



República de Cuba
Ministerio de la Educación Superior.

*Análisis de las fallas más frecuentes
en el sistema eléctrico de media y baja
tensión de la fábrica Ernesto Che Guevara.*

Autor: Luis Yulier Almira Montero.

*Tutoras: M. Sc. Tiana González Palau.
Ing. Juana Ivís Cala Álvarez.*

2009

“Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución.”

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Nosotros: **Diplomante:** Luis Yenier Almira Montero.
 Tutoras: M Sc. Iliana González Palau.
 Ing. Juana Ivis Cala Álvarez.

Autores de este trabajo de Diploma certificamos su propiedad intelectual a favor del **Instituto Superior Minero Metalúrgico Doctor Antonio Núñez Jiménez** el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Firma del Diplomante

Firma del Tutor

Agradecimientos.

Agradezco en primer lugar a La Revolución por haberme dado la oportunidad de cumplir mis sueños de formarme como profesional.

A mis padres por creer en mí y apoyarme siempre.

A mis tutoras que me proporcionaron el camino para el desarrollo de este trabajo.

A mi prima Nersy, y demás familiares por su ayuda incondicional.

A quien no podría dejar de mencionar, mi novia, quien supo darme todo el aliento, deseos y apoyo espiritual para poder seguir adelante...

A mis compañeros de universidad por los momentos que vivimos en el transcurso de nuestra formación.

Dedicatoria.

Dedico este trabajo a todas aquellas personas que contribuyeron en mi formación como ingeniero y que sienten amor y sentido de pertenencia por la rama de la electricidad y en especial a mis padres: Luis Manuel Almira y Bárbara Montero, a quienes les debo la vida.

Pensamiento.



“Debemos preocuparnos por prestar servicios con eficiencia y óptima calidad, y simultáneamente producir al nuevo hombre que construye y crea la nueva Sociedad Socialista, que es el hombre que produce, sirve, dirige, controla y supervisa. Hace falta tener control y supervisión para prestar servicios con eficiencia...”

Ernesto Che Guevara.

Resumen.

La necesidad de lograr una estabilidad en el sistema eléctrico motivó a la realización del análisis de las fallas eléctricas más frecuentes en el sistema eléctrico de media y baja tensión de la fábrica Ernesto Ché Guevara.

Este trabajo muestra el análisis de las fallas más frecuentes ocurridas en el sistema eléctrico (2006-2008) donde se reflejan sus debilidades mostrando los puntos más vulnerables a fallas, las de mayor frecuencia de aparición, las principales causas de aparición y los efectos que se generan a partir de ellas. Para dicho análisis se tiene en cuenta la cantidad de variables a analizar y el tipo para escoger el método estadístico más efectivo.

Se hace referencia a los métodos de diagnósticos y mantenimientos más eficaces que se implementan en el mundo con la finalidad de proponer los métodos más adecuados en aras de reducir la aparición de las fallas eléctricas en el sistema objeto de estudio.

Finalmente se hace una valoración económica respecto a las inversiones que se realizan en conceptos de reparación y mantenimiento a motores, tomando como referencia la cantidad de motores de la planta de lixiviación y sus características técnicas, como se manifiestan estas inversiones si al implementar los métodos propuestos se lograra reducir la aparición de las fallas en un 50 %, comparando los ahorros respecto a la inversiones realizadas por la fábrica en este concepto en el período de 2006-2008.

Summary.

The necessity to achieve a stability in the electric system motivated to the realization of the analysis of the most frequent electric flaws in the electric system of stocking and low tension of the factory Ernesto Ché Guevara.

This work shows the analysis of the most frequent flaws happened in the electric system (2006-2008) where they are reflected its weaknesses showing the most vulnerable points to flaws, those of more appearance frequency, the main appearance causes and the effects that are generated starting from them. For this analysis one keeps in mind the quantity of variables to analyze and the type to choose the most effective statistical method.

Reference is made to the methods of diagnoses and more effective maintenances that are implemented in the world with the purpose of proposing the most appropriate methods for the sake of reducing the appearance of the electric flaws in the system study object.

Finally an economic valuation is made regarding the investments that are carried out in repair concepts and maintenance to motors, taking like reference the quantity of motors of the lixiviación plant and its technical characteristics, like these investments are manifested if when implementing the proposed methods it was possible to reduce the appearance of the flaws in 50%, comparing the savings regarding the investments carried out by the factory in this concept in the period of 2006-2008.

INTRODUCCIÓN GENERAL.

La electricidad es innegablemente un factor que contribuye al desarrollo de la nación y un elemento facilitador de la vida de las personas, pero al mismo tiempo, puede ser causa de accidentes e incluso de muerte si no se respetan los procedimientos para su manejo eficiente.

En las redes eléctricas pueden ocurrir perturbaciones cuyas características corresponden a las anomalías de breve duración que no constituyen riesgos para la operación de una instalación eléctrica, tal es el caso de las variaciones momentáneas de voltaje o frecuencia, o las sobrecargas de corriente de corta duración, que si bien pueden tener un efecto pasajero en la instalación y los artefactos conectados a ella, una vez que la perturbación cesa todo vuelve a la normalidad.

Las fallas son anomalías en las cuales se pone en peligro la integridad de la instalación eléctrica. Entre los tipos de fallas más comunes se pueden mencionar las sobrecargas permanentes, los cortocircuitos, las fallas de aislamiento, el corte de conductores, etc.

Las redes eléctricas de la Empresa niquelífera Ernesto Che Guevara juegan un papel primordial para dar cumplimiento a los indicadores técnicos productivos, por lo que las interrupciones por fallas eléctricas traen consigo pérdidas excesivas que afectan directamente la rentabilidad de las producciones industriales en conceptos monetarios y en muchas ocasiones provocan accidentes fatales tentado contra la vida humana al no concretarse las condiciones necesarias para la manipulación de los equipamientos por el usuario, por tanto es necesario llevar a cabo investigaciones que faciliten la disminución de las mismas con el propósito de aminorar el costo de las afectaciones que estas producen y proporcionar una mayor confiabilidad del sistema.

Índice.

<i>DECLARACIÓN DE AUTORIDAD</i>	I
Agradecimientos.	II
Dedicatoria.....	III
Pensamiento.....	IV
Resumen.....	V
Summary.....	VI
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	VII
Índice.....	VIII
CAPÍTULO I Introducción.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Metodología de la investigación.....	2
1.2.1 Problema.....	2
1.2.2 Objetivo General.....	2
1.2.3 Objetivos específicos.....	2
1.2.4 Resultados esperados.....	2
1.2.5 Hipótesis.....	3
1.2.6 Tareas.....	3
1.3 Métodos a emplear en el desarrollo de la investigación.....	3
1.4 Análisis bibliográfico.....	5
1.5 Nuevas técnicas implementadas en el mundo actual.....	7
1.6 Alcance de los nuevos métodos de Diagnósticos y Mantenimientos implementados en el mundo.....	7
1.7 Necesidad del estudio de las fallas eléctricas en la industria.....	8
1.8 Breve descripción del objeto en estudio.....	8
1.8.1 Breve descripción de las plantas más importantes de la empresa y selección de sus principales cargas.....	13
1.8.2 Sistemas de protecciones.....	16
1.9 Diseño de la investigación.....	17
1.10 Introducción al estudio de fallas en motores.....	19
1.10.1 Generalidades.....	19
1.10.2 Fallas eléctricas en los Motores.....	19
1.11 Métodos utilizados en la fábrica para la realización de diagnósticos y mantenimientos.....	20
Conclusiones.....	22
CAPÍTULO II Métodos y fundamentos teóricos.....	23
2.1 Introducción.....	23
2.2 Método de procesamiento de datos.....	24
2.3 Complemento para el estudio.....	25
2.4 Fundamento teórico.....	25

2.4.1 Clasificación de las fallas eléctricas.	26
2.4.2 Fallas en los Motores eléctricos.	27
2.4.4 Ventajas del análisis termográfico.	40
2.4.5 Inspección a Instalaciones Eléctricas.	40
2.4.6 Mantenimientos oportunos.	41
2.4.7 Mejoras significativas en los costos del mantenimiento y disponibilidad de los equipos.	41
2.5 Propuestas a implementar.	42
2.6 Valoración del alcance del proyecto de implementación de los métodos propuestos.	42
2.6.1 Dimensión Económica.	42
2.6.2 Dimensión Socio-Cultural.	43
2.6.3 Dimensión Tecnológica.	43
2.7 Complementación del estudio de la planta de Lixiviación.	43
2.8 Breve descripción del sistema eléctrico de Lixiviación.	44
2.8.1 Distribución de la energía eléctrica.	47
2.8.2 Bombas y Turboareadores.	49
2.8.3 Posibles defectos mecánicos en los motores de la planta.	51
2.9 Puntos vulnerables a fallas eléctricas.	51
Conclusiones.	53
CAPÍTULO III Análisis de los resultados.	54
3.1 Introducción.	54
3.2 Comportamiento de las fallas en el sistema eléctrico.	55
3.3 Causa generales de ocurrencia de fallas eléctricas en plantas de proceso.	63
3.4 Efectos que generan las fallas eléctricas.	67
3.5 Comportamiento de las fallas en el sistema eléctrico de Lixiviación.	68
3.5.1 Causas de las diferentes fallas.	70
3.6 Análisis de los resultados.	71
3.7 Valoración económica.	72
CONCLUSIONES.	76
Conclusiones Generales.	77
Recomendaciones.	80
Bibliografía.	81
ANEXOS.	A
Tabla 1 Fallas de motores de Secaderos.	A
Tabla 2 Fallas generales de Secaderos.	A
Tabla 3 Fallas de motores de Calcinación.	A
Tabla 4 Fallas generales de Calcinación.	B
Tabla 5 Fallas de motores de Lixiviación.	B
Tabla 6 Fallas generales de Lixiviación.	B
Tabla 7 Fallas de motores de la Potabilizadora.	C
Tabla 8 Fallas generales de la Potabilizadora.	C
Tabla 9 Fallas de motores de Hornos.	C
Tabla 10 Fallas generales de Hornos.	D
Tabla 11 Fallas de motores de la Mina.	D
Tabla 12 Fallas generales de la Mina.	D

Tabla 13 Fallas de motores de Recuperación de NH ₃	E
Tabla 14 Fallas generales de Recuperación de NH ₃	E
Tabla 15 Fallas de motores de la CTE.....	E
Tabla 16 Fallas generales de la CTE.	F
Tabla 17 Relación de motores de la Fábrica.....	F
Tabla 18 Cantidad y característica de motores.....	G
Tabla 19 Precio de reparación de motores.....	G
Tabla 20 Precio de mantenimiento de motores.	H
Gráfico 1 Fallas de motores en Secadero.	H
Gráfico 2 Fallas generales en Secadero.....	I
Gráfico 3 Fallas de motores en Calcinación.....	I
Gráfico 4 Fallas generales en Calcinación.	J
Gráfico 5 Fallas de motores de la Potabilizadora.	J
Gráfico 6 Fallas generales de la Potabilizadora.....	K
Gráfico 7 Fallas de motores de los Hornos.	K
Gráfico 8 Fallas generales de los Hornos.	L
Gráfico 9 Fallas de motores de la Mina.....	L
Gráfico 10 Fallas generales de la Mina.	M
Gráfico 11 Fallas de motores de Recuperación de NH ₃	M
Gráfico 12 Fallas generales de Recuperación de NH ₃	N
Gráfico 13 Fallas de motores de la CTE.....	N
Gráfico 14 Fallas generales de la CTE.	O

CAPÍTULO I Introducción.

1.1 Introducción.

1.2 Metodología de la investigación.

1.3 Métodos a emplear en el desarrollo de la investigación.

1.4 Análisis bibliográfico.

1.5 Nuevas técnicas implementadas en el mundo actual sobre mantenimientos y diagnósticos predictivos.

1.6 Alcance de los nuevos métodos implementados en el mundo sobre mantenimientos y diagnósticos predictivos.

1.7 Necesidad del estudio de las fallas eléctricas en la industria.

1.8 Breve descripción del objeto de estudio.

1.9 Diseño de la investigación.

1.10 Estadística de fallas en motores eléctricos.

1.11 Métodos empleados en la fábrica para la realización de diagnósticos y mantenimientos.

Conclusiones.

1.1 Introducción.

En el sector industrial existe un interés común por un suministro de energía estable y de alta calidad. Las interrupciones del suministro de energía eléctrica pueden ser perjudiciales y costosas, por lo que el perfeccionamiento y dominio de antemano de la calidad de cualquier sistema eléctrico es de vital importancia. Existen muchas causas por las que se pueden originar afectaciones en el suministro eléctrico de una red de potencia; por esta razón su estudio se suele realizar atendiendo al origen, al tipo de fallas y al tiempo de duración. En este capítulo se mostrarán los principales aspectos metodológicos, así como, una panorámica de los trabajos realizados sobre el tema, cómo se comportan a nivel mundial las investigaciones relacionadas con el mismo y una breve descripción del sistema eléctrico de la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara.

1.2 Metodología de la investigación.

1.2.1 Problema.

En el sistema eléctrico de la Fábrica Comandante Ernesto Che Guevara han ocurrido fallas tales como oscilaciones de voltaje, afectaciones por cables de alimentación, descargas atmosféricas, problemas con interruptores y de forma más frecuente las fallas de motores, las cuales provocan grandes inestabilidades tanto para el sistema eléctrico como para el productivo. La Empresa no cuenta con un método eficaz, capaz de controlar y predecir las fallas más frecuentes ocurridas en el sistema eléctrico, lo cual provoca considerables pérdidas económicas para la misma.

1.2.2 Objetivo General.

Analizar las fallas eléctricas más frecuentes en el sistema eléctrico de media y baja tensión de la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara.

1.2.3 Objetivos específicos.

1. Definir las fallas más frecuentes en el sistema eléctrico.
2. Localizar los puntos más vulnerables a fallas.
3. Determinar costos por mantenimientos y reparaciones a los equipos de mayor potencial económico de la planta de Lixiviación.
4. Proponer un método eficaz para la disminución de las frecuencias de apariciones de las fallas eléctricas del sistema eléctrico.

1.2.4 Resultados esperados.

- Describir las fallas más frecuentes en el sistema eléctrico de la fábrica.
- Determinar las causas fundamentales por las cuáles ocurren las fallas.
- Disminuir las interrupciones del suministro eléctrico y de esta forma las pérdidas económicas.

1.2.5 Hipótesis.

Al estudiar las fallas más frecuentes en el sistema de suministro eléctrico de la fábrica, permite el conocimiento de las causas y la implementación de un método de predicción para garantizar la confiabilidad y estabilidad del sistema y la disminución de las pérdidas económicas por concepto de interrupciones eléctricas.

1.2.6 Tareas.

1. Análisis bibliográfico.
2. Investigación del comportamiento de las diferentes fallas eléctrica en el sistema, causas y efectos que producen.
3. Localización de los puntos más vulnerables a fallas.
4. Localización de las plantas de mayores incidencias de fallas.
5. Selección de las fallas que producen mayores pérdidas económicas.
6. Estudio del comportamiento de las fallas que producen mayores pérdidas económicas en la planta de Lixiviación.
7. Valoración económica de las pérdidas ocasionadas por reparaciones y mantenimientos en la planta de Lixiviación.

1.3 Métodos a emplear en el desarrollo de la investigación.

En el diseño de la investigación se tuvieron en cuenta los siguientes métodos:

- ❖ **Análisis y Síntesis:** para el análisis del comportamiento de las fallas en el período evaluado en la Empresa, para el estudio de los antecedentes y los trabajos realizados anteriormente en función de la disminución de las incidencias de las fallas en la misma y/o en el mundo.

- ❖ **Histórico-Lógico:** Para el análisis y la comprensión de las etapas por las cuales ha transitado el estudio del comportamiento de las fallas en el sistema eléctrico de la fábrica.
- ❖ **Hipotético-Deductivo:** Para la elaboración de la hipótesis, cuya veracidad se intentará materializar en la investigación.
- ❖ **La observación científica:** Para estar al tanto del desarrollo y el comportamiento del objeto de estudio de la investigación, para la validación de los resultados esperados en la investigación.
- ❖ **La entrevista:** Para recopilar informaciones referentes al comportamiento precedente y actual de nuestro objeto de estudio, con el fin de diagnosticar su estado, teniendo en cuenta las necesidades que proporcionaran un camino correcto en la elaboración de un plan de acciones en función de la selección de un método eficaz para lograr los objetivos trazados.
- ❖ **Criterio de expertos:** En la proposición de los métodos a implementar como resultado de la investigación, de acuerdo a los resultados esperados en el proceso investigativo, en el proceso de implementación.

1.4 Análisis bibliográfico.

Es de vital importancia el conocimiento de las investigaciones realizadas en el mundo sobre el comportamiento de las diferentes fallas eléctricas por los efectos perjudiciales que ocasionan en el sector industrial, así como en el residencial.

Con el propósito de aumentar la cultura de estudios realizados sobre el tema y de afianzar los conocimientos de los nuevos métodos utilizados actualmente en el mundo se realizó una exhaustiva revisión de los documentos que se relacionan de alguna manera con este estudio, observando una gran gama de investigaciones que muestran los grandes avances científico- técnicos en el mundo que permiten reducir considerablemente las pérdidas económicas por los efectos que generan las fallas eléctricas de los sistemas de suministro eléctrico.

Con el objetivo de conocer los avances realizados en el tema y tener una idea más objetiva de los logros alcanzados, tuvimos en cuenta para la realización de esta investigación el resultado de los siguientes trabajos, aún cuando estos no estén relacionados específicamente con el tema en cuestión, de alguna manera reflejan informaciones valiosas que nos dan una visión de las acciones que se realizan para la disminución de las interrupciones en los sistemas eléctricos.

- En el trabajo de Ramírez D.Y. de 2004, [3] se trata con profundidad los aspectos teóricos relacionados con las protecciones eléctricas basados en la utilización de las redes neuronales artificiales con el objetivo de brindar un modelo que sea capaz de diferenciar entre una avería real del equipo protegido o una situación anormal, pero que no constituye un fallo de dicho equipo. Para ello se dispone de un conjunto de metodologías como la Lógica Borrosa, el Razonamiento Aproximado, la Teoría del Caos y las Redes Neuronales, tema central de este documento. Se muestran diferentes aplicaciones de las RNA dentro del campo de la Ingeniería Eléctrica tales como: los análisis de seguridad, predicción de demanda, modelación y control de máquinas, en plantas de operación y en especial dentro del amplio campo de las protecciones eléctricas en la detección y diagnósticos de fallas.

- En el trabajo de Murria J. y Du-Patrick B.W. [9] se realizó un estudio de las principales causas de las operaciones incorrectas de la subestación de 110 kV de la Fábrica Che Guevara, que recaen sobre la mala operación del sistema de suministro eléctrico, con el objetivo de Identificar los equipos en mal funcionamiento y proponer soluciones para una operación confiable y óptima de la subestación principal de la empresa.

- En el trabajo Colectivo A. GIMEE [2] se presentan algunas de las nuevas técnicas de diagnóstico que se postulan a nivel mundial como las mejores, además, el aporte de la Universidad de Antioquia a este campo con el desarrollo del laboratorio de monitoreo de máquinas eléctricas en funcionamiento, lo cual permite realizar cambios y reparaciones de piezas sin que se produzcan averías severas que perjudiquen los equipos y por consecuencia el mal funcionamiento del sistema eléctrico. Estas técnicas están cobrando un gran auge en el ámbito mundial por su gran eficacia si se realizan con precisión, ya que se necesita de equipamientos y personal especializados.

- En el trabajo de Martínez M. S. A. de 1997, [8] se tienen en cuenta una serie de aspectos que conllevan a un estudio minucioso de las causas de las perturbaciones y realizan una serie de cálculos para la comprobación del funcionamiento correcto de las protecciones existentes y el ajuste de las mismas mediante un software que diseñaron para facilitar la implementación de un método que facilitó el rediseño de los circuitos así como el mejoramiento y el ajuste de las protecciones lo cual permitió disminuir en gran medida las interrupciones en el sistema de suministro eléctrico y el aumento de la confiabilidad del sistema.

1.5 Nuevas técnicas implementadas en el mundo actual.

Las nuevas técnicas que se implementan en el mundo están estrechamente ligadas a la implementación de los diferentes mantenimientos y técnicas de diagnósticos que facilitan la detección y predicción a tiempo de las posibles fallas o perturbaciones en los sistemas eléctricos industriales, por tan solo mencionar algunas de estas podemos referirnos a los mantenimientos correctivos, preventivos, predictivos, proactivos y la utilización de cámaras termográficas, estos se utilizan en cualquier sistema eléctrico, mecánico o cualquier maquinaria.

