacenado.
- Este instrumento utiliza la curva de reducción de NEMA que especifica una carga máxima para cada tipo de desequilibrio.

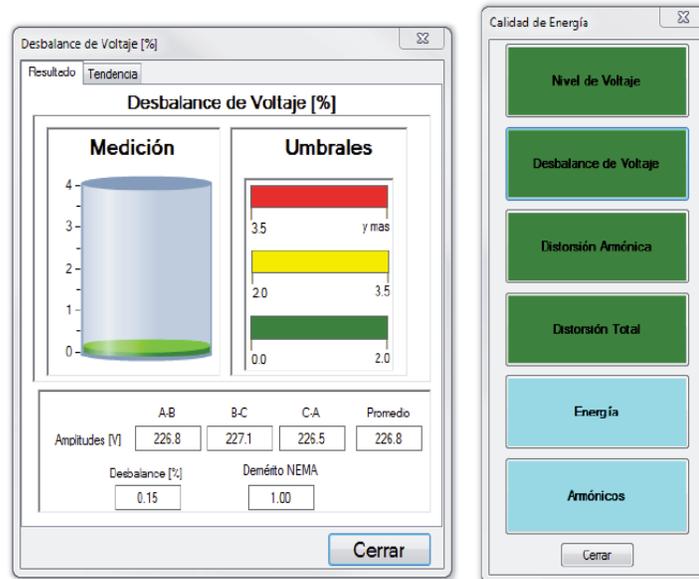


Figura 0-2 Captura de imagen de software sobre el desbalance de tensión

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

Distorsión armónica

Esta función examina la distorsión armónica total de las tres fases para tensiones neutras. Compara el nivel de distorsión armónica total con los umbrales que se definen por norma.

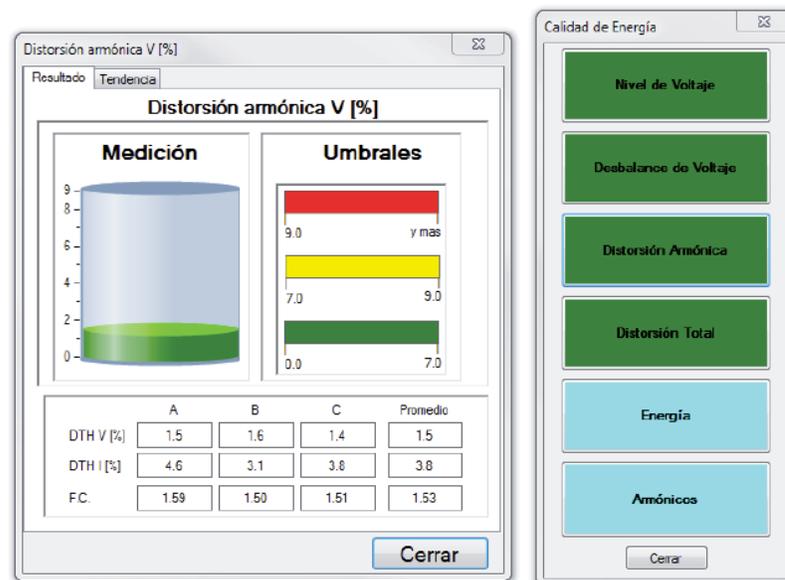


Figura 0-3 Captura de imagen de software sobre la distorsión armónica

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

Distorsión total

Tanto la distorsión total armónica (THD), como la distorsión total (TD) cuantifican el efecto de componentes no fundamentales para la forma de onda de tensión y corriente. Mientras que la distorsión armónica se centra únicamente en el contenido armónico, la distorsión total se centra en todas las componentes no fundamentales.

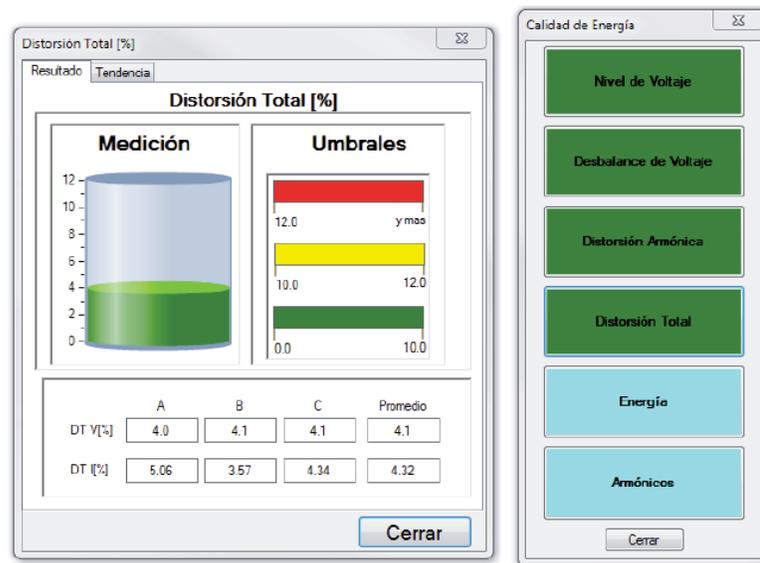


Figura 0-4 Captura de imagen de software sobre la distorsión total

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

Energía

Esta ventana tiene cinco opciones principales y brinda información para definir la calidad de energía para cada fase, junto con los valores de promedio/suma.

La primera sección muestra KiloWatts (kW), Kilovolts Amperes reactivos (kVAr) y KiloVolts Amperes (kVA).

La siguiente sección muestra los valores de factor de potencia (PF), tensión (V) y corriente (I).

En la tercera sección, se presentan la tensión de distorsión armónica total (THD V), y la corriente distorsión armónica total (THD I).

Los valores de tensión de factor de cresta (CfV) y corriente de factor de cesta (CfI) se muestran en la cuarta sección.

El porcentaje de desbalance de voltaje, el porcentaje de desbalance de corriente y la frecuencia se presentan en la última sección.

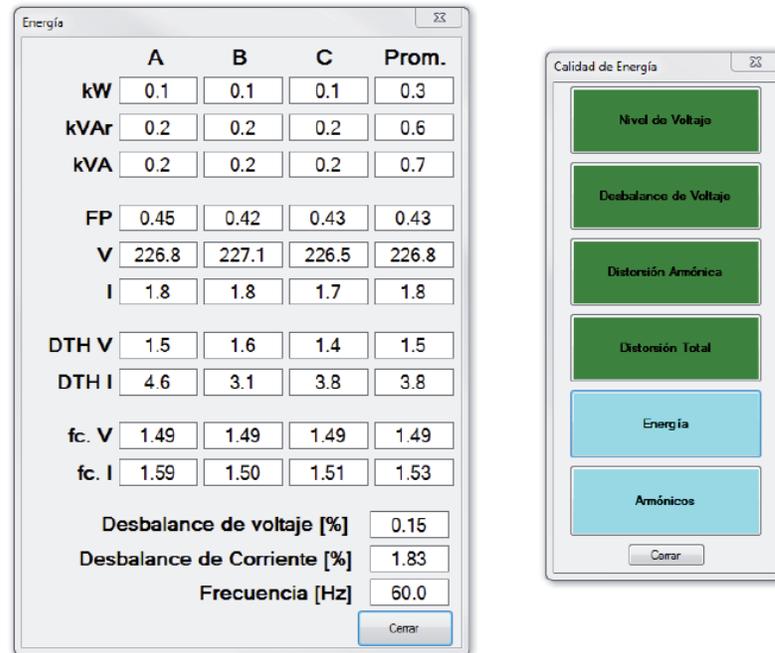


Figura 0-5 Captura de imagen de software sobre la energía

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

Armónicos

Comparan la magnitud de los componentes armónicos con las corrientes y tensiones fundamentales del sistema. El gráfico de barras muestra la distribución del contenido armónico en las diferentes bandas de frecuencias para todas las tensiones y corrientes.

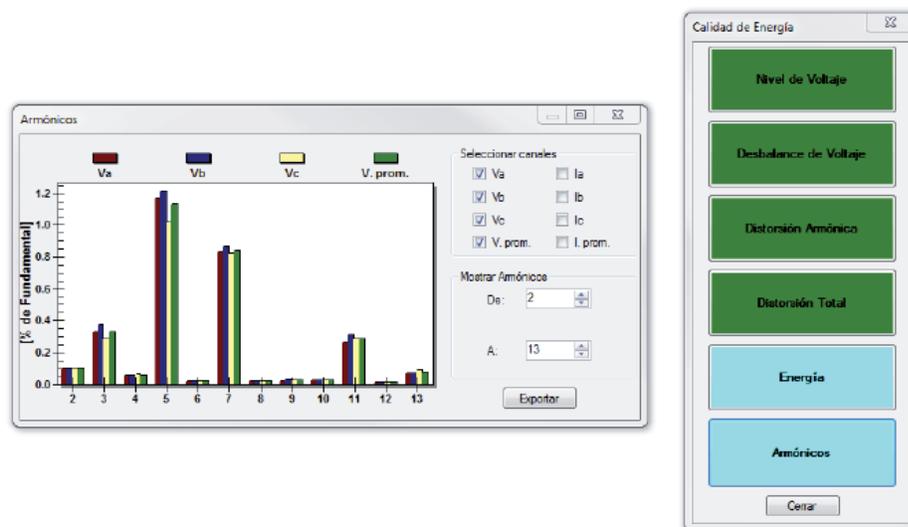


Figura 0-6 Captura de imagen de software sobre armónicos

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

- 1) Para seleccionar los canales de tensión y corriente que desea mostrar, se debe marcar las casillas junto a los canales deseados en la sección **Seleccionar canales**.
- 2) Para ajustar el rango de armónicos que se desea visualizar, se deben usar las casillas combinadas desde y hasta que se encuentran en la sección Mostrar armónicos.
- 3) Hace clic en el botón Exportar para exportar los datos recolectados en un archivo de valores separados por coma (.CSV).

Dominio rendimiento de la máquina

Factor de servicio efectivo

Muestra en gráficos el porcentaje estimado de la carga reducida con el factor de reducción de NEMA.

Cuando se realiza una prueba de factor de servicio efectivo se logra identificar a qué proximidad opera el motor de su factor de servicio efectivo. Este tipo de prueba predice el deterioro producido por el calor y proporciona una evaluación térmica precisa del motor. [22]

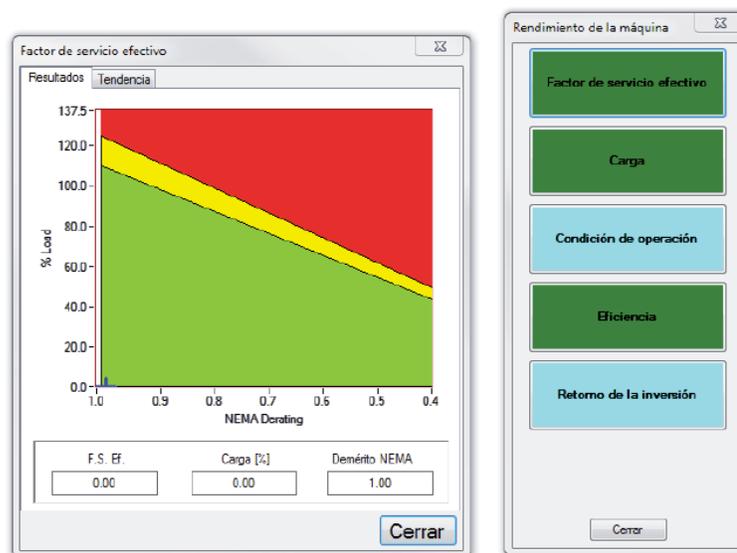


Figura 0-7 Captura de imagen de software sobre el factor de servicio efectivo

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

Carga

Respecto a la carga, se puede realizar el seguimiento y estudio de la carga estimada de la máquina, definiendo umbrales de comparación para dicho estudio. Generalmente se usa un umbral del

100%, ya que una operación con un nivel superior a ese puede deteriorar la máquina rápidamente debido al calor.

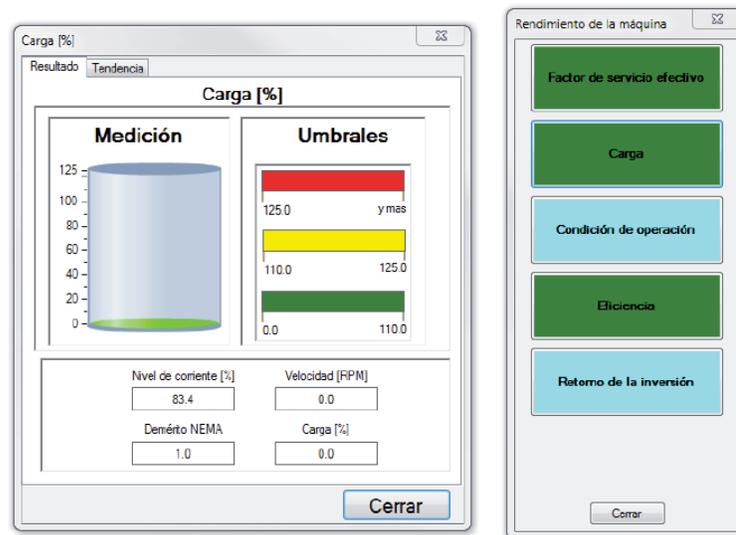


Figura 0-8 Captura de imagen de software sobre la carga

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

Condición de operación

Estas curvas (curva de operación de torsión-velocidad y corriente-velocidad característica) variarán su forma si la operación de un motor de inducción cambia de una condición positiva a una condición con fallas. Por ejemplo, un aumento en la temperatura de operación, condiciones ambientales cambiantes, condiciones variadas de suministro de Energía o barras del rotor rotas pueden alterar la condición de operación de un motor.

Diferencias en la condición de operación puede indicar dos cosas:

- Un cambio en el proceso de operación
- Una condición que puede influenciar la operación del motor.
- La pérdida de potencia se puede considerar un posible desperdicio de energía en la factura de electricidad y a la vez degrada el estado del motor.

Un resultado de advertencia no necesariamente implica un defecto en la máquina, la carga o el suministro de Energía. Sin embargo, es importante controlar la condición de operación de la máquina. Cualquier cambio identificable puede afectar la operación futura del motor.

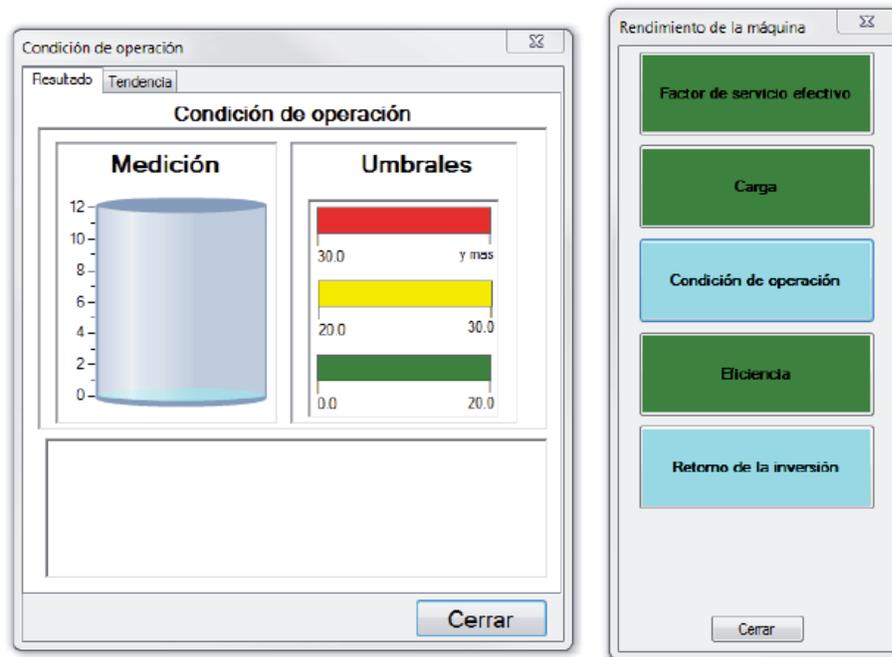


Figura 0-9 Captura de imagen de software sobre la condición de operación

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

Eficiencia

Se proporciona una base de datos con más de 20.000 diseños de motores diferentes. Esta base de datos compara motores existentes con diseños similares que funcionan al nivel de la norma preestablecida o un nivel superior de esta. Estos motores se comparan con respecto al punto de carga operativa actual y sus eficiencias resultantes. Si la Eficiencia del motor bajo prueba es significativamente menor a la eficiencia establecida como objetivo que se encuentra en un motor en cumplimiento con la norma, se emite una bandera de advertencia o precaución.

Si se emite una bandera de advertencia o precaución. Se deben seguir los siguientes pasos:

- 1) Se debe verificar que se hayan ingresado el inductor y las resistencias principales entre líneas correctas en los paneles Crear motor o Editar motor en el software del EXP4000.
- 2) Los motores pueden operar a Eficiencias bajas debido a su diseño o sus pobres condiciones de energía. Se debe verificar que el nivel de voltaje sea apropiado para el motor bajo prueba. Asegúrese de que el desbalance de voltaje y la distorsión de tensión sean aceptables.

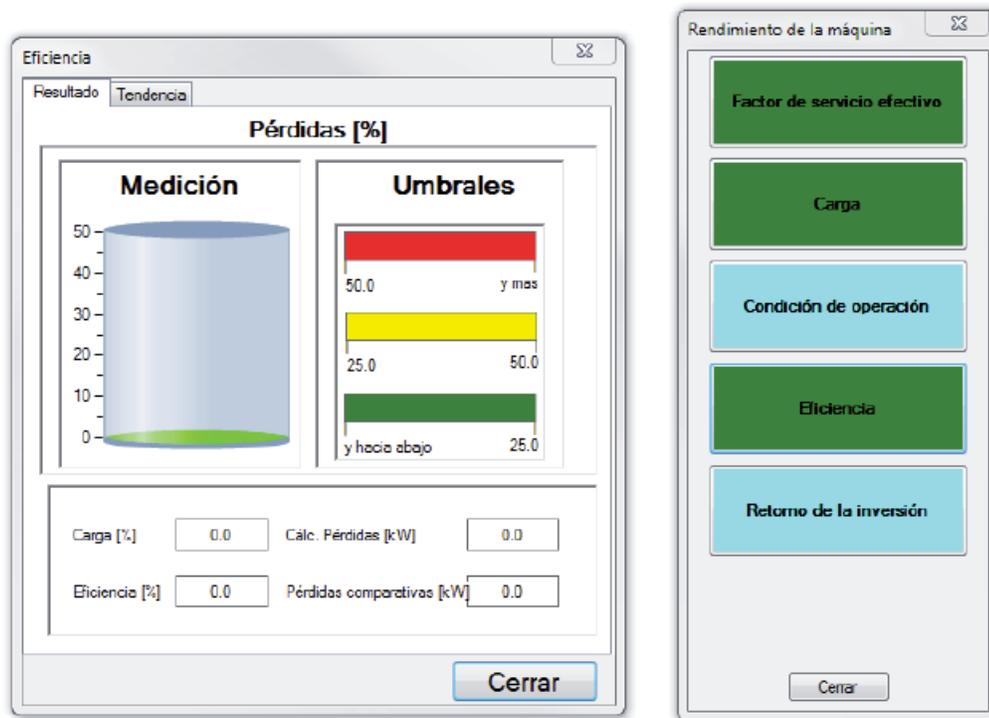


Figura 0-10 Captura de imagen de software sobre la eficiencia

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

Retorno de la inversión

Esta prueba investiga la base de datos para motores y compara los gastos de energía del motor bajo prueba con motores de mayor Eficiencia. Se calcula el Retorno de la inversión, en base al precio de lista del motor de comparación, los ahorros de energía calculados según el ciclo de trabajo especificado del motor, el valor \$/kWh ingresado y la última potencia de entrada calculada del motor. Esta prueba se basa en la premisa de que el motor de comparación opera, en promedio, en un punto de carga similar al que se mide. Todos los precios están en USD, por lo que los costos de energía se deben especificar en USD. Los precios de lista son los datos del fabricante del motor y se basan en el mercado estadounidense. Si el EXP4000 se usa en países fuera de EE. UU., el precio de lista se debe ajustar adecuadamente. [23]

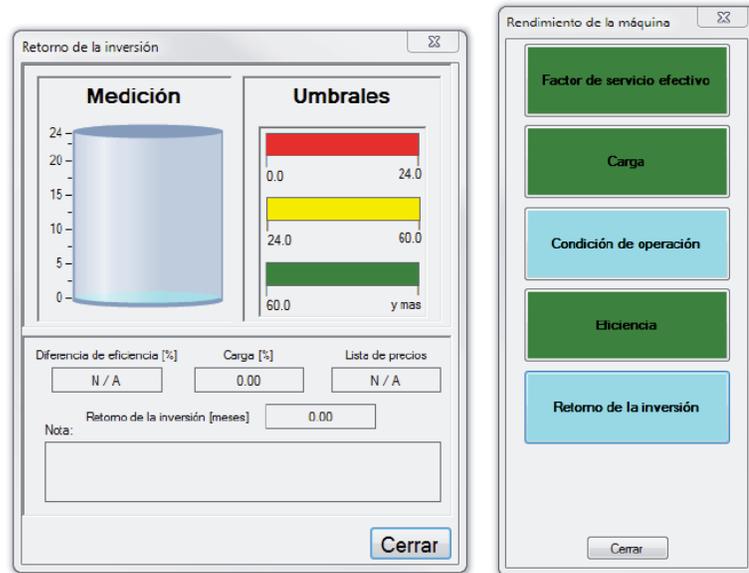


Figura 0-11 Captura de imagen de software sobre el retorno de la inversión

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

Dominio de corrientes

Nivel de corriente

La función de corriente compara la corriente monofásica con la corriente del inductor que figura en la placa del motor bajo prueba.

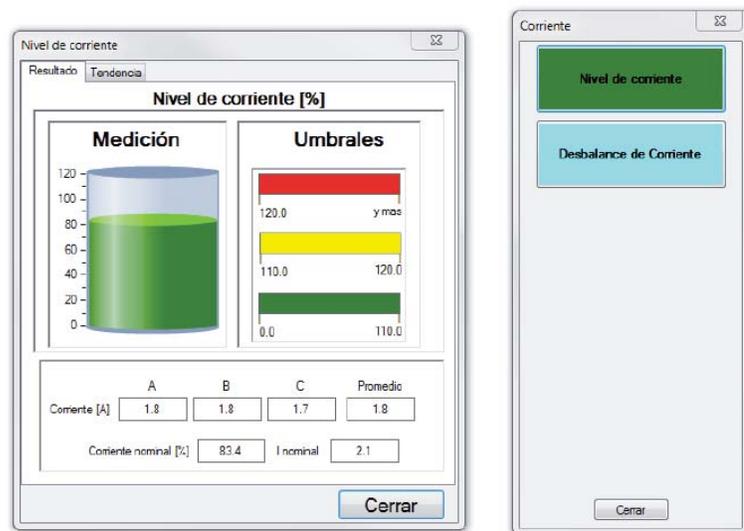


Figura 0-12 Captura de imagen de software sobre el nivel de corriente

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

Desbalance de corriente

Las corrientes desequilibradas normalmente son causadas por un desequilibrio de tensiones. Una norma general es que el desbalance de voltaje puede ser la causa de desequilibrios de corriente hasta ocho veces más grandes.