Es indudable que el aumento de la vida operativa de la máquina a través de las estrategias de las nuevas técnicas de diagnósticos disminuyen los costos de mantenimiento e incrementa la productividad de las plantas. La ingeniería ha avanzado en todas sus ramas incluyendo los instrumentos y técnicas que se han desarrollado y que de alguna manera sustentan la credibilidad de los programas de mantenimiento implementados en la industria a nivel mundial.

1.6 Alcance de los nuevos métodos de Diagnósticos y Mantenimientos implementados en el mundo.

La implementación de los nuevos métodos para la detección, predicción y corrección de defectos en las máquinas, permiten ahorrar considerablemente las inversiones de mantenimientos y reparaciones de las partes defectuosas en las máquinas tanto eléctricas como mecánicas, si se emplean con los requisitos técnicos adecuados disminuirían considerablemente las paradas repentinas de los procesos productivos contribuyendo a la disminución de las pérdidas por conceptos de interrupción, ya que los mantenimientos y reparaciones se optimizarían y estarían específicamente dirigidos a los lugares de mayores potenciales de ocurrencia de fallas, lo que permitiría reducir considerablemente las fuerzas de trabajo en función de la corrección de dichos defectos, lo cual no quiere decir que se reducirían las plantillas laborales, sino que estarían mejor distribuidas las tareas a ejecutar por los especialistas en aras de mejorar la confiabilidad y disponibilidad del sistema.

1.7 Necesidad del estudio de las fallas eléctricas en la industria.

La necesidad de llevar a cabo un estudio de las fallas eléctricas en la industria está sentada sobre la base de mejorar en gran medida la confiabilidad y calidad del servicio de los sistemas eléctricos en función de disminuir las pérdidas ocasionadas por el mal funcionamiento de los dispositivos a causa de la aparición de perturbaciones provenientes de diversos orígenes, razón por la cual se le da seguimiento a las causas y los efectos que estas generan mediante estudios e investigaciones que proporcionen de manera concreta procedimientos a seguir en función de desarrollar nuevas tecnologías que permitan predecir y corregir a tiempo estas situaciones a través del control estadístico del comportamiento de las anomalías en los sistemas eléctricos.

1.8 Breve descripción del objeto en estudio.

La empresa Comandante Ernesto Che Guevara tiene como función principal la producción de níquel + cobalto, esta se encuentra ubicada al norte del yacimiento mineral de Punta Gorda provincia de Holguín, en la costa norte del Océano Atlántico entre los ríos Moa y Yagrumaje a cuatro kilómetros de la ciudad y dos del pueblo de Punta Gorda. El puerto marítimo está a unos tres kilómetros al noroeste de la fábrica.

El Dispositivo de Distribución Principal (DDP) cuenta con cuatro secciones de barras, con alimentación propia, mediante dos unidades generadoras de 12 MW cada una, las cuales están conectadas a la sección I y III respectivamente y posee a la vez dos enlaces permanentes con el Sistema Energético Nacional (SEN) a través de dos líneas provenientes de la subestación de Punta Gorda, y dos transformadores de 40 MVA ubicados en la empresa, el enlace se realiza a una tensión de 10.5kV, sobre las barras II y IV respectivamente.

El sistema eléctrico de potencia de Punta Gorda está compuesto por: autotransformadores de procedencia soviética de tipo ATDKTH-125 000-110-34.5 TJ, por la parte de 220 KV tiene dos secciones de barras colectoras, un interruptor seccionalizador, dos interruptores

de entrada a la línea y diez desconectivos. Por la parte de 110 KV tiene dos secciones de barras colectoras y una de desvío. Cada sección se alimenta de un autotransformador a través de un interruptor totalizador de 110 KV los mismos alimentan a su vez cuatro interruptores de salida de las líneas y se enlazan entre sí con interruptores seccionalizadores.

La subestación principal alimentadora de 110KV se encuentra ubicada en la termoeléctrica de la fábrica. Los transformadores que hacen posible la unión de la fábrica con el SEN se conocen en la industria como 1T y 2T, los mismos son de fabricación soviética del tipo TPDH- 40 000/110-76-T1. En régimen normal de operación estos transformadores se encuentran subcargados, ya que la potencia que consume la fábrica del SEN es muy pequeña (5 a15 MVA) en comparación su potencia nominal (40MVA), esto debiera reflejarse en el SEN con un bajo factor de potencia, lo cual no ocurre debido a que los dispositivos de medir el mismo se encuentran ubicados en la parte de baja tensión, y la empresa utiliza dispositivos compensadores (motores sincrónicos sobreexcitados y generadores sincrónicos), por la parte de baja tensión lo cual provoca que el factor de potencia visto desde el SEN sea elevado (0.94), sin embargo el de la empresa no es muy alto si es observado desde las plantas.

El Dispositivo de Distribución Principal (DDP detallado anteriormente tiene las secciones de barras enlazadas entre sí a través de un reactor, incluyendo la sección I y IV, las cuales tienen un interruptor que brinda la posibilidad de estar enlazada o no, de modo que si está enlazada, se incrementará considerablemente los niveles de cortocircuitos producto a las grandes corrientes que aportarían los motores sincrónicos y motores asincrónicos de gran potencia conectados a la sección de barra IV. El sistema está subdividido en cinco subestaciones distribuidoras (1PII...5PII), transformadores de uso de planta, transformadores de potenciales, etc. De las cinco subestaciones de distribución, la fundamental es la 1PII, la cual tiene instalados los equipos de mayor potencia e importancia del proceso productivo. Las subestaciones de distribución 3PII y 4PII están alimentadas directamente de la 2PII . Cada sección de barra está dividida en dos y enlazada con la principal con reactores. A continuación serán detalladas todas las secciones de barras del DDP.

Para la sección 1 del DDP la barra se encuentra alimentada con 10.5 KV por el Turbo Generador #1, a través de un interruptor de aceite. De dicha barra se alimentan las siguientes cargas:

- Subestación de distribución 1PII -1.
- Subestaciones transformadoras TP-7 y TP-20.
- Transformador 1T de la subestación de distribución 2PII.
- Transformadores de necesidades propias de plantas 21T y 41T.
- Salida de reserva.
- Enlace con la sección de barra dos mediante un reactor.
- Enlace con la sección de barra cuatro mediante otro reactor.

Para la sección 2 del DDP la barra está alimentada con 10.5 KV por el 1T de 40 MVA. Se encuentran conectadas las siguientes cargas:

- Subestación de distribución 1PII-2.
- Subestaciones transformadoras TP-6(1T) y TP-8(1T).
- Subestación de distribución 5PII-1.
- Transformador 2T de la distribución de distribución 2PII.
- Transformadores de uso de plantas 20T, 40Ty 80T.
- Enlace con la sección de barras tres mediante un reactor.

Para la sección 3 del DDP la barra está alimentada con 10.5 KV por el Turbo Generador #2, a través de un interruptor de aceite ubicado en el armario 67. A dicha barra se encuentran conectadas las siguientes cargas:

- La subestación de distribución 1PII-3.
- La subestación de distribución 5PII-2.
- Las subestaciones transformadoras TP-12(2T) y TP-14(2T).
- Transformadores de uso de plantas 81T, 42T y 22T.

- Las subestaciones transformadoras TP-6(2T) y TP-8(2T).
- Enlace con la sección de barra cuatro mediante un reactor.

Para la sección 4 del DDP la barra está alimentada con 10.5 KV por el transformador 2T de 40 MVA. Se encuentran conectadas las siguientes cargas:

- Subestación de distribución 1PΠ-4.
- Transformador 3T de la subestación de distribución 2PΠ.
- Subestaciones transformadoras TP-12(1T) y TP-14(1T).
- Transformadores de uso de plantas 23T y 82T.
- Línea que alimenta al CILA.

Las diferentes subestaciones están divididas en varias secciones de barras, las cuales se encuentran enlazadas mediante un interruptor normalmente abierto, preparado para una Conexión Automática de Reserva (CAR), que funciona para la ausencia de tensión en la alimentación ya sea provocado por una avería o una desconexión premeditada, a su vez permitiendo el paso de toda la carga de la barra desconectada a la barra adyacente.

La subestación de distribución 1PΠ es la más importante de la empresa, la misma se encuentra dividida en cuatro secciones de barras enlazadas de la manera siguiente: 1-2 y 3-4, mediante un CAR, alimentadas por un reactor limitador de corriente. De esta forma cada sección se encuentra conectada a la misma sección de barra del DDP (sección 1 de la 1PΠ conectada a la sección 1 del DDP y así respectivamente).

Dentro de los principales consumidores conectados a la sección 1 de la 1PΠ encontramos varias subestaciones transformadoras como son: 1TP-15, 1TP-16, 1TP-1, 1TP-2, 1TP-7, 1TP-26 y 1TP-28, pero el mayor peso recae sobre los motores sincrónicos (compresores 25 y 31 de 1600 y 1700 KW respectivamente) ya que estos constituyen fuentes de energía durante un cortocircuito además de contribuir al mejoramiento del factor de potencia. En las secciones 2, 3 y 4 encontramos el resto de las subestaciones transformadoras alimentando uno u otro transformador teniendo en cuenta que estas tienen doble circuito con un CAR de enlace. Además del resto de los motores de gran potencia (compresores K500-1, K500-2, con una potencia de 2500KW, K20, 21, 22, 23 de 1600KW etc.)

La subestación 2P Π está dividida en tres secciones de barras enlazadas mediante un CAR, la sección 1 con la 2 y la sección 2 con la 3. Las secciones de barras 1, 2 y 3 están conectadas al DDP en las secciones 1, 2 y 4 respectivamente, mediante tres transformadores reductores, con una tensión de entrada de 10.5 KV y una de salida de 6 KV. En esta subestación se encuentran conectadas las subestaciones

De distribución 3P Π y 4P Π conectadas de la siguiente forma: la sección 1 de la 3P Π y 4P Π están alimentadas por la sección 1 de la 2P Π y la sección 2 de las mismas se encuentran conectadas a la sección 2 y 3 respectivamente, además de los principales motores de mediana potencia (6KV) los cuales están distribuidos por toda la fábrica. Dentro de estos se pueden encontrar los motores de la sección de molienda de 600 KW, los exhauster de la misma sección de molienda, dos pequeños compresores de 320 KW cada uno y algunas salidas de reservas.

Por último, la subestación 5P, es la más pequeña que se alimenta desde el DDP, está dividida en dos secciones de barras las cuales se alimentan de la sección 2 y 3. Todas las subestaciones transformadoras trabajan de 10.5/0.48 kV, ubicadas en las subestaciones reductoras.

Por la cantidad de dispositivos, los parámetros de explotación y el régimen de trabajo, así como los estados de mantenimientos y reparaciones aparecen grandes números de fallas. El sistema se ve afectado considerablemente por las fallas relacionadas con los motores, cables de alimentación, protecciones y las inclemencias del medio ambiente. Las instalaciones eléctricas son muy complejas posee una gran diversidad de conductores para la distribución de la energía, el sistema de cableado es diverso y se ajusta a las condiciones específicas de cada área, el mismo es sumamente viejo, razón por la cual ocurren frecuentes averías que dificultan el buen funcionamiento de los dispositivos, principalmente se encuentran en bandejas a la intemperie sometidas a la acción directa del medio ambiente, por tan solo citar los conductores que más se utilizan, para distribuir medias tensiones oscilan entre 3X50- 240 mm de diámetro de aluminio con aislamiento EPR ó XLPE los cuales son secos o en aceites, algunos son considerados cables especiales por las condiciones a las que son sometidos, también se cuenta con cables de bajas tensiones generalmente de cobre con aislamiento EPR, XLPE

1.8.1 Breve descripción de las plantas más importantes de la empresa y selección de sus principales cargas.

1.8.1.1 Planta de Hornos de Reducción.

La función fundamental de la planta de Hornos de Reducción dentro del proceso de obtención de níquel es reducir el níquel y el cobalto del mineral secado y reducido que fue almacenado en los silos. Para ello cuenta con 24 hornos de múltiples hogares, 12 electrofiltros con el objetivo de recuperar el mineral que se escapa con los gases.

Eléctricamente esta planta cuenta con seis subestaciones en funcionamiento y una de reserva, así como el alumbrado. Las subestaciones están compuesta de la siguiente forma: la subestación TP6, TP8 (hornos de 1^{ra} y 2^{da} línea) y 1TP10 alimentan cada una de ellas 3 ventiladores de combustión (2 operación y 1 de reserva), 4 enfriadores y 4 transportadores rotatorios. La subestación TP7 es una subestación de emergencia o reserva y en estos momentos se está configurando para alimentar a todos los transportadores rotatorios. Las subestaciones 1TP10 y 1TP11 alimentan a hornos de 3^{ra} línea entre ellos a electrofiltros de hornos. Las subestaciones TP12 y TP14 alimentan a hornos y secaderos dentro de ellos a la parte de molienda y electrofiltros.

Partiendo de que si los electrofiltros se quedan con mineral caliente se deforman y de que si los ventiladores dejan de emitir aire de combustión para los hornos provocaría un gran riesgo de explosión y de peligro para el personal que allí labora llegamos a categorizar las subestaciones de la siguiente forma en orden descendiente en importancia: subestaciones TP6, TP8, 1TP10, 1TP11, TP12, TP14.

1.8.1.2 Planta de Lixiviación y Lavado.

La función fundamental de la planta de Lixiviación y Lavado radica en extraer el níquel y el cobalto del mineral reducido mediante la adicción de aire en un medio de carbonato amoniacal, o sea la lixiviación es el paso del níquel y el cobalto oxidados hacia el licor carbonato amoniacal. Para esto cuenta con 3 tanques de contactos con 3 ventiladores cada uno, 59 turboaeradores y 17 sedimentadores que cada uno de ellos cuenta con 2 bombas de rebose y 2 bombas de vacío fondo. Cuenta además con un área de

enfriamiento de licor y un sistema de absorción de amoníaco con 6 bombas y 3 ventiladores.

Desde el punto de vista eléctrico la planta cuenta con 6 subestaciones, 4 de fuerza y 2 de alumbrado. Las subestaciones de fuerza 1TP1 y 1TP3, son las más importantes dentro de la planta, debido a que de estas subestaciones se alimentan 17 Sedimentadores existentes en dicha planta y los mecanismos que los mueven. Un paro no deseado en estas subestaciones traería afectaciones inmensas a los Sedimentadores y al proceso productivo, debido a que el mineral existente ellos se endurecerían y habría que hacerle una limpieza general al Sedimentador el cual puede durar hasta meses.

La subestación 1TP2 alimenta las bombas de licor a la canal y una afectación no deseada en ella no provocaría daños y pérdidas tan perjudiciales para la empresa. La subestación 1TP22 y 1TP23 son de alumbrado de la planta.

Es importante destacar que esta planta con un servicio eléctrico de emergencia, el mismo se utiliza en caso de afectación de la energía, el mismo garantiza que sigan trabajando los sedimentadores y una parte de la planta de Calcinación.

1.8.1.3 Planta de Calcinación y Sinter.

La planta de Calcinación y Sinter tiene como objetivo calcinar el carbonato de níquel obtenido en la destilación del licor y sintetizar el óxido obtenido por la calcinación del carbonato, para estas operaciones cuenta con 2 sedimentadores del carbonato, 2 filtros de vacío, 3 hornos rotatorios y 1 máquina sintetizadora.

Esta planta cuenta con 2 subestaciones de fuerza para su alimentación las cuales son: las subestaciones 1TP7 y 1TP8. La subestación 1TP7 alimenta de carbonato a los hornos calcinadores (líneas de los filtros de calcinadores, bombas de reboso, bombas de pulpa, sedimentadores, electrofiltros y bombas de vacío). La subestación 1TP8 le suministra energía a los hornos calcinadores (ventiladores primarios y secundarios, motor principal del horno, bomba de lubricación), alimenta la línea de óxido y la línea de Sinter, la bomba de mazut, la bomba de diesel y el envase o producto final. Además esta planta cuenta con los siguientes consumidores: ventiladores V-342 A, B y C, EXH-DH-24.

En esta planta al igual que en la demás es bastante complejo determinar el orden de importancia de sus consumidores, pero basado en el criterio y la experiencia del personal que en ella laboran se ha llegado a la siguiente conclusión:

De ambas subestaciones se alimentan equipos y partes de la planta que son importantes en el proceso productivo, pero si se afecta la planta de Recuperación de Amoníaco lo más conveniente sería afectar la subestación 1TP7 y dejar en servicio la 1TP8 y los ventiladores, de ocurrir lo contrario sería mejor dejar la 1TP7 y sacar de servicio la 1TP8 y el resto de consumidores. Es bueno aclarar que todo esto juega con las reservas existentes en los sedimentadores y el inventario de mineral de la planta.

1.8.1.4 Planta de Recuperación de Amoníaco.

La función fundamental de esta planta es recuperar el amoníaco y el dióxido de carbono contenido en el licor producto y en la cola, esto se logra mediante la destilación de ambos con vapor y con estos gases ricos en amoníaco y dióxido de carbono preparar el licor fresco que se envía nuevamente a Lixiviación, reponiendo el NH_3 y el CO_2 que se pierde en el proceso.

Esta planta se alimenta de la subestación 1TP16 de fuerza y la subestación de alumbrado, además esta subestación de fuerza alimenta a todo el sistema de bomba instalado (B 408 A, B y C; B 400 A, B y C; BO121A, B y C; 6 tanques de retención).

Esta planta depende y tiene bastante relación con las demás plantas, en caso de una afectación sus principales consecuencias pueden ser derrame de amoníaco, licor, cola y daños perjudiciales para algunos equipos y el personal que en ella labora.

1.8.1.5 Planta auxiliar Servicio Energético.

Servicio Energético es auxiliar dentro de la fábrica, pero a su vez tiene gran importancia debido a que en ella se encuentran las bombas y compresores que alimentan de aire al transporte neumático, de servicio, de instrumentación y alimenta de agua de enfriamiento a una gran parte de la empresa, por lo que posee una estrecha relación con el buen funcionamiento de los equipos principales de dicha empresa.

Esta planta gobierna los siguientes equipos o consumidores eléctricos: los compresores 5HK de 1600 KW (K21---K24) son compresores Rusos, centrifugazos de dos etapas, encargados de dar todo el aire de transporte neumático a todo el sistema de transporte neumático de secaderos, hornos y calcinación. Los compresores K500 de 2500 KW en estos momentos son los encargados de suministrar el aire de servicio y parte de neumático, están preparados para suplir el aire de instrumentación. Los compresores checos de 1700 KW (K31---K33), son los encargados de dar el aire tecnológico o aire de baja, fundamentalmente alimentan de O₂ a la planta de Lixiviación y Lavado.

Las bombas están divididas en dos ciclos, las del ciclo #2 (B1---B5) son consideradas hidrometalúrgicas debido a que alimentan de agua de enfriamiento a una parte de la fábrica, es decir: Lixiviación, Recuperación de Amoníaco, Calcinación, talleres y laboratorios. Las del ciclo #1 (B6—B9) pirometalúrgicas, alimentan a las plantas de Preparación del mineral, hornos y Servicio Energético.

Basado en lo ante expuesto y en el criterio del personal de Servicio Energético pudimos dar el siguiente orden de importancia: hay que dejar al menos 1 bomba del ciclo #1 con dos del ciclo #2, al menos 1 compresor checo de 1700 KW, 1 compresor K500 y un compresor 5HK en ese orden de prioridad.

1.8.2 Sistemas de protecciones.

El sistema de media tensión de la fábrica es un sistema aislado, el de baja tensión se encuentra aterrado, razón por la cual el sistema de protección se adecua a las especificaciones técnicas de cada sistema en específico.

El sistema de protección está compuesto por diferentes protecciones que se encargan de proporcionarle a los dispositivos una mayor vida de explotación, estos son generalmente relés electrónicos o digitales (MUTILIN) para proteger los equipos de media tensión y para baja tensión se utilizan los interruptores automáticos, interruptores de cajas moldeadas e interruptores magnetotérmicos, así como interruptores electromagnéticos de tres polos de tipo BMPП-10 y 6 kV que tienen como función la conexión y desconexión de los circuitos eléctricos en régimen normal y de avería, entre los valores de corrientes usados se encuentran los de 630, 1000, 1250 y 2500 A. Las protecciones a motores, objetos de prioridad principal a proteger, son relativamente variables ya que dependen en gran medida de las condiciones y el régimen de trabajo a las que se someten, principalmente se usan interruptores de cajas moldeadas, interruptores automáticos especialmente e interruptores térmicos para fallas de sobrecargas.

Cuenta además con 2532 motores de baja tensión y 59 de media tensión para un total aproximado de 2591, lo que representan, según sus usos y de acuerdo con las condiciones a las que son sometidos, el mayor porcentaje de fallas que ocurren en el sistema provocando las mayores pérdidas económicas en el proceso productivo, razón por la cual la investigación se dirigirá principalmente hacia las principales causa y los efectos que generan las fallas de los motores y las consecuencias que traen para el sistema en estudio.