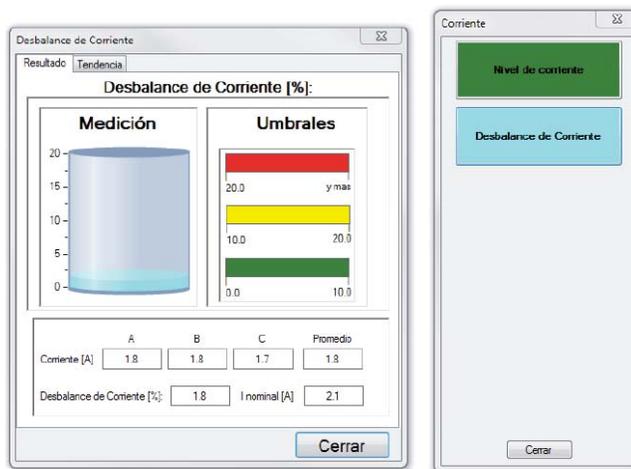


Figura 0-13 Captura de imagen de software sobre el desbalance de corriente

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

Dominio espectros

Barras del rotor

La función de las barras del rotor registra la amplitud relativa de la banda lateral de la barra y compara la firma de la jaula del rotor con umbrales almacenados. [24]

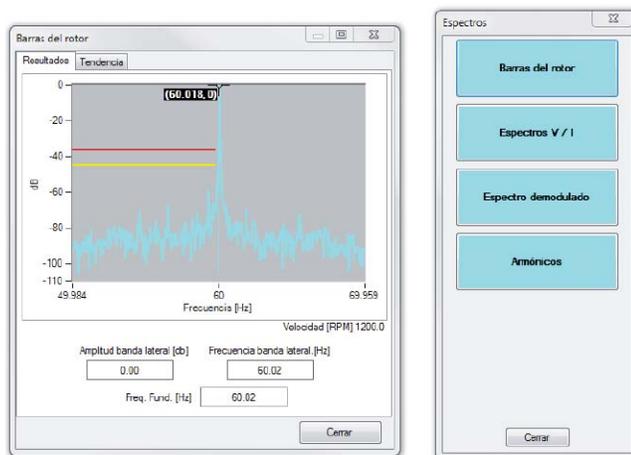


Figura 0-14 Captura de imagen de software sobre las barras de rotor

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

Espectro V/I

Se puede también hacer uso de los espectros de frecuencia de las tres formas de onda de tensión de línea a neutro y las tres corrientes de línea, independientemente unos de otros. Se ha demostrado que los espectros de corriente contienen información relacionada con los espectros de vibración de la máquina; se pueden identificar fallas en los rodamientos mediante el uso de controles de marcadores de frecuencia en la parte inferior izquierda. Esta función también puede ayudarle a encontrar problemas de alineación en deterioro, desequilibrios de carga, falta de rigidez, excentricidad y cavitación mediante el análisis de estos espectros.

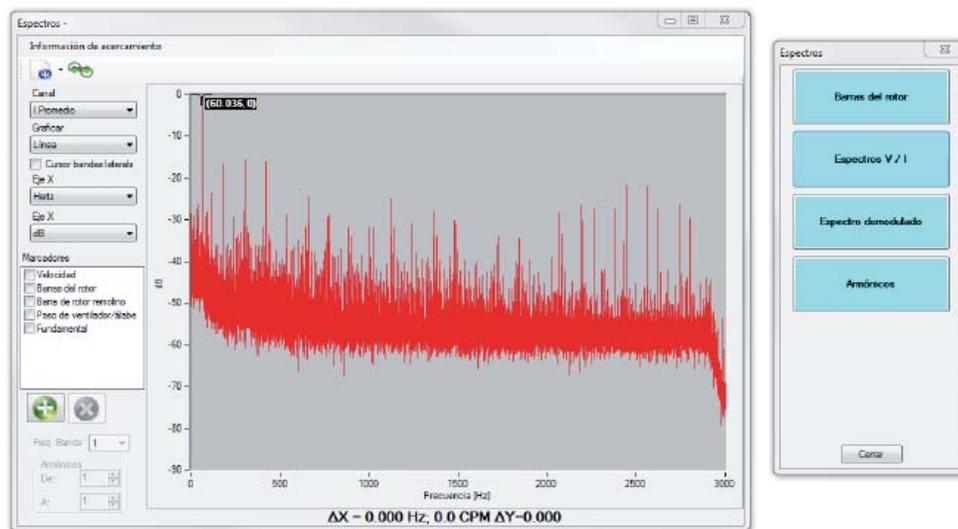


Figura 0-15 Captura de imagen de software sobre el espectro V/I

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

Para acercar (ampliar) determinadas regiones del gráfico, se debe hacer clic y mantener oprimido el botón derecho del ratón, y arrastrar el cursor del ratón para seleccionar el área que desea ampliar. Se puede encontrar más información sobre cómo usar el zoom al hacer clic en el elemento **Información del zoom** en la barra de herramientas de la parte superior de la ventana.

Los gráficos del espectro V/I también tienen un elemento **Opciones de gráficos** en la barra del menú, el cual se puede utilizar para definir las preferencias de máscaras de las frecuencias eléctricas. Además, se puede definir el ancho de la máscara (en Hertz).

Justo debajo del menú **Información del zoom**, se visualizan dos iconos. El primero permite exportar los datos de los espectros a una hoja de cálculo. El segundo icono habilita la visualización de datos de formas de onda de tiempo debajo del gráfico de espectro.

Demodulación

Con el software opcional de análisis de torsión T4000, la función Espectro demodulado calcula el espectro tridimensional demodulado de la firma de torsión. Con el control de canales, esta señal se puede modificar de torsión a corriente o tensión para cualquiera de las fases. La herramienta

de espectros demodulados analiza el perfil de comportamiento dinámico del sistema de carga del motor.

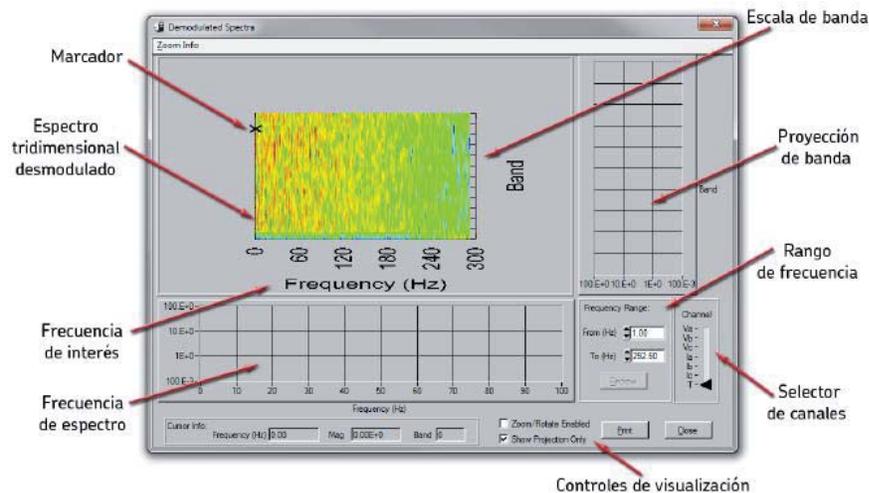


Figura 0-16 Captura de imagen de software sobre el espectro demodulado

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

La información principal de la ventana *Espectros demodulados* es el gráfico de espectro tridimensional demodulado y el gráfico de frecuencia de espectro.

Se puede mover el **Marcador** con una simple operación de arrastrar y soltar.

- 1) Se debe desplazar el cursor del ratón sobre el marcador, que cambiará a un dedo que señala.
- 2) Se debe hacer clic y mantener oprimido el botón izquierdo del ratón, y luego mover el cursor al nuevo punto de interés y soltar el botón.

La ubicación del marcador determina las proyecciones diagramadas en los gráficos **Frecuencia de espectro** y **Proyección de banda**. Muestra las amplitudes relativas de la frecuencia para las diferentes bandas de demodulación A. M.

La escala de frecuencia al final del gráfico tridimensional tiene el mismo significado que la escala debajo de la proyección. Por lo general, los componentes de interés de la frecuencia se leen en esas escalas.

La posición del **Selector de canales** determina el algoritmo de demodulación que se debe realizar para la tensión o corriente de las fases (A, B o C), o sobre la configuración de torsión predeterminada. La amplitud del gráfico se muestra en volts, amperes o Newton metros.

La configuración **Rango de frecuencia** permite acercar o alejar la pantalla.

Los controles de **Visualización** cambian la configuración de gráficos tridimensionales. Al deshabilitar la vista **Solo proyección** y habilitar las opciones **Zoom/Rotar**, se permitirán cambios a la visualización del gráfico tridimensional. Las teclas determinadas para usar el zoom y el modo panorámico, y para restaurar, se describen en el enlace **Información del zoom** que se encuentra en la esquina superior izquierda de la ventana.

Dominio torsión

Corresponde a un software opcional de análisis de torsión T4000 el acceso al dominio de prueba **Torsión**, el cual brinda acceso a las funciones de prueba **Rizado de torque** y **Espectro de torsión**.

Rizado de torque

La ventana Rizado de torque tiene dos pestañas: **Resultados** y **Tendencia**. La pestaña **Resultados** muestra la torsión medida a lo largo del tiempo en comparación con la torsión calculada a partir de la información de la placa del motor.

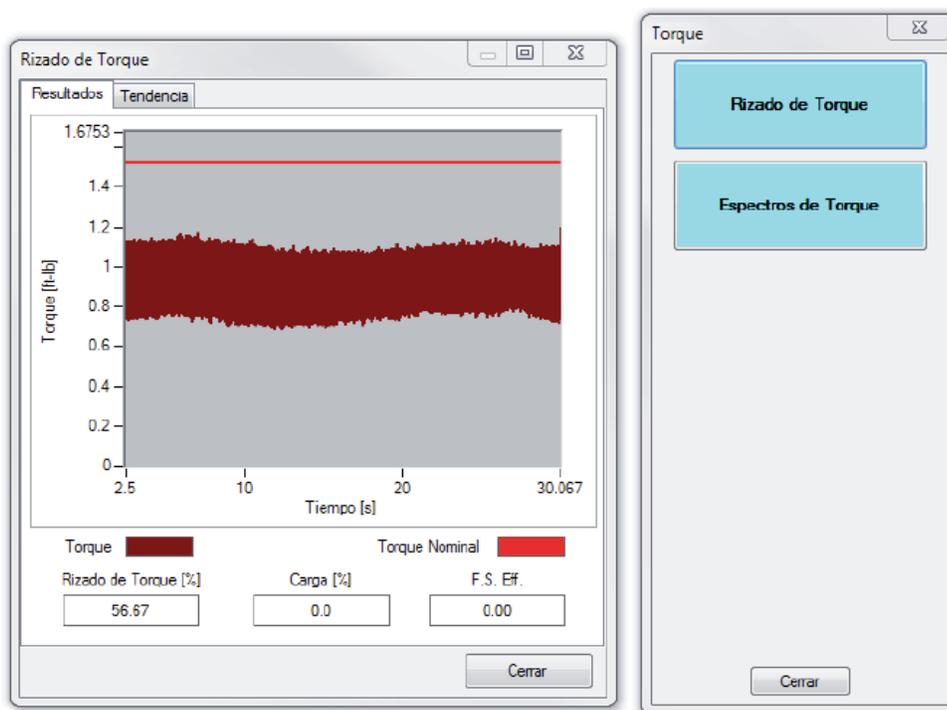


Figura 0-17 Captura de imagen de software sobre el rizado de torque-resultados

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

La pestaña **Tendencia** muestra una comparación gráfica de los resultados de torsión para la corriente y las mediciones anteriores.