1.9 Diseño de la investigación.

Para lograr los objetivos propuestos nos planteamos realizar un análisis del sistema eléctrico que incluye un estudio acerca de cómo se encuentran distribuidos los esquemas en las diferentes plantas y para tener una idea de cuan complejo es el sistema en estudio debemos familiarizarnos con los diferentes tipos de accionamientos eléctricos que lo componen con sus especificidades.

Sobre la base de estos elementos nos planteamos primeramente una búsqueda bibliográfica relacionada con el tema y posteriormente a nivel industrial nos propusimos

dirigir nuestro trabajo hacia la realización de una clasificación técnica de las diferentes fallas eléctricas ocurridas en el período de 2006 a 2008 en el sistema eléctrico de la fábrica, para lo cual nos auxiliamos de los registros de incidencias archivados en el despacho eléctrico de la misma.

Debe realizarse un análisis pormenorizado de cual es el método más efectivo para la realización de dicho estudio teniendo en cuenta la cantidad de variables con las que contamos y el tipo para poder conocer con detalles sus comportamientos. Es conveniente clasificar las variables por sus ubicaciones en el complejo productivo y de acuerdo con su tipo, para poder facilitar su estudio.

Posteriormente, teniendo en cuenta los resultados de la clasificación es beneficioso dirigir el estudio a las fallas de mayor frecuencia de aparición de acuerdo con el nivel de pérdidas que ocasionan, reflejando de esta manera una reseña de las causa y los efectos que estas producen dando una valoración económica de las pérdidas económicas generadas por concepto de reparación y mantenimiento en la planta objeto de estudio por ser esta una de las plantas de mayores dificultades y de mayor incidencia en la eficiencia de la producción de la fábrica.

Para realizar dicha valoración económica se deben clasificar los motores por sus niveles de tensión nominales, características de mantenimiento, reparación y su nivel de importancia en el proceso productivo. En dicha valoración es necesario realizar especificaciones que nos permitan discernir de forma clara las pérdidas por conceptos de reparación y mantenimiento de dichos motores y se debe brindar una visión de los ahorros que pueden ser proporcionados si se implementan las técnicas y método propuesto en este trabajo.

1.10 Introducción al estudio de fallas en motores.

1.10.1 Generalidades.

Los motores son uno de los equipos eléctricos de mayor aplicación en el ámbito industrial. Muchos de estos de gran capacidad se utilizan en la industria minera en donde una falla repentina puede tener graves consecuencias, por lo que resulta necesario asegurar su continuidad operativa mediante la detección oportuna de fallas incipientes originadas por los esfuerzos eléctricos, mecánicos y térmicos, a los que se someten durante su operación. Conocer a tiempo una falla incipiente permite planear la remoción del motor con fines de mantenimiento y reducir pérdidas de producción [4].

Hoy día en el mundo son utilizados nuevos métodos de diagnósticos en línea de motores de inducción de baja, mediana y alta tensión basadas en la aplicación de las siguientes técnicas:

- Monitoreo térmico de componentes.
- Análisis de la potencia eléctrica de suministro.
- Análisis de corrientes de fase.

1.10.2 Fallas eléctricas en los Motores.

Las fallas de los Motores eléctricos son diversas, tanto eléctricas como mecánicas:

Eléctricas

1. Falta de fase
2. Pérdida de Aislamiento
3. Cortocircuitos internos
4. Cortocircuitos en las cajas de conexiones

Mecánicas:

1. Desgaste de Rodamientos

2. Altas vibraciones
3. Desbalance del rotor
4. Mecanismos trancados

De acuerdo con sus configuraciones los motores eléctricos se clasifican en diferentes clases (A, B, C, D, F, etc.), conforme a sus características los mismos necesitan de adecuadas y especiales atenciones para prolongar sus vidas de trabajos, lo que conlleva a la utilización de técnicas y métodos de mantenimientos que permanezcan en constantes desarrollos en función de disminuir los costos de reparación y sustitución de piezas que necesitan de grandes inversiones provocando grandes pérdidas a los diferentes sistemas de producciones.

1.11 Métodos utilizados en la fábrica para la realización de diagnósticos y mantenimientos.

Los principales Métodos utilizados en la fábrica para la realización de diagnósticos y mantenimientos son:

Preventivos – Correctivos

Los diagnósticos que se realizan a los diferentes dispositivos son:

- Pruebas de aislamiento a las líneas de Media tensión.
- Pruebas de aislamiento a los transformadores de corriente.
- Pruebas de aislamiento a los transformadores de potencia.
- Pruebas de relación de transformación y pruebas de rigidez dieléctricas al aceite de los transformadores de potencia.

A las máquinas rotatorias se les realizan:

- Pruebas de aislamiento y coeficientes de absorción.
- Pruebas de vacíos.
- Pruebas de ruidos con Bispen o Vibexpert.
- Diagnósticos a partir de las cámaras termográficas.

Estos métodos utilizados en la fábrica no se cumplen con las especificidades técnicas que requieren lo que imposibilita brindar con mayor exactitud las informaciones requeridas para la detección y corrección de las fallas que ocurren en el sistema, debido a que no se cuenta con los dispositivos y equipamientos necesarios, por lo que son insuficientes las pruebas que se realizan resultando imposible poder diagnosticar con exactitud las posibles situaciones que se pueden presentar en los diferentes equipos y dispositivos del sistema.

Conclusiones.

Luego de realizar una búsqueda bibliográfica y de haber estudiado los aspectos teóricos metodológicos referentes a la investigación y caracterizado el sistema objeto de estudio arribamos a las siguientes conclusiones:

1. Los trabajos precedentes sobre el tema no abordan los aspectos sobre las fallas de mayores incidencias en los sistemas eléctricos y no tienen en cuenta las posibilidades que ofrecen los nuevos métodos de diagnósticos y mantenimientos que se implementan actualmente en el mundo.
2. Los métodos empleados en la fábrica Ernesto Che Guevara para realizar los diagnósticos y mantenimientos no cumplen con los requisitos técnicos necesarios para dar un pronóstico más exacto sobre los fenómenos que ocurren en el sistema debido a que no cuentan con los equipamientos necesarios para la ejecución de los mismos.
3. La caracterización del objeto de estudio nos facilitó la detección de las fallas que mayormente se presentan en el sistema eléctrico de la fábrica debido al conocimiento de los puntos de mayor vulnerabilidad del mismo.

CAPÍTULO II Métodos y fundamentos teóricos.

- 2.1 Introducción.
 - 2.2 Método de procesamiento de datos.
 - 2.3 Complemento para el estudio.
 - 2.4 Fundamento teóricos.
 - 2.5 Propuestas a implementar.
 - 2.6 Valoración del alcance del proyecto de implementación de los métodos propuestos.
 - 2.7 Complementación del estudio de la planta de Lixiviación.
 - 2.8 Breve descripción del sistema eléctrico de Lixiviación.
 - 2.9 Puntos vulnerables a fallas eléctricas.
- Conclusiones.

2.1 Introducción.

En este capítulo se sientan las bases teóricas fundamentales para el desarrollo del proceso investigativo, en el cual se exponen sintéticamente las bases fundamentales del método empleado para el procesamiento de los datos estudiados, así como una síntesis del complemento para el estudio del objeto tema de investigación. Se proponen acciones a tener en cuenta a la hora de implementar los métodos para diagnosticar y dar mantenimientos a las máquinas rotatorias en función de disminuir los costos en conceptos de mantenimientos y reparaciones de los mismos. Para el mejor entendimiento de las características del sistema eléctrico estudiado se realiza una breve descripción del mismo y por último se describen de forma general los puntos más vulnerables a fallas.

2.2 Método de procesamiento de datos.

En los proyectos investigativos nos enfrentamos frecuentemente con la necesidad de analizar masas de datos. Unos de los roles más importantes de la estadística es el de condensar estos datos de forma tal, que regularidades presentes se hagan evidentes en los análisis. En ocasiones estos datos son tomados de una población. Estos datos deben ser cuantificables para que el tratamiento estadístico tenga sentido. Por ello se considera que el fenómeno estudiado permite evaluar en cada caso observado una característica que lo identifica [2].

Realizamos un análisis pormenorizado de cual era el método más efectivo para la realización de dicho estudio llegando a la conclusión de que el más adecuado es la estadística descriptiva ya que las variables con las que contamos son cualitativas y muy diversas por lo que otro método estadístico sería muy engorroso y poco productivo.

El objeto de la estadística descriptiva es analizar una cantidad de datos representados por el conjunto de medidas obtenidas. Los métodos usados para describir un conjunto de datos cualitativos o cuantitativos son agrupados o catalogados como procedimientos de estadística descriptiva, estos pueden clasificarse en métodos gráficos y numéricos [2].

Los procedimientos de la **estadística descriptiva** permiten organizar y clasificar los indicadores cuantitativos y cualitativos revelándose a través de ello las propiedades, relaciones y tendencias del fenómeno en estudio, que en muchas ocasiones no son perceptibles a simple vista de manera inmediata. Las formas más frecuentes de organizar las informaciones en este caso son en tablas de frecuencias, gráficos y las medidas de tendencia central como: la mediana, la media, la moda, etc.

La estadística descriptiva consiste en la modelación de los datos a través de la realización de tablas de frecuencias que permiten representar el comportamiento de las diferentes variables en función de los objetivos propuestos auxiliándose de los diferentes gráficos

que ayudan a diferenciar con mayor claridad la manera en que se manifiestan las variables muestreadas en el período previsto.

Para el análisis estadístico primeramente clasificamos la información de manera tal que nos permitiera realizar una distribución uniforme de los datos, quedando distribuidos por tipos de fallas generales y específicas de cada planta, para de esta forma poder seleccionar las fallas de mayores frecuencias de aparición, las plantas que presentaban mayores dificultades a partir de la incidencia de las mismas, identificando cada evento con sus respectivas cualidades, dicha clasificación se realiza respecto a cada año en estudio permitiendo ver el comportamiento de las variables en el tiempo.

2.3 Complemento para el estudio.

En la investigación fueron visitadas las diferentes plantas para poder tener una idea de cómo se estructuran los distintos esquemas de suministro y poder detectar y conocer los puntos de menor acceso que están proclives a la aparición de perturbaciones perjudiciales para el sistema, así como se revisaron los diferentes planos y monolineales de las plantas. Por otra parte nos familiarizamos con los diferentes sistemas de protecciones con los que cuentan las plantas para los diferentes dispositivos. Pudimos percatarnos del estado técnico de los motores y demás aparatos del sistema, observando que las condiciones a las que son sometidos no son las óptimas y se encuentran vulnerables a la aparición de las diferentes fallas que tentan contra la vida útil de los mismos.

2.4 Fundamento teórico.

La ausencia de la electricidad en los sistemas eléctricos trae graves consecuencias productivas. Un período sin energía eléctrica causará: la pérdida de los datos almacenados en un computador; el paro de un motor, y por tanto de una cadena productiva es decir, en sistemas eléctricos es necesario procurar la máxima confiabilidad

posible debido a que las consecuencias son extraordinariamente notables. Son numerosas las acciones que se pueden desarrollar para reducir, al menos en parte las interrupciones por fallas eléctricas en un proceso. De esta forma podremos disponer de un sistema confiable y de buena calidad.

2.4.1 Clasificación de las fallas eléctricas.

Las fallas, según su naturaleza y gravedad se clasifican en:

Sobrecarga: Se produce cuando la magnitud de la tensión o corriente supera el valor preestablecido como normal. Comúnmente estas sobrecargas se originan por exceso de consumos en la instalación eléctrica. Las sobrecargas producen calentamiento excesivo en los conductores, lo que puede significar la destrucción de su aislamiento, incluso llegando a provocar incendios por inflamación.

Cortocircuito: Se originan por la unión fortuita de dos líneas eléctricas sin aislamiento, entre las que existe una diferencia de potencial eléctrico (fase-neutro, fase-fase). Durante un cortocircuito el valor de la intensidad de corriente se eleva de tal manera, que los conductores eléctricos pueden llegar a fundirse en los puntos de falla, generando excesivo calor, chispas e incluso llamas, con el respectivo riesgo de incendio.

Falla de aislamiento: Estas se originan por el envejecimiento de los aislamientos, los cortes de algún conductor, uniones mal aisladas, etc. Estas fallas no siempre originan cortocircuitos, sino en muchas ocasiones se traduce en que superficies metálicas de aparatos eléctricos queden energizadas (con tensiones peligrosas), con el consiguiente peligro de shock eléctrico para los usuarios de aquellos equipos artefactos.

En una instalación eléctrica de c.a. trifásica las fallas que pueden ocurrir las podemos clasificar según el orden de importancia debido a su magnitud en:

- a) Fallas trifásicas (cortocircuito tripolar).
- b) Fallas bifásicas (cortocircuito bipolar).

c) Fallas monofásicas (cortocircuito unipolar).

El cortocircuito tripolar es la falla de mayor magnitud que puede resultar en una instalación eléctrica, en algunos casos particulares puede resultar en cambio ser mayor el valor durante un corto monofásico. En consecuencia se deberá tener en cuenta siempre la peor condición o sea el cortocircuito de mayor magnitud para la elección de protecciones, conductores o bien para efectuar las verificaciones técnicas correspondientes.

Las fallas que pueden darse en una instalación eléctrica de c.a. monofásica son:

a) un cortocircuito unipolar o monofásico (entre una fase y el conductor neutro);

b) un cortocircuito unipolar o monofásico, entre una fase y tierra (para lo cual en éste último caso se deberá conocer el valor de resistencia de puesta a tierra);

c) un cortocircuito unipolar o monofásico (entre una fase y el conductor de protección).

2.4.2 Fallas en los Motores eléctricos.

Eléctricas:

1. **Falta de fase** provoca elevación de temperatura de las bobinas colindantes a la bobina desenergizada por lo tanto esta bobina se quema.

Puede ocurrir una pérdida de fase, motivo un falso contacto en un punto de conexión o por falla interna de los contactos del contactor. O apertura de un fusible. No es confiable colocar fusible es mejor un interruptor magnético o termomagnético. Cuando ocurre esta falla, el Relé térmico bimetálico demora un poco en reaccionar. Se puede prevenir este problema con una inspección periódica de contactos o se puede instalar un Relé que detecte la pérdida de fase por medición de corriente.

2. **Pérdida de Aislamiento** del bobinado lo que provoca la quema del mismo.

También los bobinados de motores pueden fallar por sobrecarga. La sobrecarga produce calentamiento y eso daña al aislamiento. Una forma de prevenir esto, es haciendo una revisión de los ajustes de los relés térmicos, debe tener igual valor que la corriente

nominal que indica la placa del motor. Luego periódicamente hay que desmontar el relé y hacer una prueba con una fuente de corriente regulable y forzar la activación de dicho relé. También hay que probar que el contacto de parada del relé térmico esté correctamente cableado y corte efectivamente la tensión de la bobina del contactor.

El bobinado también puede fallar por **sobrecalentamiento** cuando se restringe el flujo de aire en las rejillas posteriores del motor. Contra esto solo queda realizar inspecciones y limpiezas periódicas.

El aislamiento del motor puede fallar por contaminación con aceite. Puede ocurrir en motores que van unidos a un reductor y cuando falle el reten del eje del motor. Existe una contaminación similar en motores que tienen puntos de relubricación de rodamientos y no se utiliza el procedimiento correcto.

Ocurren fallas en **el aislamiento** de motores por **sobretensiones** transitorias, en ese caso se colocan supresores de picos en las instalaciones.

Es bastante raro, pero hay veces que fallan las **varillas internas** de la jaula de ardilla de los rotores.

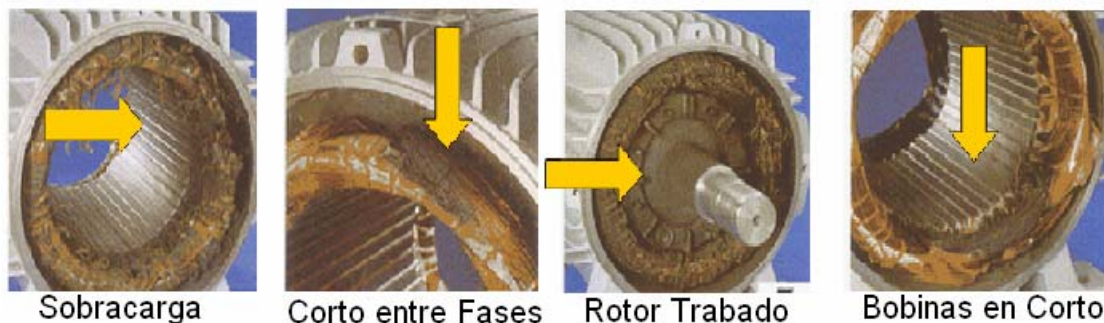


Figura 1.1 Fallas más frecuentes en los motores.

Mecánicas:

1.- Desgaste de Rodamientos que provoca el trancamiento por agripación y desbalanceo del rotor provocando además el roce del rotor con el estator (pérdida del entre hierro) o el roce del rotor con las bobinas y por ende la quema del bobinado. Los rodamientos pueden

fallar por mal montaje, falta de lubricación, exceso de lubricación, contaminación, por una mala alineación, etc.



Figura 1.3 Daños por altas vibraciones.

Limitaciones de los Motores:

- Materiales Aislantes:

Problema: Temperaturas elevadas reducen la capacidad de aislamiento y pueden provocar corto circuito.

La Solución: Utilizar una protección térmica en el bobinado (entre las espiras de cobre).

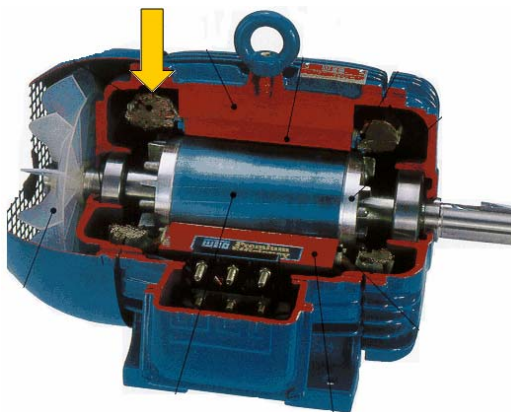


Figura 1.4 Cortocircuito provocado por altas temperaturas.

- Rodamientos:

Problema: Temperaturas elevadas perjudican la grasa de los rodamientos, dilatación excesiva, pudiendo ocasionar trabamiento del eje.

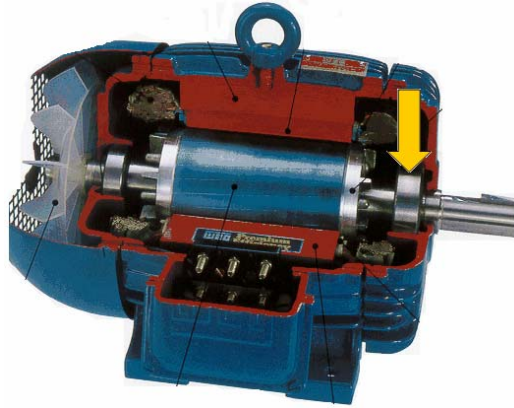


Figura 1.5 Eje trancado.

Problema:

La humedad excesiva baja el nivel de aislamiento del motor, cuando el mismo no esté prendido.

Solución:

Proveer el motor con Resistencia de Calentamiento/Caldeo.



Figura 1.6 Resistencia de Calentamiento/Caldeo.

- Instalada entre los alambres,
- Solamente debe entrar en operación cuando el motor no estuviere prendido.

Continuidad del servicio:

Depende de la probabilidad de fallas de cada uno de los elementos que la conforman y de la duración de las mismas.

Calidad del servicio:

Establece las condiciones bajo las cuales opera el circuito en cuanto a niveles de tensión y frecuencia de operación.

Flexibilidad:

Permite conocer la capacidad de respuesta del circuito ante una condición de falla.

Disponibilidad y calidad de servicio:

El aspecto de disponibilidad y calidad de servicio es sin duda de gran importancia, ya que en definitiva es el parámetro que determina la satisfacción de los consumidores.

La instalación eléctrica se debe diseñar para que en situaciones de mal funcionamiento, ante una perturbación, sea capaz de soportar esta anomalía pasajera y volver a operar correctamente, sin arriesgar la integridad de las personas, los bienes o la propia instalación.

Sin embargo, ya que es posible que ocurran anomalías más extremas, es decir fallas, es necesario incorporar medidas que protejan a las personas y a los bienes frente a los

cortocircuitos y sobrecargas, dotando a las instalaciones de un sistema de protecciones destinadas a minimizar los efectos de las fallas, de tal manera que al presentarse alguna, la instalación dañada pueda ser aislada para su posterior reparación.

2.4.3 Técnicas de diagnósticos y mantenimientos implementadas en el mundo.

Una de las formas en que se pueden clasificar las estrategias de mantenimiento es:

Mantenimiento Correctivo: Es aquel que permite corregir cualquier defecto en caso de que ocurra permitiendo de esta forma que la máquina opere hasta la falla, por lo tanto, los sistemas eléctricos deben posibilitar la fácil realización del mantenimiento correctivo.

Mantenimiento Preventivo: Es aquella que se utiliza para prevenir cualquier situación de defecto utilizando sistemas inteligentes para el análisis de los datos necesarios para la ejecución de este mantenimiento, donde se reparan y/o reemplazan los diferentes componentes. Las intervenciones se realizan aún cuando la máquina esté operando satisfactoriamente.

Mantenimiento Predictivo: Es aquel que por medio de las redes inteligentes se analizan los diferentes síntomas que emiten las máquinas al exterior y se puede establecer la situación mecánica de la máquina y su evolución en el tiempo para poder realizar las acciones necesarias para evitar esa situación. Una de sus grandes ventajas es que se lleva a cabo mientras la máquina está en funcionamiento y sólo se programa su detención cuando se detecta un problema y se desea corregir. Los servicios predictivos tienen como finalidad, determinar de forma temprana cualquier fuente que pueda originar un impacto de capacidad de la planta o cualquier fuerza que pueda reducir la vida útil y la confiabilidad de sus equipos, además con los resultados de los análisis de la condición se podrá conocer de forma temprana cual de los equipos rotativos requiere realmente una acción correctiva proactiva.

Mantenimiento Proactivo: con esta estrategia de mantenimiento se pretende maximizar la vida útil operativa de las máquinas y sus componentes, identificando y corrigiendo las causas que corrientemente originan las fallas. Por ejemplo asegurando que las máquinas funcionen bajo las condiciones de carga y velocidad establecida por su condición de

diseño y que además sus componentes (rodamientos, sellos, acoplamientos, etc.) son instalados correctamente y que su condición de lubricación es adecuada ya que se puede asegurar una vida útil operativa más extendida y con menos paradas intermedias que el promedio de las máquinas del mismo tipo.

Técnicas de diagnóstico:

Diferentes métodos han sido utilizados para la detección y diagnóstico de defectos de rodamientos, estos métodos son principalmente:

- Análisis de vibración, ruido y ondas.
- Análisis de temperatura.
- Análisis de partículas en el aceite.

El método de análisis de vibraciones, ruido y ondas ha sido el más ampliamente utilizado haciendo uso de diferentes técnicas como son: el análisis de vibración en tiempo y frecuencia, análisis de ondas de choque, análisis del ruido, análisis de emisión acústica, etc.

Aplicaciones de Mantenimiento Predictivo:

Actualmente es esencial evitar paradas imprevistas, reduciendo los costos por pérdida de producción al mínimo. El mantenimiento predictivo se ha introducido para identificar problemas potenciales y reducir costos. La termografía en mantenimiento se basa en el hecho de que la mayoría de los componentes muestran un incremento de temperatura cuando existe un mal funcionamiento y la falta se detecta antes de que se produzca el fallo.

Los programas de inspección rutinaria utilizando cámaras de termografía pueden ofrecer las siguientes ventajas:

Las inspecciones se realizan en condiciones de pleno rendimiento, evitando pérdidas de producción.

- Puede extenderse la vida útil de los equipos
- Se reduce el tiempo de cierre de la planta
- Se incrementa la fiabilidad de la planta
- Las reparaciones pueden programarse más convenientemente
- Puede inspeccionarse la calidad de la reparación

Las cámaras de termografía se utilizan en mantenimiento predictivo industrial en las siguientes áreas:

- Instalaciones Eléctricas
- Equipamientos Mecánicos
- Refractario

Monitoreo térmico de componentes:

Una alta temperatura en el motor (causada por el ambiente o por un problema del motor mismo) es frecuentemente causa de falla. Los motores deben operar dentro del valor límite de elevación de temperatura de acuerdo con el tipo de aislamiento de sus devanados para asegurar una vida útil adecuada. Las normas [10] indican que por cada 10 °C que el motor opere sobre su valor límite de elevación de temperatura, la vida útil de su aislamiento se reduce a la mitad. El monitoreo térmico de los componentes del motor (chumaceras, terminales de conexión, etcétera), permite determinar si existe algún incremento anormal de temperatura o detectar la presencia de puntos calientes. El monitoreo térmico se lleva a cabo con la finalidad de obtener un mapa de temperaturas del motor, de detectar los puntos máximos de temperatura y de determinar las posibles causas.

Para un proceso de producción de 24 horas continuas al año, se recomienda, normalmente, una inspección termográfica cada seis meses. Con el Mantenimiento Predictivo mediante Termografía, se evitan reparaciones innecesarias y se acortan los tiempos de aquellas que son indispensables.

Análisis de la potencia eléctrica de suministro:

Las técnicas empleadas para el análisis de la potencia eléctrica de alimentación a motores de inducción se basan en la medición simultánea y en el análisis de las señales de voltaje y corriente de alimentación al motor. Este análisis permite identificar desbalances de voltajes, picos de voltajes, niveles elevados de distorsión armónica y fallas incipientes en el devanado del estator. La presencia de conexiones de alta resistencia, tanto en el motor como en el circuito de alimentación principal, traen como resultado desbalances de voltajes y altas corrientes circulantes. Estas corrientes causan elevación de temperaturas en los devanados del motor, lo cual puede provocar daños al aislamiento. Mediante la medición y el análisis de los tres voltajes de fase y el cálculo del nivel de desbalance se puede determinar la severidad de la conexión de alta resistencia.

Los picos de voltaje dentro del circuito de potencia del motor pueden ser provocados por diferentes causas, incluyendo arranques y paros de cargas en la planta y el uso de equipos de control de estado sólido como controladores de velocidad de frecuencia variable. Los picos de voltaje de magnitud considerable someten al motor a esfuerzos eléctricos adicionales, lo que resulta, eventualmente, en fallas catastróficas del sistema aislante. Estos picos de voltaje se pueden identificar mediante el análisis de las señales de voltaje y corriente para determinar su factor de cresta (relación del valor de cresta de la señal medida al valor rms de la forma de onda fundamental). Otra causa de problemas en los motores es la presencia de armónicas en la línea de suministro, las cuales son causadas por el uso de dispositivos de estado sólido, como los variadores de velocidad. Un alto contenido armónico en la alimentación de los motores puede causar problemas como sobrecalentamiento en los devanados del estator y rotor, pares pulsantes y ruido.

Análisis de las corrientes de fase:

El diagnóstico en línea de motores mediante el análisis de las corrientes de fase es un método no invasivo aplicado para detectar la presencia de fallas incipientes tanto mecánicas como eléctricas. Esta técnica se basa en el análisis de los espectros en frecuencia de alta resolución de la corriente de alimentación del motor operando en línea bajo condiciones de carga nominal.

La técnica de diagnóstico en línea basada en el análisis de las corrientes de fase [3] utiliza la medición simultánea de las tres corrientes de fases del motor y permite detectar diversas condiciones de falla en los motores eléctricos que no pueden diagnosticarse adecuadamente a través de la simple medición de vibraciones mecánicas como son:

- Ruptura de barras del rotor.
- Grietas en anillos de cortocircuito de la jaula.
- Falsos contactos en soldaduras de la jaula.
- Irregularidades estáticas y dinámicas del entrehierro.
- Desbalances magnéticos.
- Porosidades en la fundición del rotor.

Los defectos en las barras del rotor provocan altas temperaturas y pérdida de par en el motor, su detección mediante esta técnica se basa en el análisis del espectro de las corrientes de fase en el dominio de la frecuencia. El espectro en frecuencia de las corrientes de fase medidas en el dominio del tiempo se obtiene por la aplicación de la transformada rápida de Fourier (FFT). Este análisis se lleva a cabo para detectar armónicas que se atribuyen directamente a barras rotas, anillos terminales fisurados, flechas torcidas o chumaceras en mal estado.

Las señales de corriente en el dominio del tiempo se obtienen utilizando transformadores de corriente tipo gancho. En motores de alta tensión, los ganchos de corriente se utilizan en los secundarios de los transformadores de corriente de medición.

Por otra parte, una excentricidad dinámica o estática del rotor trae como consecuencia un incremento de vibración y el riesgo potencial de un rozamiento entre el estator y el rotor. De no corregirse una situación de este tipo se podría provocar una falla catastrófica del motor o, al menos, una reducción de la vida útil de las chumaceras. La asimetría del rotor (debido a una falla en las chumaceras, rotor elíptico, desalineamiento de la flecha con la jaula o un desbalance magnético) da por resultado un espectro similar al producido por las barras rotas.

Diagnóstico fuera de línea de motores de inducción:

El diagnóstico fuera de línea permite probar motores de inducción desenergizados a través de la medición de sus parámetros básicos y los de su circuito de fuerza asociado. Sobre la base de estas mediciones se determina la condición del equipo. Actualmente se realizan las siguientes pruebas:

- Resistencia de aislamiento.
- Pruebas estándar de c.a.
- Comparación de pulsos.
- Pruebas a rotor.

Prueba de resistencia de aislamiento:

La confiabilidad del motor depende de la integridad de su sistema aislante, por lo que éste resulta ser la parte más importante. El sistema de aislamiento de los motores se encuentra sujeto a diversos esfuerzos de tipo mecánico, térmico y eléctrico. La prueba de resistencia de aislamiento detecta la presencia de humedad y sustancias contaminantes en la superficie de los devanados. A partir de esta prueba se determinan los índices de polarización y de absorción dieléctrica que indican la variación de la resistencia a tierra del aislamiento respecto al tiempo. Valores adecuados de estos índices garantizarán que los devanados del motor se encuentren libres de la presencia de humedad y contaminación antes de ser sometidos a los esfuerzos eléctricos propios de la operación del motor.

Pruebas estándar de c.a.:

Estas pruebas se aplican para determinar la condición general del motor; se pueden utilizar en todos los motores, ya sean nuevos o reparados. Las que más se aplica como pruebas estándar de c.a. miden lo siguiente:

- Resistencia a tierra.
- Capacitancia a tierra.
- Resistencia óhmica.
- Inductancia fase a fase.

Los valores de las mediciones de la **resistencia a tierra** permiten evaluar la condición del aislamiento a tierra del motor y sus cables de alimentación en caso de ser evaluados de manera conjunta.

Los valores de la **capacitancia a tierra** son un indicador adicional de la condición del motor, el cual facilita identificar la presencia de elementos contaminantes depositados en el aislamiento del estator.

A partir de la medición de la **resistencia de fase a fase** en el motor se identifican desbalances resistivos, lo cual permite evaluar sus devanados. Altos desbalances resistivos indican que durante la operación el motor presentará puntos calientes por conexiones de alta resistencia.

Los valores de **inductancia de fase a fase** que se obtienen durante esta prueba son útiles para evaluar los devanados, núcleo magnético y componentes del rotor del motor. Altos desbalances inductivos indican fallas en el devanado del estator y defectos en el rotor.

Prueba de comparación de pulsos:

Por lo común, las fallas en los devanados de los motores se inician como cortos entre espiras dentro de las bobinas; estos cortos generan puntos calientes que degradarán el aislamiento en vueltas adyacentes hasta que falle la bobina y por lo tanto el motor. El mecanismo de falla puede tomar largo tiempo para que se manifieste como una falla a

tierra, así que la prueba de resistencia de aislamiento no puede detectarla. Este tipo de fallas se pueden descubrir mediante la prueba de comparación de pulsos, la cual localiza defectos en el aislamiento, espira-espira, bobina-bobina o fase-fase, fallas que no pueden revelar fácilmente las demás pruebas. El equipo utilizado para realizar esta prueba inyecta pulsos de voltaje a la bobina del motor; los pulsos reflejados resultantes son la respuesta de la inductancia de la bobina. En un motor trifásico sin fallas, los devanados de las tres fases deben tener inductancias y capacitancias similares, por lo que la respuesta al impulso en cada fase debe ser similar también. En un motor trifásico, la inductancia de una fase dañada por un cortocircuito entre espiras es diferente a la inductancia de las otras dos bobinas y, por lo tanto, su respuesta al impulso también. Un corto entre espiras en el motor probado ocasionará un desfaseamiento y una disminución en el valor pico de la forma de onda reflejada.

Prueba fuera de línea al rotor:

La prueba fuera de línea al rotor de motores de inducción del tipo jaula de ardilla que se aplica actualmente se basa en la medición de las inductancias de fase a fase del motor, con el rotor colocado en diferentes posiciones predeterminadas.

Con los resultados obtenidos de esta prueba se realiza una representación gráfica de la relación rotor-estator y sobre la base de su análisis se detectan excentricidades y defectos del rotor, además de verificar fallas del estator.

Esta prueba fuera de línea del rotor nos muestra cómo el magnetismo residual del rotor colocado en diferentes posiciones dentro del estator afecta su inductancia. Dado que el campo magnético del rotor interactúa con las tres fases del devanado del estator, las inductancias de cada fase cambian con las diferentes posiciones del rotor.

Esta prueba se realiza mediante la aplicación de una señal de voltaje a cada fase del estator y el giro manual del rotor en incrementos específicos de grados, hasta cubrir al menos un paso polar. Con el rotor colocado en cada posición se genera y se mide un valor de la inductancia del circuito por fase. Para motores en buen estado se obtienen curvas regulares que se repiten en cada paso polar con formas de onda senoidales. El análisis de

estas gráficas permite determinar la condición del rotor y del estator, así como correlacionar los resultados de las diferentes pruebas fuera de línea aplicadas al motor.

2.4.4 Ventajas del análisis termográfico.

- Equipos siempre listos para la producción.
- Menos mano de obra.
- Menor consumo de repuestos.
- Optimización de procesos.
- Planeación del momento oportuno para efectuar la reparación.
- Presupuestos de mantenimiento más reales.
- Mejor control sobre los inventarios.
- Disminución en reparaciones preventivas.
- Identificación de los puntos más vulnerables del proceso.
- Tener mayor control en la seguridad industrial.
- Aumento de productividad.
- Mantenimiento preventivo adecuado.

2.4.5 Inspección a Instalaciones Eléctricas.

Los fallos en instalaciones eléctricas a menudo aparecen como puntos calientes que pueden detectarse con la cámara de termografía. Los puntos calientes son habitualmente resultantes de un incremento de la resistencia en un circuito, sobrecargas, o fallos de aislamiento.

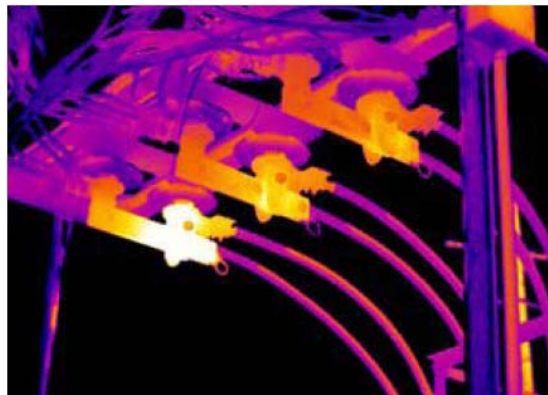


Figura 1.2 Inspección de un sistema de potencia.

Algunos de los componentes habitualmente inspeccionados son:

Conectores: Cuando se observan conectores con potencias similares, una mala conexión muestra un incremento de temperatura debido a su incremento de resistencia. Los puntos calientes pueden generarse debidos a pérdidas, oxidación o corrosión de los conectores.

Otros componentes habitualmente inspeccionados son:

- Relés.
- Aislamientos.
- Interruptores, etc.

2.4.6 Mantenimientos oportunos.

- ❖ Reducción del tiempo de paralización de los equipos que afectan la operación;
- ❖ Reparación, en tiempo oportuno, de los daños que reducen el potencial de ejecución de los servicios;
- ❖ Garantía de funcionamiento de las instalaciones, de manera que los productos o servicios satisfagan criterios establecidos por el control de la calidad y estándares preestablecidos.

2.4.7 Mejoras significativas en los costos del mantenimiento y disponibilidad de los equipos.

Las mejoras significativas en los costos del mantenimiento y disponibilidad de los equipos están siendo alcanzadas a través de la:

- ❖ Ejecución de algunas actividades por parte de los operarios de los equipos, mejoramiento continuo del equipo;
- ❖ Educación y capacitación de los responsables de la actividad de mantenimiento;
- ❖ Recopilación de información, evaluación y satisfacción de las necesidades;
- ❖ Establecimiento de prioridades adecuadas a los servicios;
- ❖ Evaluación de servicios necesarios e innecesarios;
- ❖ Análisis adecuado de la información y aplicación de soluciones simples pero estratégicas;

- ❖ Planificación del mantenimiento con "enfoque en la estrategia de mantenimiento específico por tipo de equipo".

2.5 Propuestas a implementar.

Para poder detectar y corregir a tiempo las afectaciones provocadas por la aparición de las diferentes fallas proponemos como medida:

- Implementar los métodos de **mantenimientos predictivo – proactivo**.
- Utilizar las nuevas técnicas de diagnóstico a través de el **monitoreo térmico de componentes**.

Ligado a estas **técnicas** se deben realizar **revisiones periódicas** de los puntos calientes proclives a la aparición de dichas fallas, la **preparación** y el **asesoramiento** de los diferentes operadores es de vital importancia para el cumplimiento de los objetivos trazados, así como sentar en los mismos un mayor **grado de pertenencia** y **responsabilidad** ante la tarea que desempeñan. De ponerse en práctica estas técnicas eficientemente se lograría en gran medida **controlar y disminuir** las **pérdidas económicas** por conceptos de interrupciones en el sistema de suministro eléctrico, las **ventajas** de utilizar estos nuevos métodos y técnicas fueron referidas anteriormente.

2.6 Valoración del alcance del proyecto de implementación de los métodos propuestos.

2.6.1 Dimensión Económica.

La fábrica Ernesto Che Guevara presenta grandes problemas con las incidencias de las fallas eléctricas que proporcionan grandes pérdidas económicas que conllevan a deficientes coeficientes de la eficiencia productiva, nuestros métodos de diagnósticos y mantenimientos propuestos deben traer consigo un impacto económico en la misma, pues uno de sus objetivos es proporcionar una disminución de las incidencias directas de las fallas eléctricas lo que trae consigo el ahorro de inversiones en este campo, con

lo que deberán disminuir los costos de las inversiones en mantenimientos y reparaciones de los dispositivos del proceso productivo.

2.6.2 Dimensión Socio-Cultural.

Estos métodos de diagnósticos y mantenimientos optimizan la mano de obra, elevan la cultura profesional de los trabajadores que están ligados en la implementación de los mismos, dando pautas para su superación. Facilita el desarrollo de las maniobras a ejecutar, lo que trae consigo el mejoramiento de la calidad de vida de los trabajadores, ya que proporcionan los medios necesarios para la realización de los trabajos a ejecutar en función del cumplimiento de los mismos.

2.6.3 Dimensión Tecnológica.

Aporta mayor confiabilidad, seguridad y organización en el control de las determinaciones y toma de decisiones en función de ejecutar los trabajos de mayor prioridad en pos del ahorro de las inversiones referentes el tema. Son métodos de diagnósticos y mantenimientos que a partir de la tenencia de los equipamientos necesarios para la ejecución de los mismos pueden ser efectuados sin requerir de grandes conocimientos para el desarrollo de las especificidades técnicas requeridas, por lo que facilitará que los usuarios directos que ejecutan dichos métodos cuenten con la cultura técnica necesaria para su implementación.

2.7 Complementación del estudio de la planta de Lixiviación.

La planta de Lixiviación a lo largo de estos años ha sufrido **cambios** en los **sistemas de protección** que han permitido **reducir** considerablemente las **fallas** en el sistema y de cierta forma han aumentado el nivel de **confiabilidad** del mismo, no obstante estos cambios no has sido lo suficientemente efectivo como para garantizar un estricto control de la aparición de las mismas. En la actualidad se han manifestado una serie de **afectaciones** provocadas por el desajuste de las protecciones provocando inestabilidad del sistema que traen como consecuencia **pérdidas** sustanciales del proceso productivo, ya que en ocasiones no actúan las protecciones inmediatas de los dispositivos, lo que provoca que se disparen los interruptores principales dejando sin alimentación una serie de equipos que se alimentan desde esa misma sección, causas por las cuales se decide

realizar un estudio del comportamiento de dichas fallas en función del mejoramiento de la funcionalidad del sistema eléctrico de la misma.