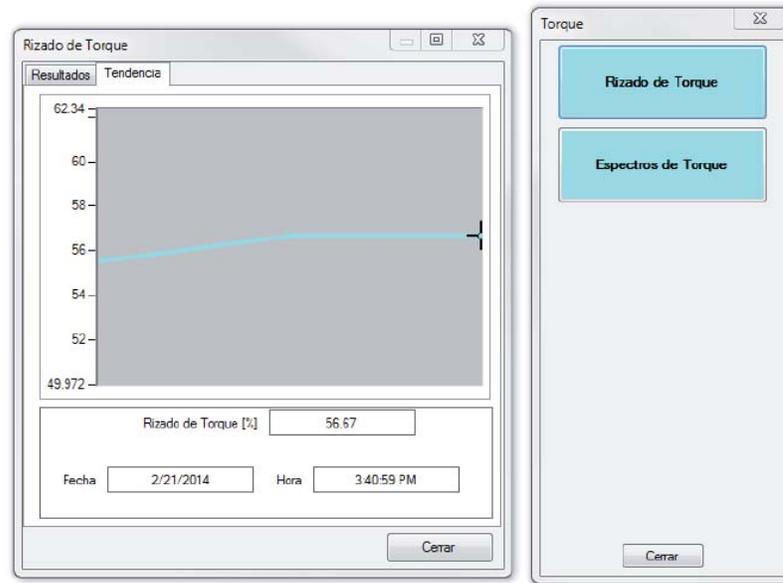


Figura 0-18 Captura de imagen de software sobre el rizado de torque-tendencias

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

Dominio de conexiones

Formas de onda

Esta ventana muestra las formas de onda de las tres mediciones de corriente y tensión para el modo de operación de línea. Si el EXP400 se opera en modo VFD (no disponible en software básico), muestra las mediciones de tensión y corriente para la fase A.

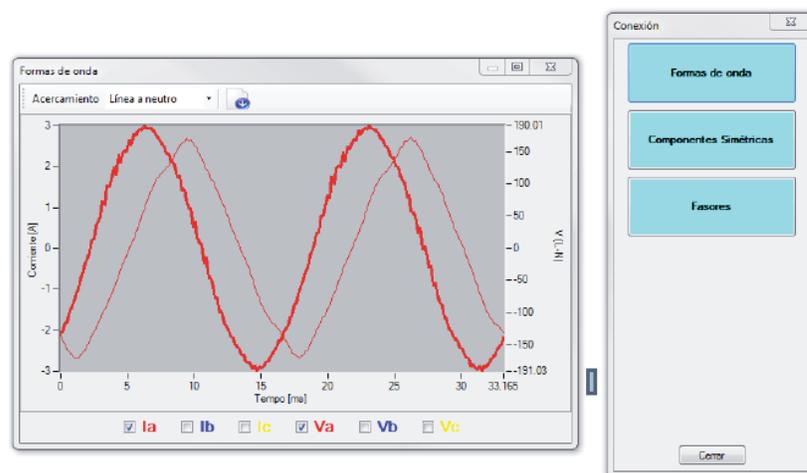


Figura 0-19 Captura de imagen de software sobre las formas de onda

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

- 1) Se debe usar la lista desplegable que se encuentra arriba del área de visualización para seleccionar cómo se mostrarán los datos: de línea a línea o de línea a neutro.
- 2) Los datos se pueden exportar a un archivo de valores separados por coma (.csv) al hacer clic en el icono **Exportar datos** justo a la derecha de la lista desplegable.
- 3) Para ampliar el gráfico, se debe presionar y mantener oprimido el botón izquierdo del ratón y arrastrar un rectángulo por el área de interés. Las características del zoom se describen en el menú **Información del zoom** que se encuentra justo arriba del área de visualización
- 4) Si se marcan las casillas debajo del área de visualización, se le informará al software qué medidas debe mostrar. Las medidas están codificadas por color para facilitar la identificación.

Componentes simétricas

La ventana Componentes simétricas muestra la tensión, la corriente y el desequilibrio de impedancia, la información de corriente de secuencia positiva (aceleración) y secuencia negativa (retraso), tensión e impedancia.

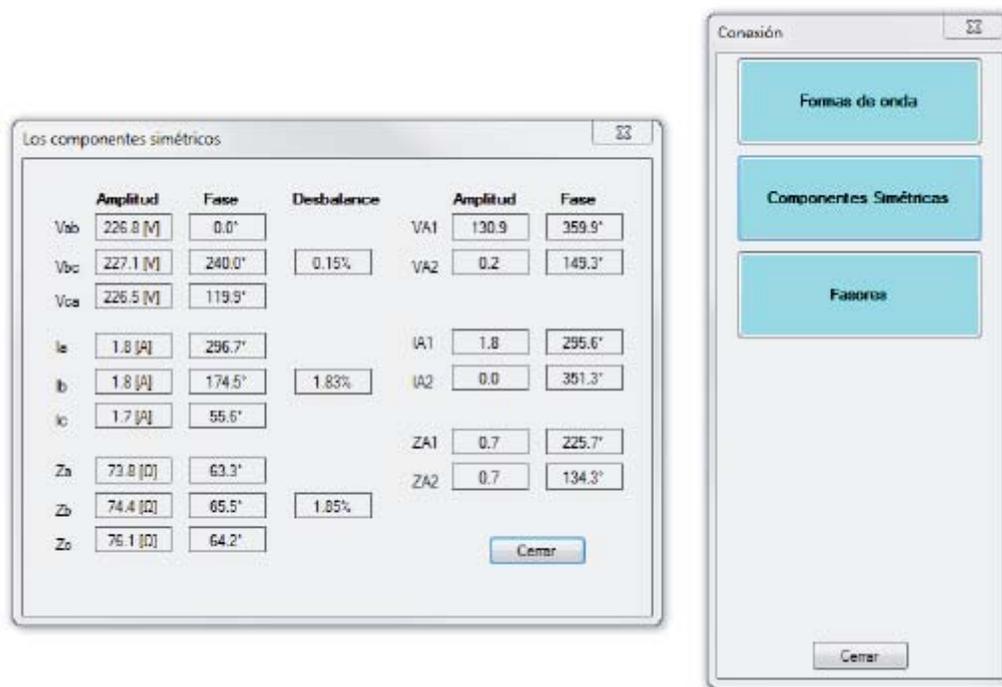


Figura 0-20 Captura de imagen de software sobre las componentes simétricas

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

Fasores

La ventana Fasores muestra los fasores a, b y c para las tensiones y el modo de operación de corriente en línea.

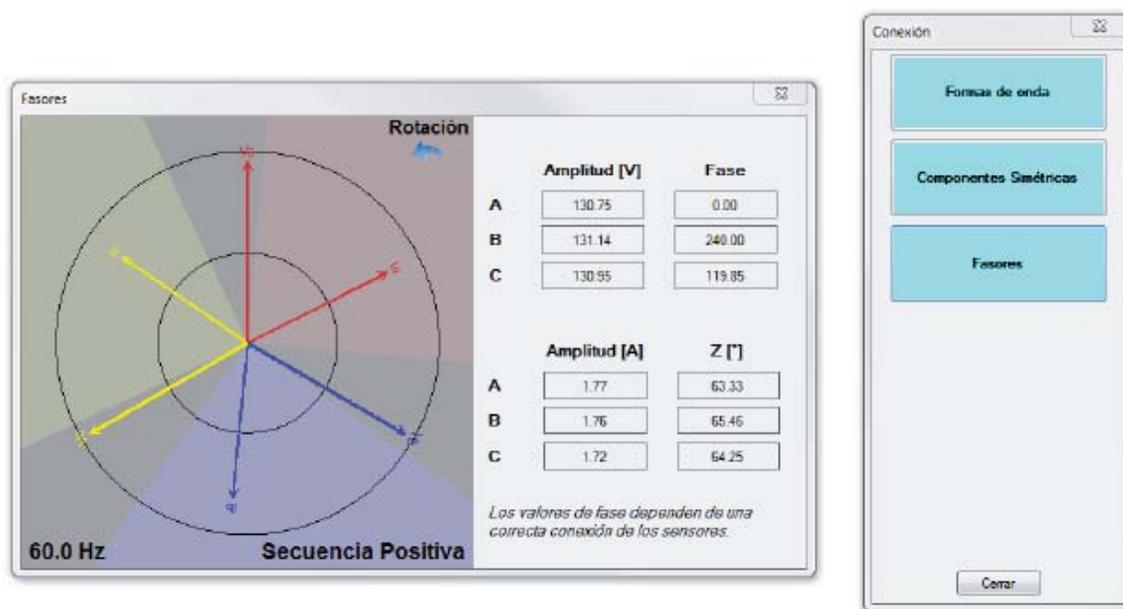
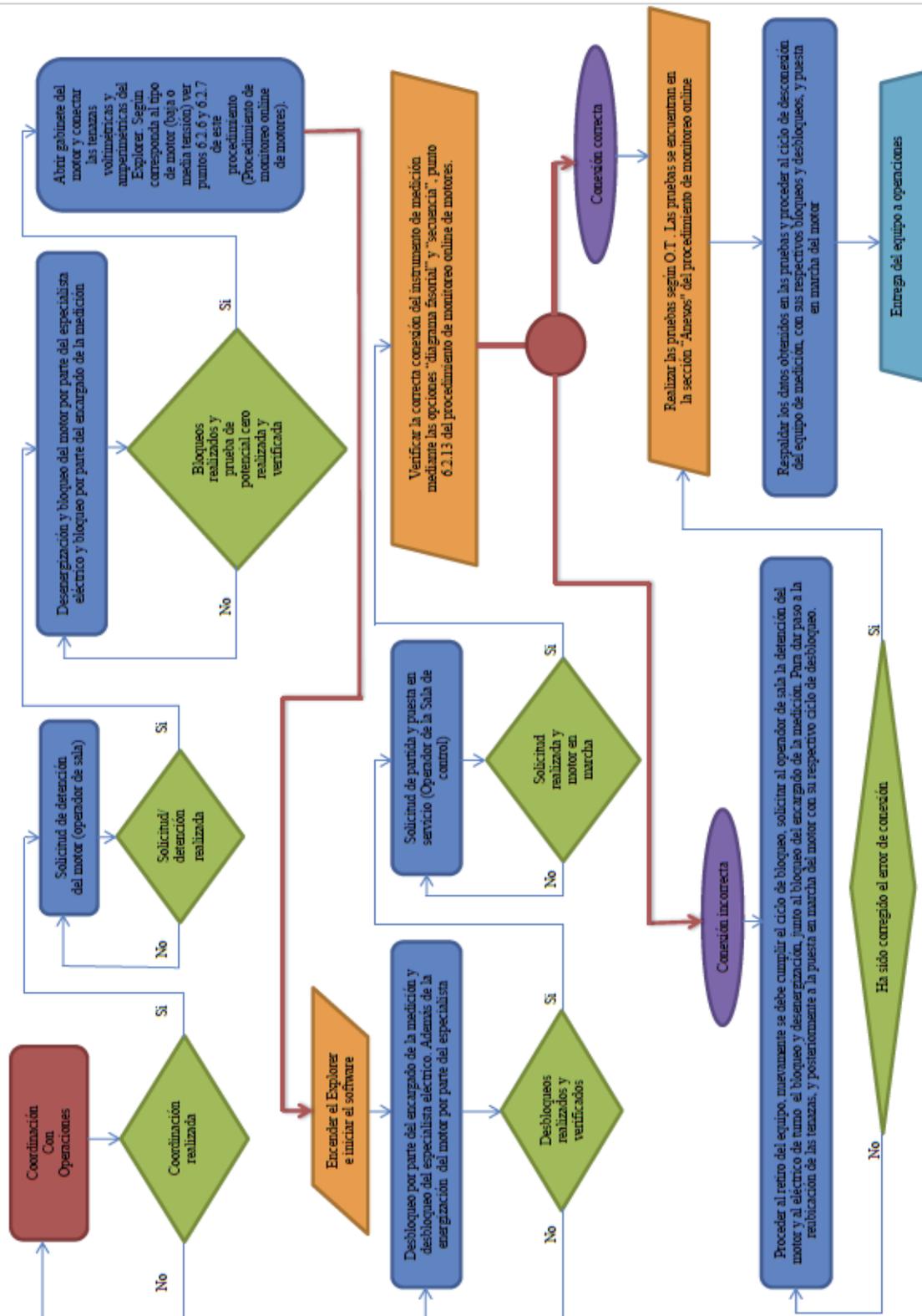


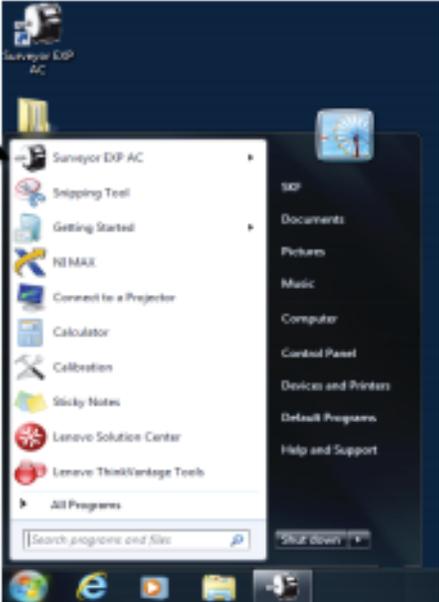
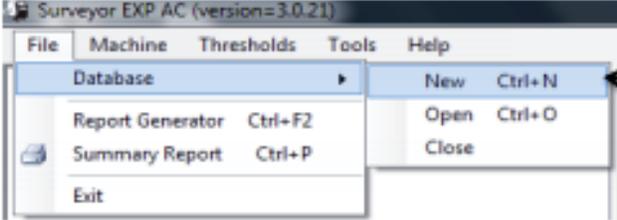
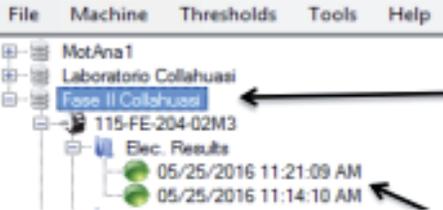
Figura 0-21 Captura de imagen de software sobre el diagrama fasorial

Fuente: Analizador dinámico Explorer 4000

A.3 Diagrama de flujo para la conexión Exporer 4000



A.4 Protocolos y anexos formulados para CMDIC

	COMPAÑÍA MINERA DOÑA INÉS DE COLLAHUASI	VICEPRESIDENCIA DE PROCESOS
ANEXOS		
Iniciando el Explorer		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Se puede hacer desde el icono "Surveyor EXP AC" en el escritorio o desde el Inicio de Windows </div>		
Ingreso de una nueva base de datos		
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Ejemplo de base de datos: Motores fase II </div>
Ingreso de motores a la base de datos		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Motores ingresados </div>		
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Nueva base de datos </div>

Pruebas realizadas

Llenado con los datos básicos de la placa característica del motor

Machine Properties

Name: 115-FC 204-02ND

Name/Label	Value	Name/Label	Value
Power Out (Pc)	7.37	Power Out (kW)	5.98
Voltage (V)	380	Speed (RPM)	1480
Current (A)	11.7	Oil Level (A)	1.2
Frequency (Hz)	50		

Buttons: OK, Cancel, Apply

Utilizar TAG para identificarlo dentro de la base de datos

En caso de realizar la medición en M.T, se deben ingresar la relación de transformación de los TC y los TP, ingresando a "Sensor"

Guardar siempre los datos realizados antes de cerrar la ventana en "Aplicar"

Otros ajustes y arranque de las pruebas

Sensor: Portables

CTs: 150 [A]

Auto-Phase:

Buttons: Run Settings, Run Station, Go

Configuración de modo portátil o con el dispositivo EP

Clasificación de corriente de los TC

Utilizada durante la operación de línea para configurar las entradas de línea y corriente.

Verificación de las conexiones a través de diagrama fasorial

Arranque de las Pruebas

UNA VEZ REALIZANDO TODAS ESTAS CONFIGURACIONES, SE PUEDE DAR INICIO A LAS PRUEBAS.

	COMPAÑÍA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI		VICEPRESIDENCIA DE PROCESOS		
	Pruebas estáticas en motores				
IDENTIFICACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	VERSIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLES	PAGINA
	Mayo 2016	V-01	Mayo 2017	Generado :R.Monardes Revisado :M.Oyarce Aprobado :	1 de 16

Analizador estático de motores AWA IV – 12 kV (Advance Winding Analyzer).



- 1- Antecedentes Generales
- 2- Consideraciones de Seguridad
- 3- Consideraciones previas a la intervención
- 4- Equipos y Herramientas
- 5- Repuestos y Materiales
- 6- Actividades a Realizar
- 7- Actividades final de entrega
- 8- Anexo

	COMPAÑÍA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI	VICEPRESIDENCIA DE PROCESOS			
Pruebas estáticas en motores					
IDENTIFICACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	VERSIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLES	PAGINA
	Mayo 2016	V-01	Mayo 2017	Generado :R.Monardes Revisado :M.Oyarce Aprobado :	2 de 16

1. Antecedentes Generales

Personal requerido	1	Especialidad	Eléctrica
Duración actividad		Std Job N°	
Condición equipo	Detenido	Frecuencia	media

2. Condiciones de seguridad

2.1. Matriz de evaluación y gestión de Riesgos

Actividad está en Matriz	SI	NO
	X	

Si es NO se debe agregar en Matriz previa a la ejecución de los trabajos.

2.2. EPF asociado a la actividad

EPF1	EPF2	EPF3	EPF4	EPF5	EPF6	EPF7	EPF8
x			X	X			

2.3. Riesgo a personas.

Riesgo a personas	 ¡PELIGRO! CAIDAS AL MISMO NIVEL	 RIESGO DE QUEMADURA	 RIESGO ELÉCTRICO		
	Caída mismo nivel	Quemaduras	Equipo eléctrico energizado		

2.4. Medidas de Control (Matriz de evaluación y control de riesgo)

Acciones de control existentes	Acciones de Control a Implementar	Nivel Riesgo
ART, Instructivo de trabajo	Revisión y validación de instructivo de trabajo.	○

		COMPAÑIA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI		VICEPRESIDENCIA DE PROCESOS	
Pruebas estáticas en motores					
IDENTIFICACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	VERSIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLES	PAGINA
	Mayo 2016	V-01	Mayo 2017	Generado :R.Monardes Revisado :M.Oyarce Aprobado :	3 de 16

2.5. Elementos de Protección Personal

EPP							
	ES OBLIGATORIO EL USO DE CASCO	ES OBLIGATORIO EL USO DE GAFAS	ES OBLIGATORIO EL USO DE PROTECCION AUDITIVA	ES OBLIGATORIO EL USO DE LOS QUANTES	ES OBLIGATORIO EL USO DE CALZADO DE SEGURIDAD	USO OBLIGATORIO DE PROTECCION FACIAL	
	Casco	Lentes seguridad	Protector auditivo	Guantes dieléctricos	Zapatos seguridad dieléctricos	Careta Facial	

3. Consideraciones previas a la intervención

- 3.1. Verificar estado del equipo de medición y sus componentes.
- 3.2. Realizar chequeos del equipo, materiales y herramientas con al menos 24 horas de anticipación.
- 3.3. Contar con radio handie para facilitar las comunicaciones y coordinaciones.
- 3.4. Diagrama de bloqueo según EPF N°5.

4. Equipos y Herramientas

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Analizador estático de motores Awa 12	1	
2	Combinación teclado/mouse	3	
3	Cable de poder	3	
4	Alicate	1	
5	Destornilladores	1	
6	Multímetro	1	
7	Careta facial	1	
8	Guantes dieléctricos	1	

5. Repuestos y Materiales

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Código Ellipse

		COMPAÑÍA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI		VICEPRESIDENCIA DE PROCESOS	
Pruebas estáticas en motores					
IDENTIFICACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	VERSIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLES	PAGINA
	Mayo 2016	V-01	Mayo 2017	Generado :R.Monardes Revisado :M.Oyarce Aprobado :	4 de 16

6. Actividades a Realizar

6.1 Coordinación previa a la conexión del equipo de medición e inicio de las pruebas.

Nº	Actividad
1	Realizar las coordinaciones necesarias con operaciones para la detención del motor a intervenir.
2	Realizar con el operador de la sala de control la coordinación de detención del motor.
3	El operador debe dar aviso cuando realice la apertura y/o cierre de los mecanismos de accionamiento del motor solicitado.
4	El operador debe cerciorarse que el personal eléctrico ha recibido la información de la detención del motor.
5	El eléctrico de turno debe realizar desenergización del motor y su respectivo bloqueo.
6	Verificar prueba de potencia cero.

	COMPAÑÍA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI		VICEPRESIDENCIA DE PROCESOS		
	Pruebas estáticas en motores				
IDENTIFICACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	VERSIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLES	PAGINA
	Mayo 2016	V-01	Mayo 2017	Generado :R.Monardes Revisado :M.Oyarce Aprobado :	5 de 16

6.2 Administración de base de datos, ingreso de motor, mediciones y generación de informes.

Nº	Actividad
1	Conexión del equipo de medición
1.1	Verificada la prueba de potencial cero, conectar las pinzas del AWA a las tres fases del motor y la restante a tierra.
1.2	Luego pasar a la utilización del software para cumplir con los condiciones que permitan realizar las mediciones de forma óptima.
2	Crear/ Abrir una base de datos
2.1	Abrir la aplicación desde el escritorio o mediante la función de Inicio.
2.2	Para crear una nueva base de datos, seleccionar la alternativa " Crear una nueva base de datos (Create a new database) ". Luego hacer clic en " Ok ". Un cuadro de diálogo se abrirá. Se debe ingresar el nombre de la nueva base de datos y haga clic en " Ok " o retornar.
2.3	Para abrir una base de datos existentes, se debe seleccionar la base de datos de interés de la lista y hacer clic en " Ok ".
3	Crear/Ingresar un motor
3.1	Seleccione la pestaña " Data " (esta ficha se utiliza para almacenar la información de los motores y es en donde se crean todos los motores en el software).
3.2	Una vez creado el motor este aparecerá a la izquierda de la pantalla en el árbol de motores. En aquella lista se mostrará la lista completa de motores asociada a cada base de datos.
3.3	Para agregar un motor a una base de datos existentes o en una nueva base de datos, seleccionar " Add ".
3.4	Escriba en Motor ID , Location , Building y los datos de placa . Agregue toda la información relacionada al motor.
3.5	Guarde (Save) la información del motor en la base de datos.
3.6	Aparecerá una ventana desplegable. Seleccione en la ventana desplegable el nombre de la prueba que corresponda. La identificación del Test contiene los parámetros de la prueba (pruebas a realizar, voltajes y criterios de pasa o no pasa).
3.7	Luego el motor ingresado aparecerá en el árbol de motores a la izquierda de la pantalla.
4	Crear un nuevo test ID
4.1	Seleccione " Test View " (en la pantalla test).
4.2	Marcar el recuadro Edit Test ID para modo edición.
4.3	Para efectos de reconfigurar o resetear una contraseña, al test ID se le puede asignar una contraseña de protección. Si la contraseña no ha sido configurada, haga clic en " cambiar contraseña (Change Password) ", escriba la contraseña y presione " Set Password ".
4.4	Presione el botón " Add ".
4.5	Seleccione Copy current test ID o Add blank test ID , ingrese el nombre del nuevo Test ID, e ingrese en el cuadro siguiente la clase del motor . Selecciones " Ok ".
4.6	Seleccione las pruebas que desea realizar por medio de los botones On/Off .
4.7	Para configurar la prueba de temperatura y resistencia, presione cualquiera de los botones Manual/High V .
4.8	Entrar en la pantalla de configuración par la prueba DC. Esto se puede hacer mediante la selección de cualquiera de las tensiones junto a la prueba DC.
4.9	Ingrese los parámetros basándose en las normas IEEE, EPRI, EASA, IEC o en los estándares de la compañía para seleccionar la clase del motor y el valor mínimo para la medición de Megohm.
4.10	Cuando la configuración haya sido realizada cierre la pantalla.
4.11	Si configuró la prueba de Escalón – desde la pantalla de las pruebas DC, hacer clic en el cuadro desplegable y seleccionar Hipot o Step Voltaje . La información será ingresada al