De acuerdo con la prioridad de pérdidas que son generadas por las fallas eléctricas en los dispositivos industriales y por el nivel de participación en el proceso productivo se llegó a la conclusión de que la planta de Lixiviación y Lavado es la planta de mayor prioridad en este sentido, puesto que a partir de la relación que existe entre cantidad de motores en plantas por cantidad de fallas ocurridas en los motores y por los niveles de pérdidas que se ocasionan de acuerdo con los niveles de utilización en los diferentes procesos productivos, se puede demostrar numéricamente que esta planta es la que presenta mayores riesgos de pérdidas en el proceso productivo, además de ser los motores los que mayores daños pueden causar en el sistema de suministro eléctrico, razón por la cual se profundiza más en las causas y los efectos que estas producen y en los nuevos métodos aplicados actualmente en el mundo con vista a disminuir la aparición de las mismas.

Por las razones antes expuestas y por la importancia que tiene la planta de Lixiviación y Lavado en el proceso productivo se decidió escogerla para realizar un estudio más profundo de las causas principales por las cuales ocurren las perturbaciones, los efectos que generan y una breve valoración de las pérdidas económicas que han provocado las fallas eléctricas a lo largo del período 2006-2008, sobregirando el estudio a las fallas de motores que son las que mayores frecuencias de aparición tienen y las que mayores pérdidas ocasionan.

2.8 Breve descripción del sistema eléctrico de Lixiviación.

En la planta de Lixiviación y Lavado el suministro de energía a los equipos de fuerza es garantizado por seis Subestaciones transformadora, formada cada una de ellas por dos transformadores.

Los datos de los transformadores de las diferentes subestaciones son:

Los transformadores de las subestaciones 1TP-1, 1TP2-1, 1TP2-2, 1TP-3, 1TP-4 y ITP-17	
Tipo:	Tm 3-1600/10-73T3
Norma de fabricación	Gost 11677-75
Sistema de enfriamiento	Por aceite
Potencia aparente	1600kVA
Conexión	Delta estrella aterrada
Voltaje por alta	10.5, 10.25, 10, 9.75,9.5 kV
Voltaje por baja	0,48 kV
Corriente por lado de alta	92.4 A
Corriente por lado baja	1925 A

Tabla 2.1 Datos de los Transformadores

Los transformadores de la subestación 1TP-4	
Tipo:	Tm 3-2500/10-73T1
Norma de fabricación	Gost 11677-75
Sistema de enfriamiento	Por aceite
Potencia aparente	2500kVA
Conexión	Delta estrella aterrada
Voltaje por alta	10 kV
Voltaje por baja	0,48 kV
Corriente por lado de alta	92.4 A
Corriente por lado baja	1925 A

Tabla 2.2 Datos del los transformadores

Cada uno de los transformadores que componen la Subestación se alimenta de una sección diferente del centro de distribución. Estos transformadores poseen un enlace secundario (secundario selectivo). Todo esto proporciona una alta seguridad y flexibilidad en el suministro de energía a los equipos de fuerza, estando garantizada la energía para

los más importantes, aún en el caso de avería en uno de los transformadores, el otro debe asumir toda la carga de la instalación.

El alumbrado y los sistemas de automática e instrumentación esta garantizados por dos Subestaciones de alumbrado 1TP22 y 1TP23 ubicadas en el objeto 11/5 y en el objeto #14 respectivamente, con un transformador por Subestación.

Los transformadores de las subestaciones 1TP-22 y 1TP--23	
Tipo:	Tm 3-630/10-73T1
Norma de fabricación	Gost 11677-75
Sistema de enfriamiento	Por aceite
Potencia aparente	600KVA
Conexión	Delta estrella aterrada
Voltaje por alta	10,5 kV
Voltaje por baja	0,4 kV
Corriente por lado de alta	36.4 A
Corriente por lado baja	910 A
Tensión trifásica de trabajo	380 V

Tabla 2.3 Datos de los transformadores

La distribución de B.T. se realiza mediante una Punto General de Distribución (PGD) ubicado en cada Subestación. Estas PGD están dotadas de enlace de barras, con sistema de transferencia automática y salida a los Centro de Control de los Motores (CCMs) donde se encuentran ubicados los arrancadores de los motores de las diferentes áreas de la planta. En la PGD se incluyen, además, los interruptores de salida para los equipos de corrección del factor de potencia.

Los CCMs están dotados de doble alimentación (desde cada semibarra de la PGD) y enlace, sin transferencia automática.

2.8.1 Distribución de la energía eléctrica.

Para la alimentación eléctrica de todo este equipamiento la planta cuenta con 6 Subestaciones reductoras: 1TII1, 1TII2-1, 1TII2-2, 1TII3, 1TII4 y la 1TII17

Voltaje por alta	10,5 kV
Voltaje por baja	0,44 kV
Corriente por alta	92 A
Corriente por baja	1925 A
Pecientos de Impedancia	5,4

Tabla 2.4 Transformadores del las subestaciones.

La c conexión delta - estrella aterrada, sistema TN-C

Estas son las encargadas de suministrar la energía necesaria para el funcionamiento del sistema.

También posee dos Subestaciones de alumbrado de 10. 5 kV por alta y 0.38 kV por baja con conexión delta estrella aterrada, sistema TN-C.

Este sistema de suministro está dispuesto de la siguiente manera.

La Subestación 1TII1 es la encargada de la alimentación de todo el equipamiento que comprende las series A y C de lixiviación, los Turboaeradores de la segunda etapa, las bombas de fondo del sedimentador 131 B, las bombas 02 B, 03 B, 03 A de los tanque de contacto así como las bombas 202 B y C. Esta Subestación presenta dos IICY (IICY 22 y IICY 25).

La **IICY-22** cuenta con 4 CCMs (1W22, 2W22, 3W22, 4W22) siendo estos del sistema de control de motores, donde el circuito de fuerza es gobernado por un interruptor caja moldeada.

El enlace entre las 2 secciones de la pizarra se realiza a través de una cuchilla.

La **IICY-25** cuenta con 4 CCMs (1W25, 2W25, 3W25, 4W25) que es un conjunto de pizarras de control de motores donde el circuito de fuerza es gobernado por un interruptor caja moldeada. Tanto la IICY-25 como la IICY-22 son alimentadas por interruptores del

tipo electrón de fabricación soviética, cada uno de ellos se alimenta de una sección de cada semiembarrados desde la WII y estos a su vez son alimentados de la sección 1 y 2 de la Subestación transformadora.

La Subestaciones **1ТII2-1**, **1ТII2-2** y la **1ТII4** son las encargadas de suministrar energía eléctrica a la serie B de lixiviación, los motores de los tanques de contacto 01, 02 (A, B y C) y las bombas 01 A, B y C; 02 A y C, 03 A y C y las bombas 04 A, B y C. La sección de enfriadores de licor, las bombas de aguas calientes que pertenecen a la planta de servicio energético y el esquema corto de cobalto. Esta Subestación presenta **2 ПICY** (20 y 21). La ПICY-20 cuenta con 3 CCMs (1W20, 2W20, 3W20). Que es un conjunto de pizarras del control de motores donde el circuito de fuerza es gobernado por un interruptor caja moldeada. Las pizarras que conforman los CCMS están divididas en dos secciones, las cuales están enlazadas entre sí por una cuchilla.

La ПICY 21 cuenta con 3 CCMs (1W21, 2W21, 3W21). Formadas por un conjunto de pizarras del control de motores donde el circuito de fuerza es gobernado por un interruptor caja moldeada no ajustable. Las pizarras que conforman las ПICY están divididas en dos secciones, las cuales están enlazadas entre sí por una cuchilla.

Tanto la **ПICY 20** como **ПICY 21**, son alimentadas por un interruptor de tipo electrón, cada uno de ellos alimenta una sección de cada CCM. Estos electrones forman las llamadas WII, que a su vez estas WII son alimentadas desde la sección 1 y 2 de la Subestación transformadora. Estas secciones 1 y 2 están compuestas por un interruptor de la serie Electrón con mayor capacidad en cuanto a corriente.

La Subestaciones **1ТII3** y la **1ТII17** alimentan la sección de lavado así como el sistema de bombeo de esta área exceptuando las bombas 202 B y C.

Estas Subestaciones alimentan a dos ПICY (ПICY- 23 y ПICY- 24). La ПICY-23 cuenta con 4W (1W23, 2W23, 3W23 y 4w23). Cada ПICY está formada por un conjunto de pizarras del Centro de control de motores (CCM).

La ПСЦ 24 cuenta con 6 CCMS (1W24, 2W24, 3W24, 4W24, 5W24, 6W24). Formadas por un conjunto de pizarras del control de motores donde el circuito de fuerza es gobernado por un interruptor caja moldeada.

Los elementos que componen el suministro eléctrico de esta Subestación es muy semejante en su funcionamiento y descripción a las Subestaciones 1ТΠ1 y 1ТΠ2.

2.8.2 Bombas y Turboareadores.

Bombas:

Las bombas en la planta de lixiviación y lavado cumplen diferentes funciones en dependencia de las zonas en que estén ubicadas las mismas.

En los tanques de contacto las bombas son centrífugas accionadas por motores que poseen potencia de 121, 132 y 90 Kw con corrientes nominales 197, 208 y 142 A que tienen la función de impulsar la pulpa a través de los reactores y descargarlas en las miniserias de los turboareadores de primera etapa.

En los enfriadores de licor los motores de las bombas poseen una potencia de 110 Kw y una In de 173 A. Las mismas hacen pasar el licor de recirculación por 6 baterías de enfriamiento y llevarla hasta las canales de los tanques de contacto.

Las bombas de fondo de los sedimentadores de lixiviación son bombas centrífugas accionadas por motores eléctricos de $P= 40$ Kw y $I_n = 61.7$ A, estas bombas bombean la pulpa desde una etapa de sedimentación a la próxima etapa de aireación y después a otra etapa de sedimentación.

Las bombas de fondo de los sedimentadores de lavado también son centrífugas, accionadas por motores de potencias 55 Kw $I_n = 92$ A que tienen la función de bombear la pulpa de una etapa a otra de lavado mediante una etapa de sedimentación.

Las bombas de cola tienen un motor de potencia de 132 Kw In = 208 A. Estas son las encargadas de bombear la pulpa empobrecida en níquel a la planta de recuperación de amoníaco.

Las bombas de licor de lixiviación y lavado poseen una potencia de 132 kW con In= 208 A. Estas bombas tienen la función de bombear el licor desde la última etapa de lavado hasta obtener el licor producto. Las bombas de licor de primera etapa bombean el licor producto a la planta de recuperación de amoníaco y otra parte constituye el licor de recirculación.

Las bombas del sistema de absorción poseen motores de P=5k KW con In=86 A. La función de estas bombas es bobear el licor débil hasta la quinta etapa de lavado.

Turboaeradores:

Tiene la función de agitar y airear la pulpa para lixiviar el Ni + Co contenido en el mineral reducido, estos Turboaeradores tienen una capacidad de 70 m³ y cuentan con un agitador que es movido por un motor eléctrico de potencias 36, 55 y 63 Kw con corrientes nominales de 60, 86 - 96 y 86 A.

Sedimentadores:

Por su importancia es valorado como un equipo de primera categoría. El mismo cuenta con una capacidad de 10000 m³.

La función del sedimentador es la de espesar la pulpa y clarificar los licores.

Los brazos están acoplados a un eje central, el cual es movido por dos reductores situados a 180° uno del otro. Estos reductores a su vez son movidos por un motor eléctrico de P= 5.5 Kw y una corriente de trabajo que oscila entre 2 y 7.5 A.

2.8.3 Posibles defectos mecánicos en los motores de la planta.

Estos motores pueden presentar defectos mecánicos tales como:

- Obstrucción de las líneas de bombeo de pulpa o licor.
- Defectos en los rodamientos que provocan calentamiento en el cilindro (Esto puede llegar a trancar la bomba).
- Defectos en los impelentes.

Estos asociados a otros que aparecen durante el trabajo continuo son los causantes de indeseables sobrecargas en los motores. La corriente de estos motores depende del estado mecánico de las bombas y que las líneas de bombeo no se encuentren obstruidas. En muchos de los casos estos motores trabajaban a la intemperie y se encuentran expuestos a derrames de líquidos como es el agua y el amoníaco, por fallas en las tuberías y válvulas dando pie a que surjan perturbaciones y fallas eléctricas que dificulten el buen funcionamiento y la estabilidad del sistema.

2.9 Puntos vulnerables a fallas eléctricas.

De forma general los puntos que mayores riesgos presentan ante las fallas son los de pocas accesibilidades ubicadas generalmente en los sistemas de bombeo. En la planta de Lixiviación los turbos son muy vulnerables por las condiciones a las que son expuestos, hay que tener en cuenta los equipos y maquinarias que tienen posibilidad de derramamientos de sustancias que provocan daños a las diferentes partes de los dispositivos, lugares donde la acción de los gases es inminente, equipos y dispositivos que se encuentran a la intemperie como son los sistemas de alimentación de las excavadoras que se encuentran en el suelo propensos al paso de camiones y de las propias excavadoras que provocan que sean trozados y el aislamiento se debilita produciéndose grandes cortocircuitos que generan inestabilidad en el sistema. Otros puntos están relacionados con los lugares donde no se realizan los mantenimientos y reparaciones adecuadas, como por ejemplo, malos empalmes, rodamientos con exceso de lubricación o sin lubricar, desacoples entre los mecanismos de accionamientos y por tan solo mencionar algunos de estos puntos vulnerables están presentes en:

- 1- Caja de conexiones de los motores en mal estado que propician la penetración de agua y gases en los motores.
- 2- Falso contacto en los empalmes de los conductores.
- 3- Pérdidas de aislamiento en los motores propiciado por la penetración de gases.
- 4- Vibraciones mecánicas que provocan la rotura de los conductores causantes de fallas a tierra.

Conclusiones.

1. El método estadístico seleccionado para procesamiento de datos para el estudio de las fallas del sistema eléctrico de la empresa es el descriptivo, atendiendo a la gran cantidad de variables a considerar.
2. Se determinó los puntos de mayor vulnerabilidad a fallas eléctricas en correspondencia con la información brindada en los esquemas monolineales de cada planta.
3. Estudiando las diferentes técnicas de diagnósticos y mantenimientos utilizados actualmente se comprobó que los más usados por su grado de implementación y eficiencia son los de mantenimientos Predictivos-Proactivos ligados a los monitoreos térmicos.
4. A pesar de las modernizaciones llevadas a cabo en la planta de Lixiviación al sistema de protección, aún aparecen con frecuencia fallas en el sistema eléctrico de la planta.
5. La caracterización del sistema eléctrico de la empresa y de la planta de Lixiviación, permitió el conocimiento de los puntos más vulnerables a fallas eléctricas siendo estos: los sistemas de bombeo, los turboaeradores, los puntos donde los equipos se exponen a la acción directa de los gases y derramamiento de sustancias y la acción directa del medio ambiente.

CAPÍTULO III Análisis de los resultados.

3.1 Introducción.

3.2 Comportamiento de las fallas en el sistema eléctrico de la fábrica.

3.3 Causas generales de ocurrencia de fallas eléctrica en las plantas de proceso.

3.4 Efectos que generan las fallas eléctricas.

3.5 Comportamiento de las fallas eléctrica en la planta de Lixiviación.

3.6 Análisis de los resultados.

3.7 Valoración económica.

Conclusiones.

3.1 Introducción.

El presente capítulo recoge los aspectos relacionados con los resultados de la investigación de forma tal que refleja como se comportan las diferentes fallas en el sistema eléctrico objeto de estudio, así como las causa generales de la aparición de las mismas y los efectos que se generan considerando principalmente sus comportamientos en la planta de Lixiviación como objeto de análisis, donde se muestra una valoración económica respecto a las inversiones referidas a los mantenimientos y reparaciones de motores eléctricos y de forma general se muestra una valoración de los resultados obtenidos.

Las averías en los Sistemas Eléctricos de Potencia son inevitables, estas pueden no solo ocurrir por el desgaste natural del aislamiento del elemento que está funcionando, sino incluso por la manipulación o instalación inadecuada de los operadores. Un cortocircuito puede no solo destruir el elemento donde haya ocurrido sino producir la pérdida de estabilidad de las máquinas generadoras e incluso la destrucción de otros elementos del sistema.

3.2 Comportamiento de las fallas en el sistema eléctrico.

Con la finalidad de poder evaluar el comportamiento de las fallas más frecuentes en el sistema eléctrico de la Fábrica Ernesto Che Guevara, se realiza una investigación de las incidencias reportadas en un período de tres años, comprendidos entre el 2006 y 2008. Para facilitar este análisis se elaboró una base de datos con los diferentes tipos de fallas ocurridas en cada una de las plantas de procesos y en la fábrica en general, las cuales serán referidas a continuación:

En las tablas de los anexos se encuentran las fallas generales a nivel de fábrica y por plantas de procesos, de la misma forma se encuentran las fallas referidas a los motores, las cuales nos permiten modelar de forma gráfica el comportamiento de las fallas a los distintos niveles a través de los gráficos de pasteles correspondientes a cada tabla.

Fallas	Cal,	Lix,	H2O	Sec,	Hor,	Min,	Rec,	CTE	Total
Descargas atmosféricas	0	0	7	2	0	0	0	0	9
Cortocircuitos tierra a	0	1	1	3	4	0	1	0	10
Oscilaciones	2	6	1	6	12	0	5	2	34
Transformadores	1	2	0	5	0	0	0	4	12
Contactos defectuosos	0	1	1	1	2	0	1	0	6
Fusibles	0	4	4	0	0	0	0	1	9
Interruptores	6	8	1	24	5	0	1	2	47
Cables	2	4	2	30	10	346	3	4	401
Magnéticos	1	1	3	4	7	0	2	3	21
Líneas	0	7	9	0	3	0	0	1	20
Alumbrado	3	3	3	5	3	37	0	2	56
Fallas de motores	57	193	7	150	205	316	38	27	993

Tabla 3.1 Fallas generales por plantas de procesos.

En la tabla 3.1 se muestran las frecuencias de aparición de las diferentes fallas eléctricas en el sistema eléctrico de las principales plantas de proceso de la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara, resultando ser las fallas de mayor frecuencia de aparición las referidas con los motores y los cables de alimentación (esta última la que más ocurre), siendo la Mina la que mayores problemas presenta en estos aspectos, no dejando de

mencionar a los Hornos, Lixiviación y Secaderos que presentan grandes dificultades con los motores.

Fallas	Sec	Cal	Lix	Pot	Hor	Min	NH3	CTE	Total
Corto cto caja de C	4	4	20	2	7	12	2	4	55
Escobillas	3	0	0	0	0	19	0	6	28
Averiaados	3	1	2	0	3	8	1	0	18
Bajo A.	7	4	25	0	26	4	6	3	75
Fases abiertas	2	0	5	0	14	8	0	0	29
Excitación	14	1	0	0	0	39	0	1	55
Porta escobillas	4	0	0	0	0	47	0	0	51
Cto cto interno	19	8	66	1	38	8	2	2	144
Rodamientos	17	7	2	0	14	23	5	5	73
Fase a tierra	10	0	2	0	3	1	0	0	16
Quemados	33	24	49	2	76	92	19	4	299
Puente abierto	0	0	0	0	0	10	0	1	11
Trancado	5	1	2	0	18	0	1	0	27
Cto cto cable Aliment.	7	1	6	0	3	0	1	0	18
Otras	21	6	10	2	5	45	0	1	90

Tabla 3.2 Fallas generales de motores por plantas de procesos.

En la tabla 3.2 encontramos las fallas principales que ocurren en los motores de las diferentes plantas de procesos, resultando ser la de mayor frecuencia la quema de motores, sin dejar de mencionar los problemas con los motores bajos de aislamiento, cortocircuitos en las cajas de conexión e internos, rodamientos, excitación y porta escobillas.

A continuación contamos con un grupo de gráficos que nos ayudan a comprender mejor la situación de las diferentes fallas en el sistema eléctrico de la fábrica:

El comportamiento de las fallas generales de motores y demás fallas del sistema eléctrico de la fábrica, se muestra a través de los gráficos 3.1 y 3.2, los demás gráficos anexados muestran específicamente las averías de cada planta por separado, cuya interpretación será el punto de partida que permitirá caracterizar las debilidades de nuestro sistema y a partir de ahí proponer soluciones que permitan minimizar los efectos negativos que provocan las fallas eléctricas ocurridas en la instalación objeto de análisis.

En las tablas (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 y 15) de los anexos se muestran la frecuencia de aparición de las diferentes fallas de los motores en el período de (2006 a 2008) en de cada una de las plantas de procesos, donde se observa que las averías más comunes son los cortocircuitos en cables de alimentación e internos, motores con bajo aislamiento, problemas de excitación, rodamientos, fases a tierra y motores quemados, siendo este último el de mayor % de aparición con un 29 %, causa fundamental de pérdidas económicas por provocar un mayor tiempo de interrupción.