	COMPAÑÍA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI		VICEPRESIDENCIA DE PROCESOS		
	Pruebas estáticas en motores				
IDENTIFICACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	VERSIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLES	PAGINA
	Mayo 2016	V-01	Mayo 2017	Generado :R.Monardes Revisado :M.Oyarce Aprobado :	6 de 16

	asistente de configuración.
4.12	Establezca el valor deseado y haga clic en siguiente.
4.13	Para agregar o quitar pasos en pantalla, luego hacer clic en Finish para guardar la configuración. Cuando la configuración haya sido terminada y guardada, cierre la ventana.
4.14	Para la prueba de Impulso , debe asegurarse que esta fue activada. Seleccione el botón de voltaje para ingresar a la pantalla de configuración.
4.15	Ingrese los parámetros basados en IEEE, EPRI, EASA,IEC o en los estándares de la compañía para seleccionar la clase del motor. También ingrese las sugerencias de tolerancias y criterios de pasa o no pasa de la prueba.
4.16	Cierre la pantalla de configuración de la prueba de impulso.
4.17	Hacer clic en el botón Save en la pantalla principal de configuración.
4.18	Quitar la selección de Edit Test ID Check Box . El nuevo test ID será almacenado en el cuadro de despliegue test ID.
5	Procedimiento general de operación automático/manual/semiautomático
5.1	Una vez creado un nuevo motor ID y test ID, se podrá ejecutar una prueba completamente automática . Una prueba automática pondrá a prueba un motor en la siguiente secuencia: Temperatura, Resistencia, Megohm, IP/AD, DC Hipot/DC tensión de paso, Impulso. Al final de la secuencia, los datos de la prueba serán almacenados automáticamente en la base de datos.
5.2	Las pruebas también se pueden realizar desde la pantalla mediante un proceso llamado pruebas manuales .
5.3	Adicionalmente, la prueba se puede ejecutar manualmente utilizando los controles del panel frontal del equipo.
5.4	Una prueba semiautomática se puede ejecutar presionando los botones de prueba en la pantalla.
6	Prueba semiautomática
6.1	Para iniciar una prueba semiautomática, asegúrese que el motor fue seleccionado desde la pestaña Explore .
6.2	A continuación, presione la pestaña Test para ingresar a la pantalla principal de pruebas.
6.3	Para el inicio de la prueba, presione el botón rojo Run Auto Test y luego seguir las instrucciones.
6.4	Aparecerá el mensaje de seguridad del encendido (Safe To Turn On) si se ha seleccionado un alto voltaje (esto indicará al usuario que compruebe que el conjunto de cables se encuentren correctamente conectados. Si activa la prueba de resistencia y no se detecta el bajo voltaje (Low V) este diálogo es mostrado al operador indicando una alta tensión en las fases. Si el bajo voltaje es detectado el cuadro de diálogo solicitará que se asocie un bajo voltaje a las fases).
7	Secuencia de la prueba
7.1	La secuencia de pruebas se ejecuta automáticamente.
7.2	Temperatura: Introduzca la temperatura del motor y haga clic en el botón "Aceptar" para reconocer la temperatura ingresada e indicar proceder con la próxima prueba. Automáticamente el AWA procederá con el resto de las pruebas.
7.3	Resistencia: Si las medidas efectuadas pasan los requerimientos de la prueba, el diálogo de Temperatura/Resistencia se cerrará. Si existe baja tensión en las fases, aparecerá un diálogo, dando instrucciones al operador para cambiar a alta tensión.
7.4	Megohm: Esta prueba se iniciará por medio de rampas de voltaje en las fases hasta llegar a la tensión de programada. Este voltaje se mantendrá por 60 segundos durante el cual el analizador observa por condiciones de Sobrecorriente y micro arcos o por valores de resistencia de aislamiento menor al mínimo seteado. Si una falla es encontrada, todas las pruebas se detienen; las fases son descargadas a tierra. El operador tendrá la posibilidad de repetir la prueba, detener todas las pruebas o continuar con la prueba siguiente.
7.5	PI/DA: Si en el test ID se configuró la prueba de absorción dieléctrica (DA), la duración

	COMPAÑÍA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI		VICEPRESIDENCIA DE PROCESOS		
	Pruebas estáticas en motores				
IDENTIFICACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	VERSIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLES	PAGINA
	Mayo 2016	V-01	Mayo 2017	Generado :R.Monardes Revisado :M.Oyarce Aprobado :	7 de 16

	de esta prueba es de 3 minutos. La prueba de índice de polarización (PI) tiene una duración de 10 minutos. Al final de la prueba PI/DA si no ocurren fallas, la pantalla de la prueba se cerrará.
7.6	HiPot DC/Voltaje de Paso: La prueba comienza automáticamente. El voltaje aumenta en rampa hasta llegar al valor de prueba. Si el analizador detecta una baja medida de Megohm o una condición de Sobrecorriente, la prueba se detendrá automáticamente. El operador tendrá la posibilidad de repetir la prueba, detener todas las pruebas o continuar con la prueba siguiente. Si no se encontraron fallas durante la actual prueba, el analizador continuará con la siguiente.
7.7	Impulso (Surge): La prueba comienza automáticamente. La pantalla de esta prueba mostrará el lento incremento de voltaje en la fase 1 hasta el voltaje especificado en la configuración de la prueba. Si no existen fallas Pulso a Pulso EAR (P-P EAR), entonces las fases 2 y 3 serán testeadas. Si la prueba no arroja fallas, los datos de todas las pruebas serán guardados en la base de datos y la pantalla principal de pruebas reaparecerá.
8	Revisión de los datos y resultados de las pruebas
8.1	Una vez que los resultados fueron guardados en la base de datos, estos pueden ser revisados seleccionando la pestaña "Data". El resumen de los resultados (Results Summary) muestra una ventana con la hora y fecha, y una presentación de los resultados tipo hoja de cálculo.
8.2	El estilo de la vista de los resultados, tipo hoja de cálculo, muestra los datos reales adquiridos de la prueba. La fecha de la prueba y la hora se muestra en la parte superior de la ventana y los resultados específicos de medición se muestran en cada columna.
8.3	La prueba PI puede ser revisada seleccionando la pestaña PI. Esta vista mostrará la gráfica de PI/DA junto con una tabla de corrientes y lecturas megohm adquiridos en momentos específicos. La tensión PI, la relación DA y la relación PI se muestran al lado derecho de la pantalla.
8.4	Los datos de la prueba de impulso se pueden revisar seleccionando la pestaña Surge .
9	Impresión de informes
9.1	Los informes contienen pruebas, datos de placa y datos de la aplicación que pueden ser enviados a una impresora o "imprimir" a un archivo tipo RTF.
9.2	Hay tres formas de iniciar el generador de informes.
9.3	La primera de ellas es hacer clic en "File" y luego seleccionar "Imprimir".
9.4	La segunda es manteniendo presionada la tecla "Ctrl" y luego presionar "P".
9.5	La tercera es presionando el ícono de la impresora a la izquierda superior de la pantalla principal.
9.6	Luego al revisar la sección de Filtro del generador de informes, se puede visualizar que contiene filtro de pruebas al imprimir.
9.7	Seleccione Actual Motor/Resultado de Pruebas, o use cualquier combinación con otros filtros, tales como, un rango de fechas y todos los motores que presentaron fallas en cualquier rango de prueba.
9.8	Dirigiéndose a la sección inferior o selección de informes, se ofrecerá una lista de posibles reportes.
9.9	Para imprimir un informe de forma sencilla donde se encuentren los resultados de la prueba recién ejecutada, se debe verificar que estos resultados aparecerán a la derecha de la casilla de verificación titulada Actual Motor/Resultados de la prueba (Current Motor/Test Results).
9.10	Haga clic en el recuadro y seleccione el informe (s) que será (n) impreso (s).
9.11	En caso de ser necesario imprimir varios datos de diferentes pruebas, utilice los mecanismos de filtro para ordenar los datos de manera eficiente. El generador de informes va a adquirir registros que coincidan con los criterios seleccionados. Los tópicos que se utilizan para filtrar los datos son el área de ubicación del motor, rango de fechas o el criterio pasa/falla. Diferentes combinaciones de estas opciones pueden ser utilizadas.

	COMPAÑÍA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI		VICEPRESIDENCIA DE PROCESOS		
	Pruebas estáticas en motores				
IDENTIFICACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	VERSIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLES	PAGINA
	Mayo 2016	V-01	Mayo 2017	Generado :R.Monardes Revisado :M.Oyarce Aprobado :	8 de 16

9.12	Una vez que se ha determinado cuáles son los resultados de prueba a seleccionar, elija la de la lista de informes a imprimir. Datos de placa, aplicación, resumen, Impulso, PI/DA o DC HiPot/Voltaje de paso, pueden ser elegidos.
11	Transferencia de datos
11.1	La data transfer le permitirá la transferencia de la prueba de un motor y de información de una base de datos (fuente) a una segunda base de datos (destino). La herramienta puede ser utilizada para combinar dos bases de datos existentes en una base de datos centralizada.
11.2	Con el fin de transferir la información del motor, resultados de la prueba y los Test ID, tanto la base de datos de origen y la base de datos de destino deben estar abiertas. Ambas bases de datos deben de existir antes de la transferencia de datos.
11.3	Para crear una nueva base de datos, seleccione la opción del menú "File New" o haga clic en el botón "New" en la barra de herramientas.
11.4	Existen dos formas de iniciar el Data transfer. Seleccionando el botón "Database-DataTransfer" desde el menú del software AWA o haga clic en el botón Data Transfer en la barra de herramientas.
11.5	Se abrirá una ventana para seleccionar la base de datos (Select Source), por defecto se abrirá en la carpeta donde residen las bases de dato.
11.6	Una vez que la base de datos de origen se ha elegido, haga clic en el botón "Open". Aparecerá la ventana con la base de datos de origen abierta al lado izquierdo de la pantalla. Ésta tendrá la conocida estructura tipo árbol. Luego se abre la segunda base de datos.
11.7	En la base de datos de destino haga clic en el botón "Browse", se abrirá un cuadro de diálogo para destinar el archivo. A la vez se pondrá por defecto en la misma carpeta que se utilizó para abrir para abrir la base de datos de origen.
11.8	Elija una base de datos de destino para abrir y pulse el botón "Abrir". En caso de que la base de datos elegida no sea la correcta, haga clic en el botón "Browse" para seleccionar la base de datos deseada.
11.9	Cuando la base de datos de fuente y el destino estén abiertas, se debe activar el botón Agregar o Agregar todo "Add-Add All" (este botón agrega todos los motores almacenados en la base de datos de fuente a la lista de transferencia). Selecciona uno de los motores de la base de datos para agregar a la lista de transferencia y oprima el botón de transferencia "Transfer".
11.10	Con el fin de añadir motores a la lista de transferencias, destaque cualquier motor y presione "Add" o haga doble clic en un motor a añadir.
11.11	En caso de que existan motores en la lista de la transferencia que no necesita, seleccione el motor en la lista de la transferencia y pulse el botón "Remove"
11.12	Una vez concluida la lista, pulse el botón "Transfer".
12	Retiro del equipo de medición
12.1	Una vez concluidas las pruebas, guardando los resultados obtenidos y generando el informe, proceder a la desconexión del equipo de medición.
12.2	Retirar las pinzas de las tres fases del motor y la restante que se había conectado a tierra.

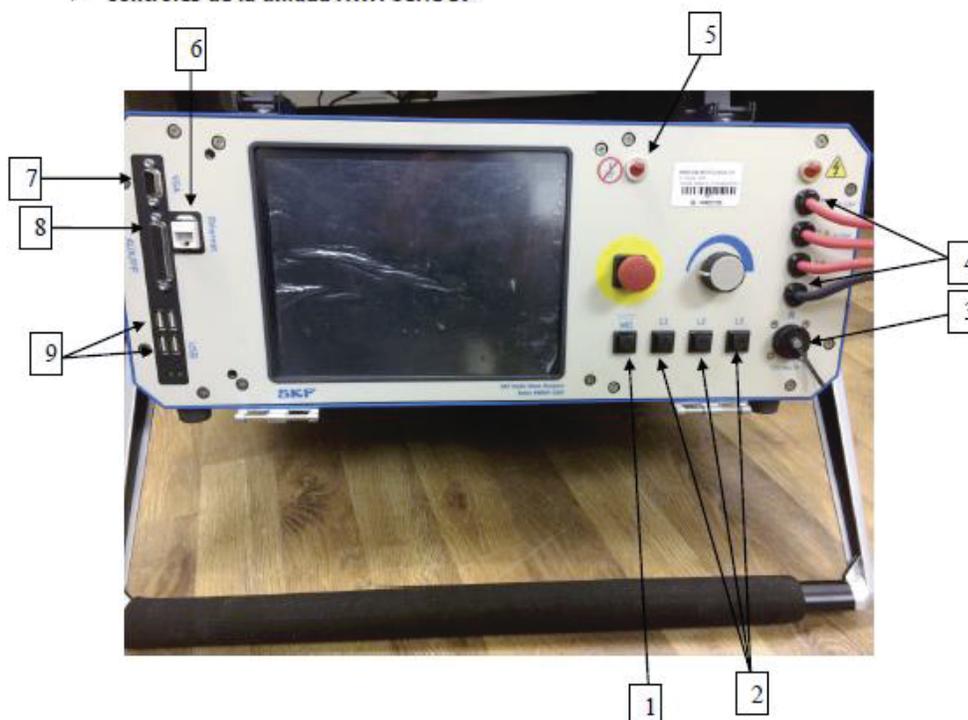
7. Actividad final de entrega.

N°	Actividad
6	Realizado el retiro del equipo, el eléctrico a cargo debe realizar el desbloqueo del motor y la energización del mismo.
7	Solicitar al operador de la sala de control la puesta en servicio del motor
8	Entregar el equipo a operaciones

		COMPAÑÍA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI		VICEPRESIDENCIA DE PROCESOS	
Pruebas estáticas en motores					
IDENTIFICACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	VERSIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLES	PAGINA
	Mayo 2016	V-01	Mayo 2017	Generado :R.Monardes Revisado :M.Oyarce Aprobado :	9 de 16

8. Anexos

> Controles de la unidad AWA Serie IV



Descripción:

1. Botón de Hi-Pot.
2. Botones de cables 1-3.
3. Conector de cables para resistencia
4. Cables de pruebas 1-3 y tierra.
5. Luz de tierra abierta.
6. Ethernet (protocolo para redes de área local).
7. VGA (Adaptador gráfico de video).
8. Aux/PP30 (Puerto Auxiliar / Puerto Paralelo 30).
9. Puertos USB (Bus Serial Universal).

	COMPAÑÍA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI		VICEPRESIDENCIA DE PROCESOS		
	Pruebas estáticas en motores				
IDENTIFICACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	VERSIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLES	PAGINA
	Mayo 2016	V-01	Mayo 2017	Generado :R.Monardes Revisado :M.Oyarce Aprobado :	10 de 16

➤ **Precauciones de seguridad**

- NO toque las puntas de prueba, bobinado o componente bajo prueba mientras se está corriendo una prueba. **Puede resultar en un severo shock eléctrico.**
- **Nunca** intente una operación bipartita. Siempre debe saber que prueba se está realizando y **cuando**.
- Nunca intente hacer una prueba en un motor energizado.
- Asegúrese que el instrumento para la prueba de impulsos tenga conexión tierra. Use una fuente aterrizada de tres cables (o un cable extra de tierra si no está seguro de la fuente aterrizada).
- Para motores de arranque con condensador o sistemas con supresor de Peaks/factor de potencia capacitivo; asegúrese de desconectar todos los condensadores del circuito de prueba antes de proceder con cualquier prueba.
- La prueba de impulsos **no está aprobada** para uso en ambientes explosivos.
- Después de cumplir una prueba de alto potencial DC, haga un corto del bobinado, motor, etc. A tierra y permita el tiempo para su descarga antes de desconectar las puntas de prueba.
 - **Asegúrese** que las puntas de prueba estén desconectadas antes de que el motor sea energizado o encendido.
 - **No opere** en un ambiente explosivo.
 - **No remueva** los paneles o tapas del equipo u opere el probador sin las tapas o paneles apropiadamente instalados.

Advertencia: La operación del probador por personas quienes usen marcapasos puede correr inusuales riesgos de seguridad. ¡Tales personas deberían tomar especiales precauciones!

- Respecto a la tierra, este producto está conectado a tierra por medio del conductor de tierra de cable de poder. Para evitar shock eléctrico, conecte el cable de poder en un tomacorriente correctamente cableado antes de conectar los cables de prueba de este equipo.
 - **Peligro por pérdida de conexión de tierra - ¡Bajo una pérdida de protección de la conexión a tierra, todas las partes conductivas accesibles, incluyendo perillas y controles que pueden parecer estar aislados, pueden provocar un shock eléctrico!**

➤ **Aplicación Transferir**

La aplicación de transferir datos se ejecuta a través de la lista de transferencias, al añadir un motor (Datos de Placa), los registros de prueba (por hora/estampa de datos) a la base de datos de destino, si los datos de placa no existen. Si la información de placa no existe en la base de datos de destino, no se añade información a menos que el "selector" de datos de placa siempre se encuentre seleccionado.

Un registro de Data Transfer se crea durante el proceso de transferencia. El registro de la transferencia de datos contiene los nombres de la base de datos fuente/destino, Motor ID añadido, y el número de registros actualizados. Si la transferencia encuentra algún problema, también registra la identificación del motor y la razón de la falla. Este registro se puede imprimir pulsando el botón de impresión del registro (**Print Log**).

	COMPAÑÍA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI		VICEPRESIDENCIA DE PROCESOS		
	Pruebas estáticas en motores				
IDENTIFICACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	VERSIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLES	PAGINA
	Mayo 2016	V-01	Mayo 2017	Generado :R.Monardes Revisado :M.Oyarce Aprobado :	11 de 16

➤ **Revisión de los cables de prueba**

Antes de usar el instrumento o por lo menos una vez al mes, los cables de prueba deben ser inspeccionados para comprobar la ausencia de daños en la sección. Si el probador tiene una línea rota, el instrumento no funcionará correctamente y entregará resultados erróneos.

Las primeras 6 pulgadas de cable desde el probador y entre 12-18 pulgadas desde los clips, son los lugares típicos donde se rompen los cables.

Hay dos métodos para comprobar si las fases están rotas: un control manual y una prueba de trip de sobrecorriente.

➤ **Prueba manual de cables rotos**

- 1) Revise el cable de cualquier corte o deterioro en la aislación.
- 2) Tomar el clip en una mano y el agarre del cable en la otra mano, aproximadamente 12-18 pulgadas desde el clip.
- 3) Tire constantemente el cable. Si la aislación se estira, entonces el cable está roto. Si no tiene ningún tipo de estiramiento, entonces el cable se encuentra en buen estado.
- 4) Sujete el cable desde aproximadamente 6 pulgadas de la salida de los cables del equipo.
- 5) Nuevamente intente estirar el cable, si logra hacerlo, el cable se encuentra roto. De lo contrario, el conductor se encuentra en buen estado.

➤ **Prueba de disparo por Sobrecorriente**

El cable negro de tierra a menudo se puede romper. Esta es una prueba sencilla para verificar la integridad del cable de conexión a tierra.

- 1) Conecte todas las líneas juntas (clip a clip, las tres de color rojo y la negra).
- 2) Coloque el probador en modo Megohm o DC HiPot, e inicie la prueba.
- 3) Si el probador inmediatamente muestra un Trip de Sobrecorriente, el cable negro de prueba se encuentra en buen estado. Si el probador continúa incrementando la tensión de ensayo, entonces el cable negro de prueba se encuentra averiado.

➤ **Prueba en circuito abierto para verificar el funcionamiento del probador**

Mientras se realizan pruebas periódicas con el equipo, existen algunas instancias en que el equipo tripea en la prueba inicial. Cuando esto ocurre, generalmente el operador se pregunta si el motor está realmente malo o si está funcionando correctamente. Hay una prueba sencilla para verificar el funcionamiento probador. Esta se llama prueba de circuito abierto.

- 1) Desconecte todas las líneas de prueba del motor a verificar.
- 2) Coloque todas las puntas de prueba en algún lugar, como en el suelo, sobre los bordes de un contenedor plástico, etc. Es importante que los clips de la prueba no se toquen.
- 3) Coloque el cable negro alejado de los cables rojos.
- 4) Inicie la prueba en modo Megohm o DC HiPot.
- 5) Si el equipo está funcionando correctamente, llegará a la tensión de prueba con un mínimo de corriente de fuga y en ningún caso existirá un trip por Sobrecorriente. Si el equipo no está funcionando correctamente, se activará de inmediato un trip por Sobrecorriente, como cuando estaba conectado al motor.
- 6) Si el AWA está funcionando bien, vuelva a conectar el motor presumiblemente malo e intente realizar nuevamente las pruebas. Si no funciona correctamente, póngase en contacto con el servicio de asistencia del producto.

	COMPAÑIA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI		VICEPRESIDENCIA DE PROCESOS		
	Pruebas estáticas en motores				
IDENTIFICACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	VERSIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLES	PAGINA
	Mayo 2016	V-01	Mayo 2017	Generado :R.Monardes Revisado :M.Oyarce Aprobado :	12 de 16

➤ Item de pruebas a realizar en motores

	Compañía Minera Doña Inés De Collahuasi		Vicepresidencia de Procesos													
	Protocolo de Pruebas Estáticas en motores															
Técnico a cargo de la prueba: _____ Área: _____ Equipo de medición: _____																
Tag del equipo: _____ Frame: _____ N° de serie: _____ Tensión: _____ Marca: _____ Conexión: _____																
Temperatura ambiente: _____ Humedad: _____																
NOTAS: SE RECOMIENDA REALIZAR LAS 5 PRUEBAS DE FORMA SECUENCIAL EN LA SECCIÓN ANEXOS PRUEBAS SE ENCUENTRAN LOS CRITERIOS Y NORMAS A TENER EN CUENTA.																
Prueba 1: Resistencia balanceada (Método Kelvin)																
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 40%; text-align: center;"> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Entre Fases</th> </tr> <tr> <th>Devanado</th> <th>(Ω)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R - S</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S - T</td> <td></td> </tr> <tr> <td>T - R</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> </td> <td style="width: 60%;"> Forma de cálculo: <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $\% \text{ Desbalance} = \frac{\text{Máxima desviación del promedio } L-L, \Omega}{\text{Promedio } \Omega}$ </div> % Desbalance: _____ Comentarios/Conclusiones: _____ _____ _____ </td> </tr> </table>					<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Entre Fases</th> </tr> <tr> <th>Devanado</th> <th>(Ω)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R - S</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S - T</td> <td></td> </tr> <tr> <td>T - R</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Entre Fases		Devanado	(Ω)	R - S		S - T		T - R		Forma de cálculo: <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $\% \text{ Desbalance} = \frac{\text{Máxima desviación del promedio } L-L, \Omega}{\text{Promedio } \Omega}$ </div> % Desbalance: _____ Comentarios/Conclusiones: _____ _____ _____
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Entre Fases</th> </tr> <tr> <th>Devanado</th> <th>(Ω)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R - S</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S - T</td> <td></td> </tr> <tr> <td>T - R</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Entre Fases		Devanado	(Ω)	R - S		S - T		T - R		Forma de cálculo: <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $\% \text{ Desbalance} = \frac{\text{Máxima desviación del promedio } L-L, \Omega}{\text{Promedio } \Omega}$ </div> % Desbalance: _____ Comentarios/Conclusiones: _____ _____ _____					
Entre Fases																
Devanado	(Ω)															
R - S																
S - T																
T - R																
Prueba 2: Aislamiento del motor (MEGOHM)																
Forma de cálculo: <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $R \text{ Aisl} = R \text{ Aisl. medida} \times 0,5 \frac{\Delta \text{temp} - 40}{10}$ </div> R Aisl: _____ Comentarios/Conclusiones: _____ _____ _____																