En las tablas (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16) de los anexos se muestran la frecuencia de aparición de las fallas generales en el período de (2006 a 2008) de cada una de las plantas de procesos, donde se observa que las más comunes son los problemas de alumbrado, interruptores, defectos en cables de alimentación y fallas motores, siendo estos dos últimos los de mayores % de aparición con un 25 % y 62 % respectivamente, lo que traen consigo grandes pérdidas económicas por provocar grandes tiempos de interrupción.

Fallas	Calc. (%)	Lix (%)	H2O (%)	Sec (%)	Hor (%)	Min (%)	Rec (%)	CTE (%)
Descargas atmosféricas	0	0	0,4	0,1	0	0	0	0
Cortocircuitos a tierra	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0	0,1	0
Oscilaciones	0,1	0,4	0,1	0,4	0,7	0	0,3	0,1
Transformadores	0,1	0,1	0	0,3	0	0	0	0,2
Contactos defectuosos	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0
Fusibles	0	0,2	0,2	0	0	0	0	0,1
Interruptores	0,4	0,5	0,1	1,5	0,3	0	0,1	0,1
Cables	0,1	0,2	0,1	1,9	0,6	21,4	0,2	0,2
Magnéticos	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0	0,1	0,2
Líneas	0	0,4	0,6	0	0,2	0	0	0,1
Alumbrado	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	2,3	0	0,1
Fallas de motores	3,5	11,9	0,4	9,3	12,7	19,5	2,3	1,7

Tabla 3.3 Fallas generales en % en plantas de procesos.

La tabla 3.19 nos permite conocer el % del total de aparición de las diferentes fallas en el sistema de suministro eléctrico de las diferentes plantas de procesos, constituyendo las fallas de motores la que mayor % de aparición tiene.

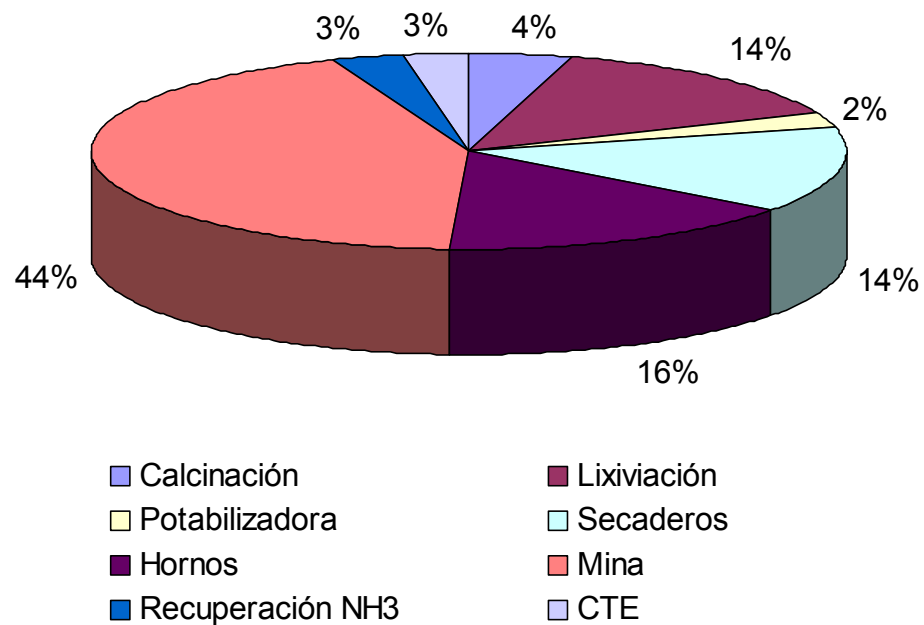


Gráfico 3.1 Fallas generales en plantas de procesos.

En el gráfico 3.1 se puede observar que las plantas de mayores incidencias de fallas son la Mina, Hornos, Secaderos y Lixiviación, ocupando un 44 %, 16 %, 14 % y 14 % respectivamente debido a las condiciones y al régimen de trabajo a las que son sometidas a diario.

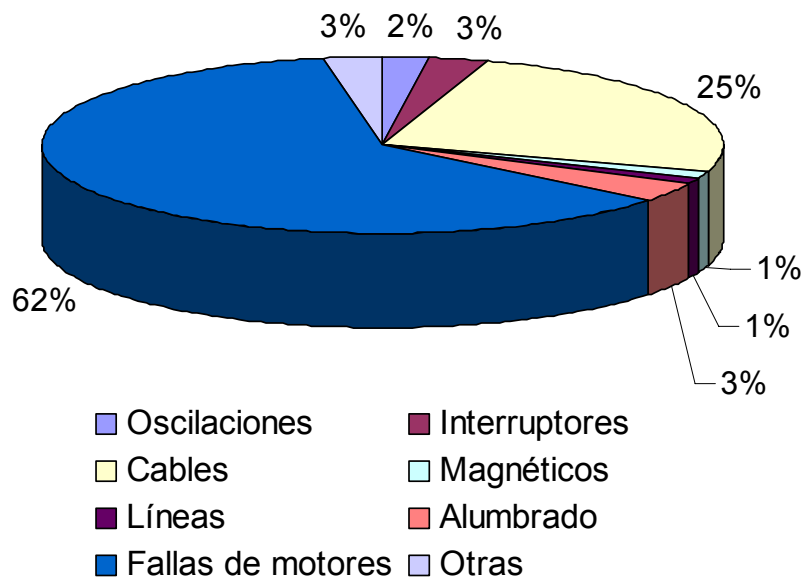


Gráfico 3.2 Fallas generales de la fábrica (2006-2008).

Este gráfico 3.2 nos proporciona la información de que la falla que con mayor frecuencia se manifiesta en la fábrica es la relacionada con los motores, por lo que resulta de gran interés el estudio más detallado de las causas de la ocurrencia de las mismas, puesto que en la industria niquelífera más del 80% de las funciones se realizan a partir de los motores eléctricos. Por otra parte no se puede dejar de mencionar los problemas que existen con los cables de alimentación, causa fundamental de la no funcionalidad de los diferentes equipos eléctricos que ejercen distintas funciones en cada una de las plantas, siendo la Mina la que mayor problema presenta en este aspecto debido a las condiciones a las que están expuestos los conductores, aspecto que facilita la aparición de los fenómenos que ocasionan la mala operación de los diferentes dispositivos y por ende la eficiencia de estos y la fábrica como tal.

Las causas fundamentales de la aparición de las fallas antes mencionadas se les atribuyen a las condiciones medio ambientales, la no observación periódica de las partes de posible riesgo de fallas, así como, a la falta de mantenimientos periódicos, acciones que contribuyen a la disminución de las frecuencias de aparición de las mismas y a la reducción del grado de envejecimiento de los diferentes dispositivos, tanto eléctricos, como mecánicos, por lo que se necesita de un grado de responsabilidad ante las acciones a llevar a cabo, siendo el caso de la utilización de nuevas técnicas de diagnóstico y mantenimientos que disminuirían los costos de inversiones de piezas de repuesto y minimizarían los tiempos de afectaciones al proceso productivo.

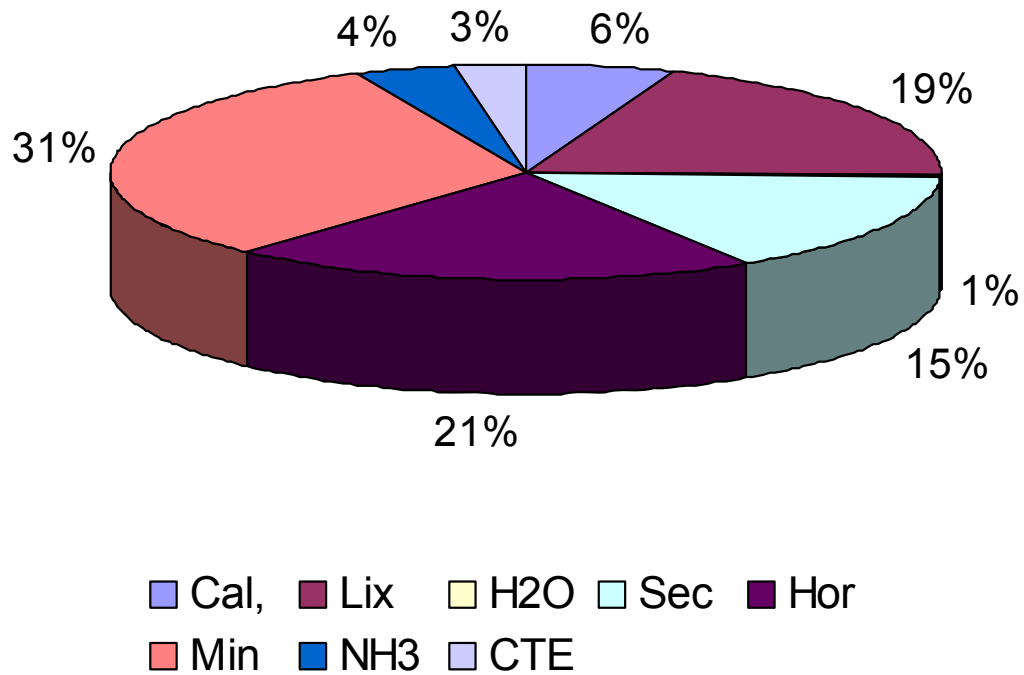


Gráfico 3.3 Fallas generales de motores por plantas de proceso (2006-2008).

En el gráfico 3.3 se observa que las fallas de motores ocurren con mayores frecuencias en las plantas de la Mina con un 31 % de ocurrencia, Hornos con un 21 %, Lixiviación con un 19 % y Secaderos con un 15 %, esto se debe a las condiciones de operación a las que son sometidos estos.

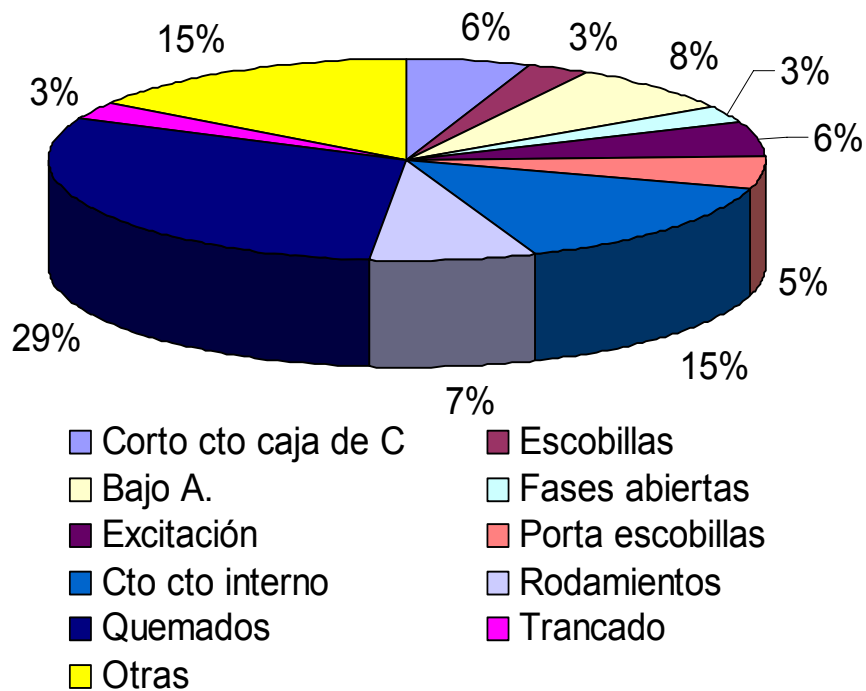


Gráfico 3.4 Fallas de motores (2006-2008) a nivel de fábrica.

En este gráfico 3.4 se puede observar que dentro de las fallas de motores las más frecuentes son las de motores quemados, cortocircuito interno, bajo aislamiento, rodamientos, excitación, cortocircuitos en las cajas de conexión, así como problemas con las escobillas y portaescobillas no dejando de mencionar los motores trancados, todas estas fallas están relacionadas con la falta de revisión periódica y de mantenimientos eventuales que están destinadas para la disminución de la aparición de las mismas, lo que conlleva a que los motores pierdan tiempo de vida útil y por consecuencia su índice de rendimiento se reduzca de tal forma que repercuta directamente en la eficiencia del mismo y de la planta a la que pertenece, otra de las causas está relacionada con la mala calibración de los medios de protección que no actúan en el tiempo reglamentado técnicamente y a consecuencia de esto se ve afectado directamente la calidad del servicio de suministro eléctrico en general de todas las plantas de la fábrica, no obstante en la actualidad se recomiendan los métodos de detección de fallas a través de la utilización de cámaras termográficas unidas con los métodos de vibraciones y otros más que posibilitan dar un diagnóstico lo más cercano a la realidad con un costo reducido sin contar la

inversión inicial de los equipos para realizar dicho trabajo, sin embargo, se ahorraría en tiempo de interrupción y de horas/hombre, así como la inversión en piezas de repuesto y material de mantenimiento lo que permitiría en corto plazo amortizar dicha inversión.

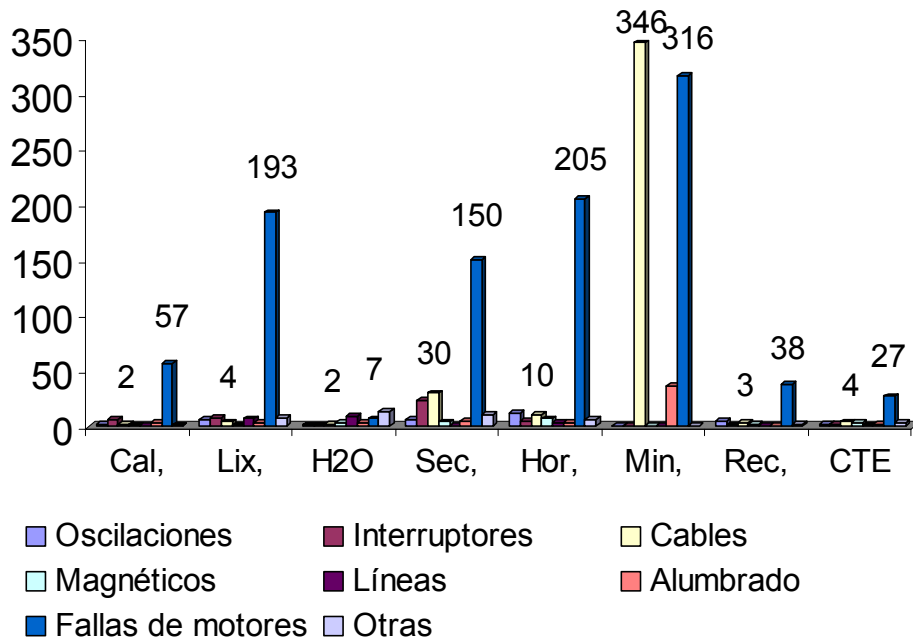


Gráfico 3.5 Fallas generales por plantas de proceso (2006-2008).

En el gráfico 3.5 se puede apreciar que las fallas que más prevalecen son las referidas a los cables de alimentación y motores, siendo la Mina La que mayores dificultades presenta con motores y cables, también es necesario mencionar las plantas de Lixiviación, Hornos y Secaderos por sus grados de afectaciones.

Las plantas de mayores riesgos de fallas son la Mina, Secaderos, Hornos y Lixiviación por las condiciones especiales de cada área en específico, por lo que decidimos encaminar nuestro trabajo hacia un estudio pormenorizado de las causas fundamentales por las cuales ocurren estas perturbaciones. Según los archivos de registro de incidencias de la fábrica en el período que comprende los años 2006, 2007 y 2008 se puede destacar que la planta que presenta mayores dificultades con el sistema de cableado es la Mina, ya que los mismos se encuentran a la intemperie, son extremadamente largos, están en constantes movimientos debido a que las excavadoras no trabajan fijas en un lugar, los

carros le pasan por arriba lo que provoca que el material aislante de dichos conductores se valla deteriorando facilitando así la aparición de problemas que tentan contra el buen funcionamiento del sistema, no dejando de mencionar que los motores son la cusa fundamental de ocurrencia de interrupciones en el sistema debido al arsenal de problemas que presentan a diario por los regímenes de trabajo a los cuales están sometidos y en ocasiones por la mala operación de los operadores debido a su mala preparación y al grado de irresponsabilidad y sentido de pertenencia que poseen.

3.3 Causa generales de ocurrencia de fallas eléctricas en plantas de proceso.

Por tan solo mencionar algunas de **las causas** que provocan las fallas podemos referirnos a que en ocasiones la mala manipulación de los dispositivos por parte de los operadores por su mala preparación y responsabilidad ante el trabajo que realizan, los deficientes mantenimientos, problemas de coordinación de protecciones y defectos sin proteger, fallas en unidades electrónicas de breakers ELEKTRON, fallas en los esquemas de UPS, la falta de capacitación de los ejecutores de los mantenimientos y por consecuencia la mala ejecución conllevan a que los dispositivos operen fuera de las normas técnicas, la falta de revisión periódica de los puntos de mayor riesgo de ocurrencia de fallas, en fin un sin número de deficiencias que se deben tener en cuenta en los diferentes esquemas de suministro eléctrico para aumentar el nivel de confiabilidad y eficiencia de los mismos.

En la planta de calcinación.

Las principales causas de averías de los motores de los mecanismos de los electrofiltros son fallas del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases debido a la acción del polvo acumulado que es conductor de la electricidad y problemas mecánico.

Los motores de los mecanismos de elevación de los sedimentadores, entre las principales causas de averías se encuentran fallas del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases debido a la acción de los gases.

Los motores de los agitadores de los filtros de vacío, entre las principales causas de averías se encuentran falla del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases debido a la acción del Carbonato de níquel que es conductor de la electricidad.

En la planta de Cobalto.

Entre las principales causas de averías de los motores de las bombas se encuentran fallas del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases debido a la acción del agua que es conductora de la electricidad.

En la planta de Hornos de Reducción.

Las principales causa de averías de los motores de los mecanismos de los electrofiltros son fallas del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases debido a la acción del polvo acumulado que es conductor de la electricidad y problemas mecánico.

Los motores de los Yacobis y ejes centrales, entre las principales causas de averías se encuentran fallas del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases debido a la acción del polvo acumulado que es conductor de la electricidad, problemas mecánico y regimen de sobrecarga con, toques repetitivos.

Los motores de la Romana, entre las principales causas de averías se encuentran falla del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases debido a la acción del polvo acumulado que es conductor de la electricidad.

Los motores de los enfriadores, entre las principales causas de averías se encuentran falla del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases debido a la acción del polvo acumulado que es conductor de la electricidad y Problemas mecánico.

Los motores de la bomba del foso, entre las principales causas de averías se encuentran Desajuste de las protecciones térmicas. (están expuestos a sobrecarga).

Los motores de las bombas, entre las principales causas de averías se encuentran problemas mecánicos.

Los motores de los mecanismos de postcombustión y los motores de los ventiladores, entre las principales causas de averías se encuentran falla del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases debido a la acción del polvo acumulado que es conductor de la electricidad.

En la planta de Lixiviación.

Los motores de giro de los sedimentadores y los motores extractores de gases, entre las principales causas de averías se encuentran falla del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases por la acción de los gases de amoníaco.

Los motores de las bombas de alta presión, las principales causas de averías se encuentran Problemas mecánicos.

- Los motores de los turbos, las principales causas de averías se encuentran fallas del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases por la acción de los gases de amoníaco, problemas mecánicos, Desajuste de las protecciones térmicas. (están expuestos a sobrecarga).

En la Mina.

Los motores de los Ventiladores de los motores de Corriente directa de la excavadoras las principales causas de averías se encuentran durante el proceso de transporte y montaje, se manipulan incorrectamente, donde estos se inutilizan ya que las patas se parten, los escudos, las cajas de conexión, muchos motores están trabajando con altas vibraciones debido a, mala alineación, desbalance del inelente del ventilador, la protección térmica en algunas excavadoras para estos motores es una para accionar todos los motores.

Los motores de las bombas de lubricación, así como los motores de corriente directa las principales causas de averías son problemas mecánicos.

Los motores sincrónicos las principales causas de averías son fallas del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases debido a la acción del polvo acumulado que es conductor de la electricidad.

En la planta de Recuperación de amoníaco.

Los motores de los VE-405 las principales causas de averías son fallas del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases por la acción de los gases de amoníaco.

Los motores de la bomba de lavado de los filtros las principales causas de averías son fallas del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases por la acción de los gases de amoníaco y agua que es conductora de electricidad.

Los motores de la bomba de cola las principales causas de averías son falla del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases debido a la acción del agua que es conductora de la electricidad y estos motores están expuestos a regímenes de sobrecarga.

En la planta de CTE.

Entre las principales causas de averías se encuentran problemas mecánicos y falla del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases debido a la acción del agua que es conductora de la electricidad.

En la planta de secaderos.

Las principales causas de averías de los motores de los mecanismos de los electrofiltros son fallas del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases debido a la acción del polvo acumulado que es conductor de la electricidad y problemas mecánicos.

Los motores de los transportadores de paleta y los machetes las principales causas de averías son falla del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases debido a la acción del polvo acumulado que es conductor de la electricidad. Durante el proceso de transporte y montaje, se manipulan incorrectamente muchos motores donde estos se inutilizan ya que las patas se parten, los escudos, las cajas de conexión. Muchos motores están trabajando con altas vibraciones debido a, mala alineación, problemas mecánicos. Están expuestos a sobrecargas excesivas.

Los motores de los exhausters las principales causas de averías son problemas mecánicos. Los motores de los molinos las principales causas de averías son fallas del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases debido a la acción del polvo acumulado que es conductor de la electricidad.

Los motores de los ventiladores de aire y pulverización entre las principales causas de averías se encuentran fallas del aislamiento debido al envejecimiento prematuro de los materiales aislantes entre fases debido a la acción del polvo acumulado que es conductor de la electricidad.

3.4 Efectos que generan las fallas eléctricas.

Generalmente las fallas provocan interrupciones en el sistema de suministro eléctrico de las diferentes secciones de producción debido a que al desconectarse un interruptor u otro dispositivo de desconexión trae como consecuencia la apertura de una o varias secciones de alimentación que comúnmente distribuyen la energía a los diferentes consumidores y al estos quedar desenergizados se interrumpe la cadena productiva generando grandes pérdidas e inestabilidades en el sistema que pueden dar paso a que otros dispositivos sean dañados por los efectos de los procesos transitorios que se introducen a las líneas de alimentación, llegando incluso hasta la pérdida del control del sistema trayendo como resultado un posible caos al sistema y lamentables pérdidas de recursos y vidas humanas.

3.5 Comportamiento de las fallas en el sistema eléctrico de Lixiviación.

Comportamiento de las fallas de Lixiviación:

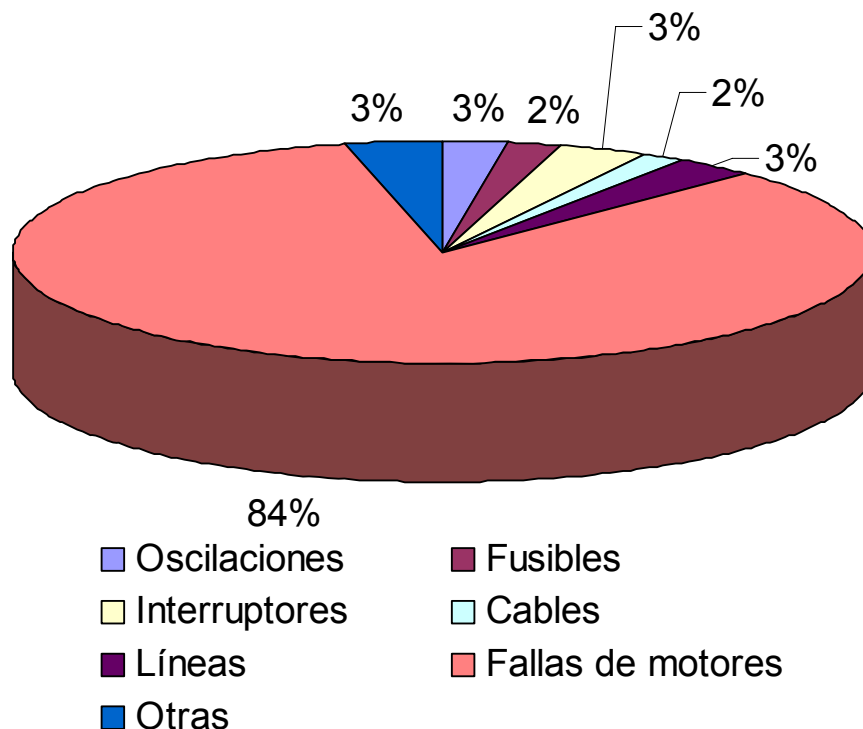


Gráfico 3.6 Fallas generales de Lixiviación.

El gráfico 3.6 muestra el comportamiento de las diferentes fallas del sistema de eléctrico de la planta de Lixiviación, donde se observa que las fallas que mayores frecuencias de aparición presentan son las de motores ocupando un 84 % del total de fallas reportadas en el período, el % restante se le atribuye a las oscilaciones, interruptores, líneas, que ocupan un 3 % cada una, fusibles y cables ocupan el 2 % cada una y un 3 % de otras fallas de diversos orígenes que aparecen casualmente y no reportan afectaciones que conlleven a pérdidas económicas importantes.

De acuerdo con la situación ocasionada por las fallas de los motores de la planta y por el grado de importancia en el proceso productivo se decidió encaminar el estudio hacia las diferentes situaciones que provocan las fallas de los motores.

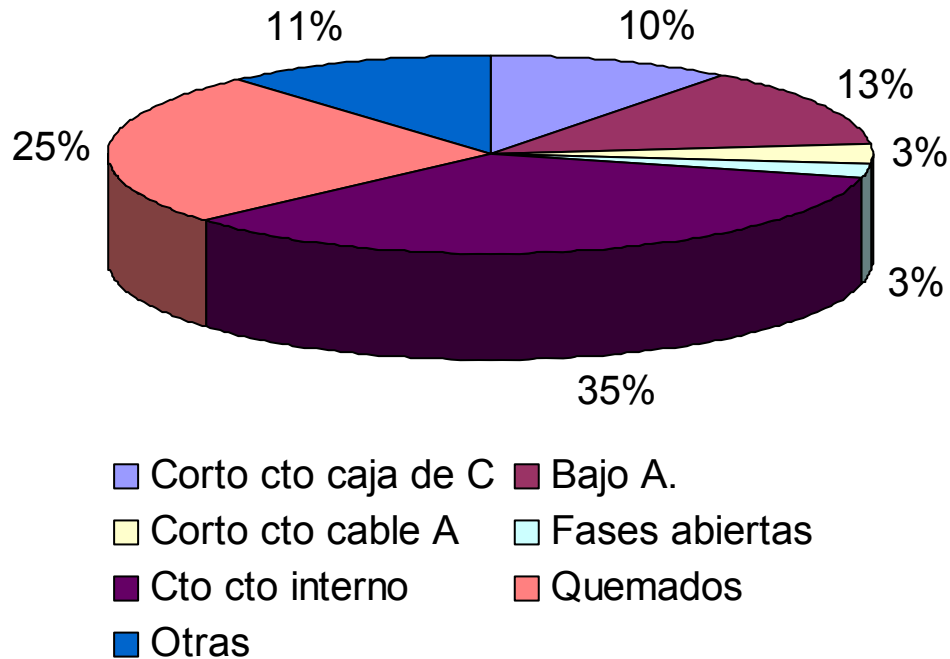


Gráfico 3.7 Fallas de motores de Lixiviación.

En el gráfico 3.7 se observa que dentro de las fallas de los motores las más frecuentes son en primer orden los cortocircuitos internos con un 35 %, La quema de motores es la segunda causa de mayor frecuencia de aparición con un 25 %, la tercera causa es la de motores bajos de aislamiento con un 13 % y la cuarta es la de cortocircuitos en las cajas de conexiones con un 10 % de aparición.

3.5.1 Causas de las diferentes fallas.

Las **causas** fundamentales de los **cortocircuitos internos** son provocadas principalmente por las altas vibraciones que se generan en los motores por los desacoples entre los dispositivos de accionamientos mecánicos de los diferentes aparatos del proceso, problemas que se originan en ocasiones por la falta de mantenimientos periódicos y la falta de observación de los puntos de mayores esfuerzos mecánicos, las espiras van perdiendo las vestiduras aislantes hasta hacer contactos entre ellas provocando altas temperaturas que perjudican el estado técnico de la máquina sacándola fuera de servicio, otra de las causas es el envejecimiento por el tiempo y las condiciones de explotación a las que son sometidos.

Las **causas** por las cuales se **queman** los motores se originan por diversas razones como las expuestas anteriormente y las condiciones de esfuerzos mecánicos provocadas por las acciones de fenómenos externos, como, oscilaciones de tensión y corriente, la variación de las cargas, sin dejar de mencionar las contaminaciones provocadas por la acción del medio ambiente y de las condiciones del área en específico en el que se encuentran ubicados, lo anteriormente expuesto genera grandes corrientes superando en gran medida las soportadas por las máquinas en su diseño original lo que provoca que se deterioren los conductores llegando incluso a su fundición y por ende su quema total o parcial, otra de las causas está relacionada con los interruptores sobredimensionados, en la mayoría de los casos ajuste incorrecto de las protecciones térmicas, en algunos casos no existe coordinación de las protecciones desde la carga hasta las fuentes, además de que las subestaciones y protecciones son de fabricaciones rusas y poseen un grado de envejecimiento bastante elevado.

Los **motores bajos de aislamientos** están relacionados generalmente con la contaminación ambiental a la que se someten diariamente de acuerdo a su ubicación en el proceso, la humedad relativa del ambiente crea capas de polvo alrededor de los devanados generándose fugas de corrientes que incluso provocan cortocircuitos entre los

devanados y la carcasa del motor que fuerzan a las protecciones a desenergizar el equipo, otra de las causas es el derramamiento de sustancias como agua, grasas, minerales, etc.

Los **cortocircuitos en las cajas de conexiones** se originan por la carencia de conectores y mangueras flexibles en los cables de alimentación de los motores a sus cajas de conexiones, por la falta de cubiertas de las cajas por lo que no se encuentran selladas, lo que provoca que actúe de forma negativa el medio ambiente a través de agentes externos como el polvo y otras sustancias que generan saltos de corrientes de acuerdo con los niveles de corriente y tensión a las que operan estos dispositivos.

Luego de realizar una exhaustiva búsqueda de **las perturbaciones** que mayormente aparecen en el sistema de suministro eléctrico de la planta nos percatamos que los motores que se ven afectados mayormente son los de los turboaeradores por las condiciones y el régimen de trabajo a los que son sometidos diariamente, estos no solo son afectados por las razones expuestas anteriormente, sino también por las acciones adversas de los sistemas de protección que en muchas ocasiones no se ajustan con los parámetros técnicos de explotación de las máquinas y además de todo esto son de difícil acceso por lo que dificulta la realización de los mantenimientos y por tal razón se ejecutan en gran medida sin la calidad requerida.

3.6 Análisis de los resultados.

Tomando como referencia los resultados obtenidos después de analizar las diferentes incidencias de las fallas en el sistema eléctrico en el período fijado y los estudios realizados en el análisis bibliográfico, podemos llevar a cabo un mejor análisis de los resultados a partir de una mejor interpretación de los mismos.

En los resultados realizamos breves comentarios sobre la información obtenida a partir de los diferentes gráficos y las tablas de frecuencias, pudiendo observar que las fallas que más frecuencias de apariciones tienen son las de motores con un 62 % aproximadamente del total de las fallas de la fábrica.

La planta de Lixiviación ocupa un 14 % de las fallas generales de la fábrica, dentro de las fallas generales de motores representan el 19 % y dentro de sus fallas generales el 84 % es ocupado por las fallas de motores, lo que representa un problema potencial al que se le debe dar seguimiento por el peligro que representa en la estabilidad y calidad del sistema de suministro de energía y de echo por lo que representa en cuanto a pérdidas económicas.

3.7 Valoración económica.

La fábrica Ernesto Che Guevara cuenta con 59 motores de media tensión y 2532 de baja tensión para un total de 2591 motores, de ellos la planta de Lixiviación y lavado posee 207 de baja tensión y ninguno de media tensión, lo que representa el 8 % de los motores de la fábrica y el 8.2 % de los motores de baja tensión. De acuerdo con las potencias nominales de los motores la planta posee la siguiente relación:

La planta de Lixiviación cuenta con 207 motores de los cuales 35 son de 0 – 7.5 kW, 2 de 15 kW, 2 de 35 kW, 12 de 40 kW, 94 de 55 kW, 12 de 60.5 – 75 kW, 4 de 90 kW, 32 de 110 kW, 13 de 121 – 132 kW y 1 de 287 kW. Si se fuera a dar mantenimiento a todos estos motores se perderían 90 826.5 en MN y 100 493.75 un USD. En reparaciones se gastarían un promedio de 290 053.57 en MN y 164 684.46 en USD.

Ahora llevando esto a los % de fallas de motores que ocupa la planta en el período estudiado, sabiendo que las fallas de dichos motores ocupan el 84 % para un total de motores averiados de 193 se pierden en mantenimiento alrededor de 76 294.26 en MN y 84 414.75 en USD. En reparaciones se pierden alrededor de 243 644.9988 en MN y 138 334.95 en USD. Todo esto representa el 19 % de las pérdidas a nivel de fábrica en conceptos de reparación y mantenimiento teniendo en cuenta las especificaciones dadas en el párrafo anterior.

Si al implementar los nuevos métodos de diagnósticos y mantenimientos recomendados se lograra disminuir las incidencias de fallas en el sistema de suministro eléctrico de la planta en un 50 % y teniendo en cuenta las especificaciones anteriores se ahorrarían en mantenimiento 38 147.13 en MN y 42 207.38 en USD y en reparaciones se ahorrarían 121 822.5 en MN y 69 167.48 en USD.

Teniendo en cuenta los gastos por reparación de los motores de la planta de Lixiviación y tomando los valores máximos del costo de reparaciones, tenemos que de un total de 207 motores que posee la misma se pierden por concepto de reparaciones:

Pn (kW)	Cant	Precio/ud	Importe Total	
			MN	USD
0,63	1	154,43	73,8	80,5
0,66	4	154,43	295,2	322
1,1	3	154,43	221,4	241,5
1,3	1	154,43	73,8	80,5
1,5	2	154,43	147,6	161
5,5	17	154,43	1254,6	1368,5
6,6	2	154,43	147,6	161
7,5	5	154,43	369	402,5
15	2	281,16	327,36	234,96
35	2	1534,95	2280,12	789,78
40	12	2530,2	20313,12	10073,28
55	94	2532,2	154884,74	83142,06
60,5	5	2269,65	6246,5	5101,75
63	4	2269,65	4997,2	4081,4
75	3	2269,65	3747,9	3061,05
90	4	2219,01	3944,6	4931,44
110	32	3118,25	62243,52	37540,48
121	8	2941,48	16956,48	6575,36
132	5	2941,48	10597,8	4109,6
287	1	3157,03	931,23	2225,8
Total	207	454738.03	290053,57	164684,46

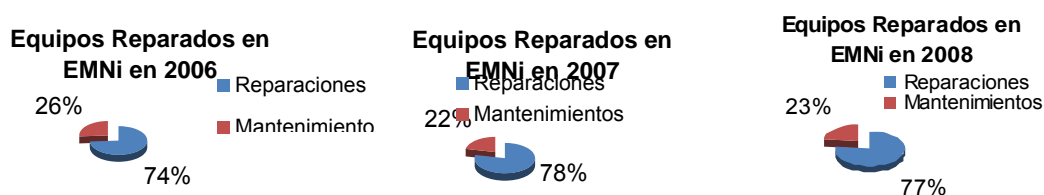
Tabla 3.4 Gastos de reparación de motores.

Mantenimiento de motores				
Pn (kW)	Cant	Precio/ud	Importe Total	
			MN	USD
0,63	1	91,95	33,29	58,66
0,66	4	91,95	133,16	234,64
1,1	3	30,1	71,13	19,17
1,3	1	30,1	23,71	6,39
1,5	2	50,05	45,04	55,06
5,5	17	52,52	576,98	315,86
6,6	2	92,08	109,98	74,18
7,5	5	92,09	270,5	185,5
15	2	143,76	135,94	151,58
35	2	282,23	297,74	266,72
40	12	549,88	4179,36	2419,2
55	94	1850,14	13117,7	45175,46
60,5	5	1238,76	1846,4	4347,4
63	4	2269	7205,08	1870,92
75	3	2270	5403,84	1403,22
90	4	1102,44	2788,32	1621,44
110	32	2351,25	38936,32	36303,68
121	8	1287,7	9432,4	869,2
132	5	1262,69	3407,5	2905,95
287	1	5021,63	2812,11	2209,52
Total	207	191320,25	90826,5	100493,75

Tabla 3.5 Gastos de mantenimiento de motores.

Año	Tipo de Servicio	Cant. Equipos	Importe	Importe Anual
2006	Reparaciones	743	1269564,7	1735709,15
	Mantenimientos	264	466144,45	
2007	Reparaciones	1007	1341693,87	1651522,91
	Mantenimientos	278	309829,04	
2008	Reparaciones	854	1247363,15	1474928,66
	Mantenimientos	254	227565,51	

Tabla 3.6 de importes de reparación y mantenimientos reales.



Estos gráficos muestran como se han comportado las inversiones de reparación y mantenimiento a nivel de fábrica en el período de 2006 – 2008, donde se observa que las reparaciones han ocupado alrededor del 76 % como promedio en los tres años y el resto se atribuyen a los mantenimientos, si se sacara la relación de acuerdo con el porcentaje de pérdidas supuesto anteriormente (19 %) se obtendría que se invertirían por las reparaciones y mantenimientos en los tres años la relación siguiente:

Año	Tipo de Servicio	Importe	Importe Anual
2006	Reparaciones	241 217, 29	329 784, 74
	Mantenimientos	88 567, 45	
2007	Reparaciones	254 921, 84	313 789, 35
	Mantenimientos	58 867, 52	
2008	Reparaciones	236 998, 99	280 236, 45
	Mantenimientos	43 237, 45	

Tabla 3.7 de importes de reparación y mantenimientos según especificación.

Concluyendo que las pérdidas totales en mantenimiento y reparaciones entre los tres años estudiados ascienden a 923 810, 54 ud.

Si se lograra disminuir en un 50 % las incidencias de las fallas en el sistema eléctrico esto proporcionaría un ahorro en las inversiones de reparaciones y mantenimientos de 461 905, 27 ud y se podría respaldar en poco tiempo las inversiones a realizar en cuestiones de equipamientos para la implementación de las técnicas propuestas para la disminución de la aparición de fallas en el sistema eléctrico de la planta y de la fábrica en general.

CONCLUSIONES.

En este capítulo se realizó un análisis de los resultados obtenidos durante el estudio estadístico implementado. Se analizó del comportamiento de las diferentes variables en estudio mostrando sus característica en forma de tablas y gráficos para interpretar los resultados y llegar a las siguientes conclusiones:

1. Las fallas que mayores frecuencias de aparición presentan son las de motores ocupando a nivel de fábrica el 62 % del total de fallas.
2. Dentro de las fallas de motores las plantas de mayores incidencias de fallas son la Mina con un 31 %, Hornos con un 21 %, Lixiviación con un 19 % y Secaderos con un 15 %.
3. La planta de mayor incidencia de fallas es la Mina ocupando el 44 % del total de fallas de la fábrica.
4. Las fallas que mayormente aparecen en los motores son la quema de estos con un 29 %, cortocircuitos internos con un 15 % y problemas con los rodamientos con un 7 %.
5. Las causas generales por las cuales aparecen las diferentes fallas en el sistema eléctrico de la fábrica generalmente son:
 - Mala manipulación de los dispositivos por parte de los operadores por su mala preparación y responsabilidad ante el trabajo.
 - Mantenimientos deficientes.
 - Problemas de coordinación de protecciones y fallas sin cubrir.
 - Falta de capacitación del personal de mantenimientos y por consecuencia la mala ejecución conlleva a operaciones fuera de las normas técnicas.

Conclusiones Generales.

1. Los componentes en mal estado debido a la condición medio ambiental a la que se someten a diario influyen directamente en la confiabilidad de las instalaciones eléctricas.
2. La contaminación ambiental causa serios daños tanto a las partes metálicas como a las partes aislantes de los dispositivos eléctricos.
3. El efecto fundamental de la contaminación sobre las partes metálicas es el de la corrosión, que puede provocar el debilitamiento mecánico de la instalación, provocando interrupciones severas en el servicio.
4. La acción de la contaminación sobre las partes aislantes provoca fallas en el sistema eléctrico bajo condiciones normales de operación.
5. A partir de las condiciones medio ambientales, muchos de los componentes no cumplen las funciones requeridas por razón de envejecimiento.
6. El usar diferentes tecnologías juntas indudablemente ayudará a obtener resultados más exactos y corroborar los diagnósticos, permitiendo de esta forma la disminución de las frecuencias de aparición de las fallas en los sistemas eléctricos.
7. Los métodos empleados en la fábrica Ernesto Che Guevara para realizar los diagnósticos y mantenimientos no cumplen con los requisitos técnicos necesarios para dar un pronóstico más exacto sobre los fenómenos que ocurren en el sistema debido a que no cuentan con los equipamientos necesarios para la ejecución de los mismos.