	COMPAÑÍA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI	VICEPRESIDENCIA DE PROCESOS			
	Pruebas estáticas en motores				
IDENTIFICACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	VERSIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLES	PAGINA
	Mayo 2016	V-01	Mayo 2017	Generado :R.Monardes Revisado :M.Oyarce Aprobado :	13 de 16

Prueba 3: Índice de polarización – Absorción dieléctrica

Índice de polarización			Absorción dieléctrica																																																											
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>Tiempo (min)</th> <th>Valor</th> <th>Unidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,5</td><td></td><td>GΩ</td></tr> <tr><td>1,0</td><td></td><td>GΩ</td></tr> <tr><td>2,0</td><td></td><td>GΩ</td></tr> <tr><td>3,0</td><td></td><td>GΩ</td></tr> <tr><td>4,0</td><td></td><td>GΩ</td></tr> <tr><td>5,0</td><td></td><td>GΩ</td></tr> <tr><td>6,0</td><td></td><td>GΩ</td></tr> <tr><td>7,0</td><td></td><td>GΩ</td></tr> <tr><td>8,0</td><td></td><td>GΩ</td></tr> <tr><td>9,0</td><td></td><td>GΩ</td></tr> <tr><td>10,0</td><td></td><td>GΩ</td></tr> </tbody> </table>	Tiempo (min)	Valor	Unidad	0,5		GΩ	1,0		GΩ	2,0		GΩ	3,0		GΩ	4,0		GΩ	5,0		GΩ	6,0		GΩ	7,0		GΩ	8,0		GΩ	9,0		GΩ	10,0		GΩ			<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>Tiempo (min)</th> <th>Valor</th> <th>Unidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,5</td><td></td><td>GΩ</td></tr> <tr><td>1,0</td><td></td><td>GΩ</td></tr> <tr><td>1,5</td><td></td><td>GΩ</td></tr> <tr><td>2,0</td><td></td><td>GΩ</td></tr> <tr><td>2,5</td><td></td><td>GΩ</td></tr> <tr><td>3,0</td><td></td><td>GΩ</td></tr> </tbody> </table>	Tiempo (min)	Valor	Unidad	0,5		GΩ	1,0		GΩ	1,5		GΩ	2,0		GΩ	2,5		GΩ	3,0		GΩ		
Tiempo (min)	Valor	Unidad																																																												
0,5		GΩ																																																												
1,0		GΩ																																																												
2,0		GΩ																																																												
3,0		GΩ																																																												
4,0		GΩ																																																												
5,0		GΩ																																																												
6,0		GΩ																																																												
7,0		GΩ																																																												
8,0		GΩ																																																												
9,0		GΩ																																																												
10,0		GΩ																																																												
Tiempo (min)	Valor	Unidad																																																												
0,5		GΩ																																																												
1,0		GΩ																																																												
1,5		GΩ																																																												
2,0		GΩ																																																												
2,5		GΩ																																																												
3,0		GΩ																																																												
Forma de cálculo: $PI = \frac{IR (10min)}{IR (1 min)}$			Forma de cálculo: $DA = \frac{IR (3min)}{IR (0,5 min)}$																																																											
Comentarios/Conclusiones: _____			Comentarios/Conclusiones: _____																																																											

Prueba 4: HiPot (Step voltaje, Rampa, HiPot)

Tipo de tensión	_____
Nivel de tensión	_____
Tiempo aplicado	_____
Comentarios/Conclusiones:	_____

Prueba 5: Impulso (Surge)

Nivel de tensión	_____
Comentarios/Conclusiones:	_____

	COMPAÑIA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI	VICEPRESIDENCIA DE PROCESOS			
Pruebas estáticas en motores					
IDENTIFICACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	VERSIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLES	PAGINA
	Mayo 2016	V-01	Mayo 2017	Generado :R.Monardes Revisado :M.Oyarce Aprobado :	14 de 16

	Compañía Minera Doña Inés De Collahuasi	Vicepresidencia de Procesos												
Anexos Pruebas														
Ambiente de operación														
<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas: El probador debería ser utilizado únicamente entre los -17.8 a 37.8 °C. • Humedad: La humedad relativa del ambiente de almacenamiento debería ser menor del 50%. • ESTE INSTRUMENTO NO ES A PRUEBA DE AGUA O SELLADO CONTRA LA ENTRADA DE AGUA. • ESTE INSTRUMENTO NO ESTA APROBADO PARA USO EN AMBIENTE EXPLOSIVO. 														
Prueba 1: Resistencia balanceada (Método Kelvin)														
<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas adicionales de HiPot o Surge no son necesarias hasta que las medidas de resistencias sean aceptables. • Criterio Pasa/No Pasa <ul style="list-style-type: none"> A. Alimentador: 2% desbalance máximo (motor con rotor devanado). B. Conductores del motor: 1% desbalance máximo (motor con rotor devanado). C. Alimentador: 3% desbalance máximo (motor con devanado aleatorio). D. Conductores del motor: 2% desbalance máximo (motor con devanado aleatorio). 														
Prueba 2: Aislamiento del motor (MEGOHM) (IEEE STD 43)														
<ul style="list-style-type: none"> • Si un bajo valor de megohm es medido, el motor debe ser inspeccionado por daños en el aislamiento con respecto a tierra. Ninguna prueba adicional es necesaria, hasta que la razón de la lectura baja de megohm sea encontrada y corregida. • Corrección de temperatura: Todas las mediciones de resistencia de aislamiento deben ser corregidas a 40°C al aplicar el potencial por un minuto. • Esta prueba no determina si el motor está totalmente en buenas condiciones o si existen fallas entre espiras. • Regla de oro: La resistencia disminuye la mitad por cada 10°C de aumento de la temperatura. • Criterio Pasa/No Pasa <ul style="list-style-type: none"> A. La siguiente tabla sugiere aplicar voltajes de CC para las pruebas megohm 														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>V Línea (CA)</th> <th>V Prueba (CC)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><1000</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>1000 - 2500</td> <td>500 - 1000</td> </tr> <tr> <td>2501 - 5000</td> <td>1000 - 2500</td> </tr> <tr> <td>5001 - 12000</td> <td>2500 - 5000</td> </tr> <tr> <td>>12000</td> <td>5000 - 10000</td> </tr> </tbody> </table>			V Línea (CA)	V Prueba (CC)	<1000	500	1000 - 2500	500 - 1000	2501 - 5000	1000 - 2500	5001 - 12000	2500 - 5000	>12000	5000 - 10000
V Línea (CA)	V Prueba (CC)													
<1000	500													
1000 - 2500	500 - 1000													
2501 - 5000	1000 - 2500													
5001 - 12000	2500 - 5000													
>12000	5000 - 10000													

	COMPAÑÍA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI		VICEPRESIDENCIA DE PROCESOS		
	Pruebas estáticas en motores				
IDENTIFICACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	VERSIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLES	PAGINA
	Mayo 2016	V-01	Mayo 2017	Generado :R.Monardes Revisado :M.Oyarce Aprobado :	15 de 16

B. La tabla a continuación proporciona los límites mínimos aceptables de resistencia de aislamiento del estator.

Resistencia mínima de	EQUIPO BAJO PRUEBA
$RA_{\text{isl } 1\text{min}} = KV -$	Para la mayoría de devanados realizados antes de 1970, todos los devanados de campo, y otros no descritos en esta tabla.
$RA_{\text{isl } 1\text{min}} = 100$	Para la mayoría de las armaduras CC y devanados CA construidos después de 1970 (bobinas preformadas)
$RA_{\text{isl } 1\text{min}} = 5$	Para la mayoría de las máquinas de bobinado aleatorio en el estator y bobinas preformadas con una calificación inferior a 1 KV.

Notas:

- $R_{\text{Aisl } 1\text{min}}$ es la resistencia de aislamiento mínima, en $M\Omega$, a 40°C del devanado completo de la máquina.
- KV es el nivel de tensión nominal de la máquina, en RMS KV.

Prueba 3: Índice de polarización (IP)/Absorción dieléctrica (DA) (IEEE STD 43)

- Prueba similar al Megohm
- La prueba IP se realiza en los motores de 100 HP o más. En el AWA, la alarma de IP mínimo debe ser fijado en 2,0 para la clase B, F y H de aislamiento y 11,5 para el aislamiento clase A.
- Si la resistencia obtenida es más de $5000 M\Omega$ en un minuto, entonces se debe realizar la prueba de absorción dieléctrica, que es similar a la IP pero con los valores tomados en 3 [sg] y 3 [min].
IP: Para motores mayores de 100 HP.
AD: Para motores entre 50 y 100 HP.
- Ninguna prueba adicional es necesaria, hasta que la razón de lectura de bajo IP sea encontrada y corregida.
- **Criterio Pasa/No Pasa**
 - A. $IP > 1$ Se deja en servicio (criterio de terreno).
 - B. IEEE exige IP 2 o superior
 - C. No hay estándar aceptado para DA.
 - D. Se entiende que el valor DA debe estar cercano a la relación $IP (> 2)$.

Prueba 4: HiPot (Step voltaje, Rampa, HiPot)

1. Voltaje en escalón (Step)
 - Voltaje de prueba = $2 \times V_n + 1000$ [V]
 - Para máquinas $U_n \geq 4000$ [V], se implementa en cinco saltos de 1000 [V] aplicados durante 1

	COMPAÑÍA MINERA DOÑA INES DE COLLAHUASI		VICEPRESIDENCIA DE PROCESOS		
	Pruebas estáticas en motores				
IDENTIFICACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	VERSIÓN	PRÓXIMA REVISIÓN	RESPONSABLES	PAGINA
	Mayo 2016	V-01	Mayo 2017	Generado :R.Monardes Revisado :M.Oyarce Aprobado :	16 de 16

minuto cada uno, en el nivel máximo de 5000 [V].

- Para máquinas con $1000 [V] \leq U_n < 4000 [V]$, se implementa en cinco saltos de 500 [V] aplicados durante 1 minuto cada uno, en el nivel máximo de 2500 [V].
- En todos los casos, los valores de RA que pertenecen a las características intermedias, se miden en intervalos de 15 [s], 30 [s] y 45 [s] y 45 [s], a partir de aplicado el salto de tensión correspondiente.
- Para máquinas con un $U_n < 1000 [V]$, no se implementa ensayo debido al esfuerzo excesivo al que estaría sometido.

2. HiPot Rampa

- Rampa extremadamente rápida, se mantiene el voltaje seteado por un minuto según normativa IEEE 95 y NEMA MG-1.
- Crea Condiciones de puesta en marcha similares a las que se somete a la máquina en terreno.
- Es la prueba DC más rápida.

HIPOT DC	Voltaje de Salida	0 – 12000 Voltios
	Máx. Corriente de salida	1000 μamp.
	Resolución de corriente	1/1/10/100 m amps por división

Prueba 5: Impulso (Surge)

- **Criterio :**
Esta prueba debe realizarse en motores que cumplan con los siguientes criterios:
 - A. Medición aceptable de resistencia de devanados.
 - B. Lecturas de aislamiento del bobinado del estator aceptable.
 - C. Datos aceptables en la medición y curva IP.
 - D. Prueba de tensión de paso aceptable.

Prueba de Impulso	Voltaje de Salida	0 – 12000 Voltios
	Máx. Corriente de salida	400 amp.
	Energía del Pulso	2.88 joules