8. La caracterización del objeto de estudio nos facilitó la detección de las fallas que mayormente se presentan en el sistema eléctrico de la fábrica debido al conocimiento de los puntos de mayor vulnerabilidad del mismo.
9. El método estadístico seleccionado para procesamiento de datos para el estudio de las fallas del sistema eléctrico de la empresa es el descriptivo, atendiendo a la gran cantidad de variables a considerar.
10. Estudiando las diferentes técnicas de diagnósticos y mantenimientos utilizados actualmente se comprobó que los más usados por su grado de implementación y eficiencia son los de mantenimientos Predictivos-Proactivos ligados a los monitoreos térmicos.
11. A pesar de las modernizaciones llevadas a cabo en la planta de Lixiviación al sistema de protección, aún aparecen con frecuencia fallas en el sistema eléctrico de la planta.
12. La caracterización del sistema eléctrico de la empresa y de la planta de Lixiviación, permitió el conocimiento de los puntos más vulnerables a fallas eléctricas siendo estos: los sistemas de bombeo, los turboaeradores, los puntos donde los equipos se exponen a la acción directa de los gases y derramamiento de sustancias y la acción directa del medio ambiente.
13. Las fallas que mayores frecuencias de aparición presentan son las de motores ocupando a nivel de fábrica el 62 % del total de fallas.
14. Dentro de las fallas de motores las plantas de mayores incidencias de fallas son la Mina con un 31 %, Hornos con un 21 %, Lixiviación con un 19 % y Secaderos con un 15 %.

15. La planta de mayor incidencia de fallas es la Mina ocupando el 44 % del total de fallas de la fábrica.
16. Las fallas que mayormente aparecen en los motores son la quema de estos con un 29 %, cortocircuitos internos con un 15 % y problemas con los rodamientos con un 7 %.
17. Las causas generales por las cuales aparecen las diferentes fallas en el sistema eléctrico de la fábrica generalmente son:
 - Mala manipulación de los dispositivos por parte de los operadores por su mala preparación y responsabilidad ante el trabajo.
 - Mantenimientos deficientes.
 - Problemas de coordinación de protecciones y fallas sin cubrir.
 - Falta de capacitación del personal de mantenimientos y por consecuencia la mala ejecución conlleva a operaciones fuera de las normas técnicas.

Recomendaciones.

1. Elaborar un proyecto de detalle para la implementación de las nuevas técnicas de diagnóstico y mantenimiento.
2. Elaborar un plan de capacitación con vista a la introducción de las nuevas estrategias.
3. Controlar el estricto cumplimiento de las revisiones y los diagnósticos de los dispositivos con vista a detectar a tiempo las anomalías que pueden ocurrir en el sistema.
4. Revisar las diferentes fuentes de información relacionadas con las nuevas tecnologías predictivas para la realización de comparaciones que permitan elegir la técnica más apropiada a desarrollar en este ámbito ante los diferentes casos de fallas eléctricas.
5. Aglutinar y relacionar las diferentes tecnologías predictivas de diferentes fuentes con el propósito de confirmar y aumentar los niveles de exactitud en los diagnósticos relacionados principalmente con las fallas de motores eléctricos.

Bibliografía.

1. **Álvarez C. J. “Determinación de fallas en motores eléctricos” Tesis de pregrado. ISMM. Cuba. 2008**
2. **Bousa H. C. N. y Sistachs V. V. “Estadística Teoría Básica y Ejercicios” L/T. Editorial Pueblo y Educación Félix Varela, 2004**
3. **Colectivo A. “Nuevas estrategias de monitoreo en línea para motores de inducción”, Grupo de Investigación en Manejo Eficiente de la Energía Eléctrica (GIMEE) – GIMEL –Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia”**
4. **Carvajal M. F.A. et al. 1998**
5. **Estupiñán P. E. A. “Alcances de la implementación de nuevas técnicas de análisis en los programas de mantenimiento predictivo – proactivo en la industria” Tesis de Maestría. Departamento de Ingeniería Mecánica – Universidad de Tarapacá. CHILE. 2007**
6. **Figuroa J., Estupiñán E. y P. Saavedra. Adquisición y Análisis de vibraciones en Máquinas de Velocidad Variable. Marzo del 2002. Revista Instrumentation – NI.**
7. **García A. Gervasio “Análisis de fallas en sistemas industriales” Tesis de maestría en ciencias de la ingeniería, 1993**
8. **Harris C. M. *Shock and vibration handbook*. McGraw Hill, N.Y., (1988).**

9. **Martínez M. S. A. “Estudio para la reducción de la frecuencia de interrupción en el sistema eléctrico del edificio” Petróleos de Venezuela. Maracay. 1997**

10. **Murray J. y Du-Patrick B. Wayne. “Mejoramiento de la confiabilidad de la subestación principal de la empresa Comandante Ernesto Ché Guevara” Tesis de pregrado. ECG. Cuba.**

11. **NEMA Standard Publicación, 1993**

12. **Paul G. H. “Estadística Elemental” L/T. Editorial Pueblo y Educación, 1980**

13. **Ramírez D.Y. “Relé para la protección de un Transformador de Potencia basado en Redes Neuronales Artificiales” Tesis de pregrado. ISMM. Cuba. 2004**

14. **Saavedra P. y Anaya F. Condition monitoring of variable-speed and load machinery using time-frequency distributions. INSIGHT Vol. 43, N°8, August 2001, pp. 526-530.**

15. **Saavedra P. y Estupiñán E. Impacto del Mantenimiento Proactivo en la Productividad. 1er Congreso Peruano de Mantenimiento, Mayo del 2001.**

16. **Sánchez A. R. y Delgado J. A. “Estadística Elemental” L/T. Editorial Pueblo y Educación, 1989**

17. **www.monografias.com**

ANEXOS.

Fallas	2006	2007	2008	Total
Trancados	0	4	1	5
Bajo A.	1	1	5	7
Corto cto cable A	1	1	5	7
Excitación	2	5	7	14
Cto cto interno	5	4	10	19
Rodamientos	5	9	3	17
Fase a tierra	6	3	1	10
Quemados	9	16	8	33
Corto cto caja de C	0	4	0	4
Porta escobillas	2	0	2	4
Otras	10	8	8	26

Tabla 1 Fallas de motores de Secaderos.

Fallas	2006	2007	2008	Total
Descargas atmosféricas	1	1	0	2
Cortocircuitos a tierra	3	0	0	3
Oscilaciones	2	4	0	6
Transformadores	5	0	0	5
Contactos defectuosos	0	0	1	1
Interruptores	9	0	15	24
Cables	0	7	23	30
Magnéticos	0	0	4	4
Alumbrado	0	5	0	5
Fallas de motores	43	55	52	150

Tabla 2 Fallas generales de Secaderos.

Fallas	2006	2007	2008	Total
Cable de A. abierto	0	1	1	2
Corto cto caja de C	1	2	1	4
Altas vibraciones	0	0	2	2
Bajo A.	1	1	2	4
Cto cto interno	2	2	4	8
Rodamientos	1	3	3	7
Quemados	3	15	6	24
Otras	1	3	2	6

Tabla 3 Fallas de motores de Calcinación.

Fallas	2006	2007	2008	Total
Oscilaciones	2	0	0	2
Transformadores	1	0	0	1
Interruptores	5	0	1	6
Cables	0	0	2	2
Magnéticos	0	0	1	1
Alumbrado	0	1	2	3
Fallas de motores	9	27	21	57

Tabla 4 Fallas generales de Calcinación.

Fallas	2006	2007	2008	Total
Corto cto caja de C	8	6	6	20
Bajo A.	8	11	6	25
Corto cto cable A	3	3	0	6
Fases abiertas	1	3	1	5
Cto cto interno	21	29	16	66
Quemados	20	13	16	49
Otras	12	5	5	22

Tabla 5 Fallas de motores de Lixiviación.

Fallas	2006	2007	2008	Total
Oscilaciones	2	4	0	6
Transformadores	2	0	0	2
Fusibles	0	0	4	4
Interruptores	8	0	0	8
Cables	0	1	3	4
Líneas	1	5	1	7
Alumbrado	0	1	2	3
Fallas de motores	73	70	50	193
Otras	1	0	2	3

Tabla 6 Fallas generales de Lixiviación.

Fallas	2006	2007	2008	Total
Corto cto caja de C	0	1	1	2
Cto cto interno	0	1	0	1
Quemados	0	2	0	2
Otras	0	1	1	2

Tabla 7 Fallas de motores de la Potabilizadora.

Fallas	2006	2007	2008	Total
Descargas atmosféricas	5	2	0	7
Fusibles	3	0	1	4
Magnéticos	2	1	0	3
Líneas	2	3	4	9
Alumbrado	1	2	0	3
Fallas de motores	0	5	2	7
Otras	5	1	0	6

Tabla 8 Fallas generales de la Potabilizadora.

Fallas	2006	2007	2008	Total
Corto cto caja de C	3	1	3	7
Trancados	5	7	6	18
Bajo A.	3	7	16	26
Fases abiertas	4	3	7	14
Cto cto interno	13	11	14	38
Rodamientos	4	3	7	14
Quemados	12	20	44	76
Otras	3	6	3	12

Tabla 9 Fallas de motores de Hornos.

Fallas	2006	2007	2008	Total
Cortocircuitos a tierra	1	3	0	4
Oscilaciones	10	1	1	12
Contactos defectuosos	0	0	2	2
Interruptores	3	2	0	5
Cables	0	2	8	10
Magnéticos	2	0	5	7
Líneas	2	1	0	3
Alumbrado	0	0	3	3
Fallas de motores	47	58	100	205

Tabla 10 Fallas generales de Hornos.

Fallas	2006	2007	2008	Total
Corto cto caja de C	2	7	3	12
Escobillas	8	3	8	19
Colector dañado	1	3	3	7
Fases abiertas	3	3	2	8
Excitación	27	7	5	39
Porta escobillas	19	16	12	47
Cto cto interno	2	3	3	8
Rodamientos	10	10	3	23
Quemados	36	44	12	92
Puente abierto	2	0	8	10
Otras	17	17	17	51

Tabla 11 Fallas de motores de la Mina.

Fallas	2006	2007	2008	Total
Cables	117	118	111	346
Alumbrado	9	11	17	37
Fallas de motores	127	113	76	316

Tabla 12 Fallas generales de la Mina.

Fallas	2006	2007	2008	Total
Corto cto caja de C	0	1	1	2
Bajo A.	4	2	0	6
Cto cto interno	1	0	1	2
Rodamientos	3	2	0	5
Quemados	11	5	3	19
Otras	1	2	1	4

Tabla 13 Fallas de motores de Recuperación de NH3.

Fallas	2006	2007	2008	Total
Cortocircuitos a tierra	1	0	0	1
Oscilaciones	1	4	0	5
Contactos defectuosos	1	0	0	1
Interruptores	1	0	0	1
Cables	0	0	3	3
Magnéticos	1	0	1	2
Fallas de motores	20	12	6	38

Tabla 14 Fallas generales de Recuperación de NH3.

Fallas	2006	2007	2008	Total
Corto cto caja de C	0	1	3	4
Escobillas	1	2	3	6
Bajo A.	0	1	2	3
Colector dañado	0	0	1	1
Excitación	0	0	1	1
Cto cto interno	2	0	0	2
Rodamientos	1	2	2	5
Quemados	2	1	1	4
Puente abierto	0	0	1	1

Tabla 15 Fallas de motores de la CTE.

Fallas	2006	2007	2008	Total
Oscilaciones	2	0	0	2
Transformadores	4	0	0	4
Fusibles	1	0	0	1
Interruptores	1	0	1	2
Cables	0	0	4	4
Magnéticos	1	0	2	3
Líneas	1	0	0	1
Alumbrado	0	2		2
Fallas de motores	6	7	14	27

Tabla 16 Fallas generales de la CTE.

Plantas	Cantidad de motores	Media U. (1000-)	Baja U. (0-1000)
Secaderos	480	11	469
Hornos	426	0	426
Lixiviación	207	0	207
Grúa	405	0	405
Cobalto	50	0	50
NH3	71	0	71
Calcinación	260	4	256
Potabilizadora	77	6	71
Mina	219	9	210
Laboratorio	28	0	28
CTE y Serv. Energético	280	29	251
Cila	88	0	88
Total	2591	59	2532

Tabla 17 Relación de motores de la Fábrica.

Cant	Pn (kW)	Un (V)
1	0,63	460
4	0,66	260/440
3	1,1	440
1	1,3	440
2	1,5	220/440
17	5,5	440
2	6,6	440
5	7,5	440
2	15	220/440
2	35	440
12	40	440
94	55	440
5	60,5	440
4	63	440
3	75	220/440
4	90	440
32	110	440
8	121	440
5	132	440
1	287	440

Tabla 18 Cantidad y característica de motores.

Reparación de motores				
Pn (kW)	Cant	Precio/ud	Importe Total	
			MN	USD
0,63	1	58,56 - 154,43	29,82 - 73,8	28,74 - 80,5
0,66	1	58,56 - 154,44	29,82 - 73,9	28,74 - 80,6
1,1	1	58,56 - 154,45	29,82 - 73,10	28,74 - 80,7
1,3	1	58,56 - 154,46	29,82 - 73,11	28,74 - 80,8
1,5	1	58,56 - 154,47	29,82 - 73,12	28,74 - 80,9
5,5	1	58,56 - 154,48	29,82 - 73,13	28,74 - 80,10
6,6	1	58,56 - 154,49	29,82 - 73,14	28,74 - 80,11
7,5	1	58,56 - 154,50	29,82 - 73,15	28,74 - 80,12
15	1	281,16	163,68	117,48
35	1	1534,95	1140,06	394,89
40	1	360,85 - 2530,2	241,77 - 1692,76	119,08 - 839,44
55	1	1214,18 - 2532,2	517,92 - 1647,71	696,26 - 884,49
60,5	1	2269,65	1249,3	1020,35
63	1	2269,65	1249,3	1020,35
75	1	2269,65	1249,3	1020,35
90	1	1606,23 - 2219,01	480,35 - 986,15	1125,88 - 1232,86
110	1	3118,25	1945,11	1173,14
121	1	2941,48	2119,56	821,92
132	1	2941,48	2119,56	821,92
287	1	3157,03	931,23	2225,8

Tabla 19 Precio de reparación de motores.

Mantenimiento de motores				
Pn (kW)	Cant	Precio/ud	Importe Total	
			MN	USD
0,63	1	91,95	33,29	58,66
0,66	1	91,95	33,29	58,66
1,1	1	30,1	23,71	6,39
1,3	1	30,1	23,71	6,39
1,5	1	50,05	22,52	27,53
5,5	1	52,52	33,94	18,58
6,6	1	34,63 - 92,08	17,4 - 54,99	17,23 - 37,09
7,5	1	34,63 - 92,09	17,4 - 54,100	17,23 - 37,10
15	1	143,76	67,97	75,79
35	1	282,23	148,87	133,36
40	1	338,79 - 549,88	137,19 - 348,28	201,6 - 201,6
55	1	472,15 - 1850,14	196,75 - 139,55	275,4 - 480,59
60,5	1	1238,76	369,28	869,48
63	1	1065,51 - 2269	597,78 - 1801,27	467,73 - 467,73
75	1	1065,51 - 2270	597,78 - 1801,28	467,73 - 467,74
90	1	1102,44	697,08	405,36
110	1	1345,18 - 2351,25	210,69 - 1216,76	1134,49 - 1134,49
121	1	1287,7	1179,05	108,65
132	1	1262,69	681,5	581,19
287	1	5021,63	2812,11	2209,52

Tabla 20 Precio de mantenimiento de motores.

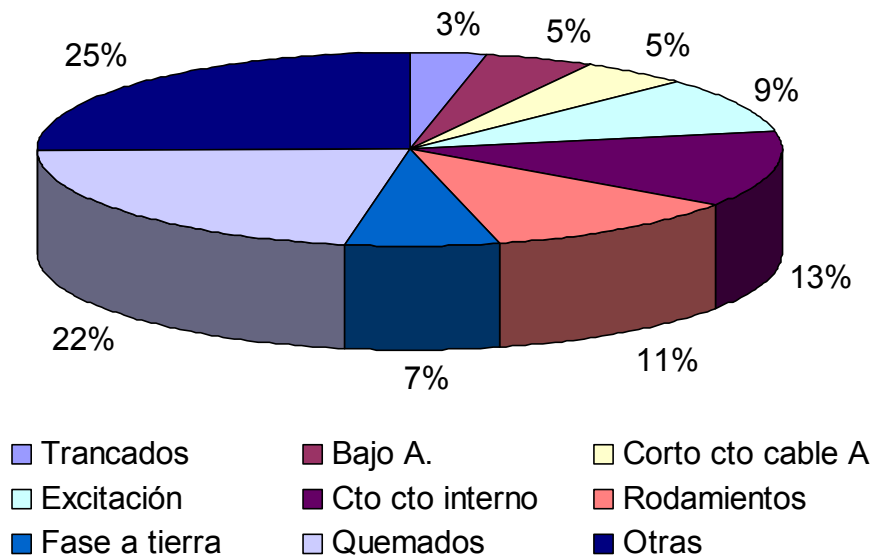


Gráfico 1 Fallos de motores en Secadero.

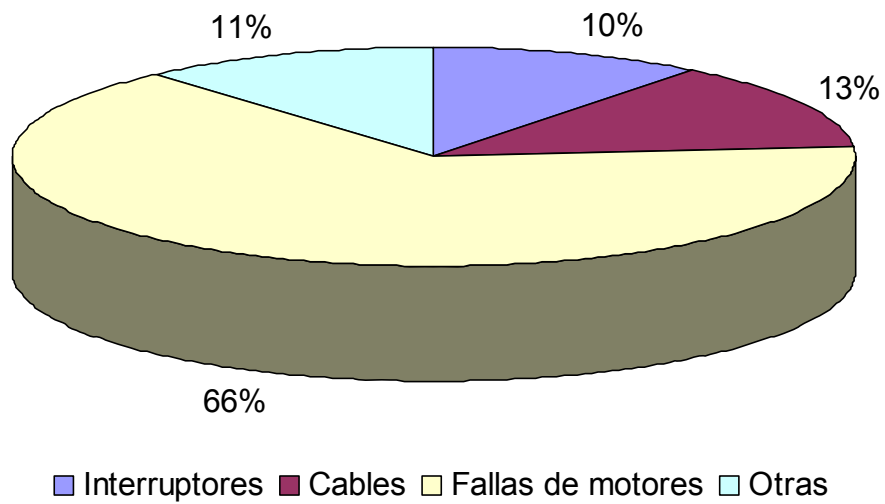


Gráfico 2 Fallas generales en Secadero.

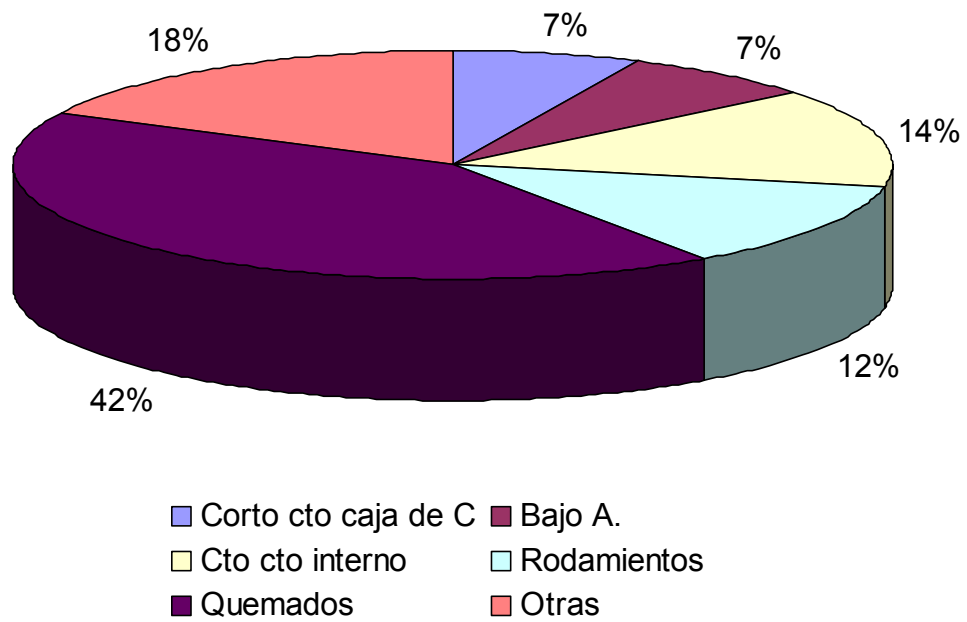


Gráfico 3 Fallas de motores en Calcinación.

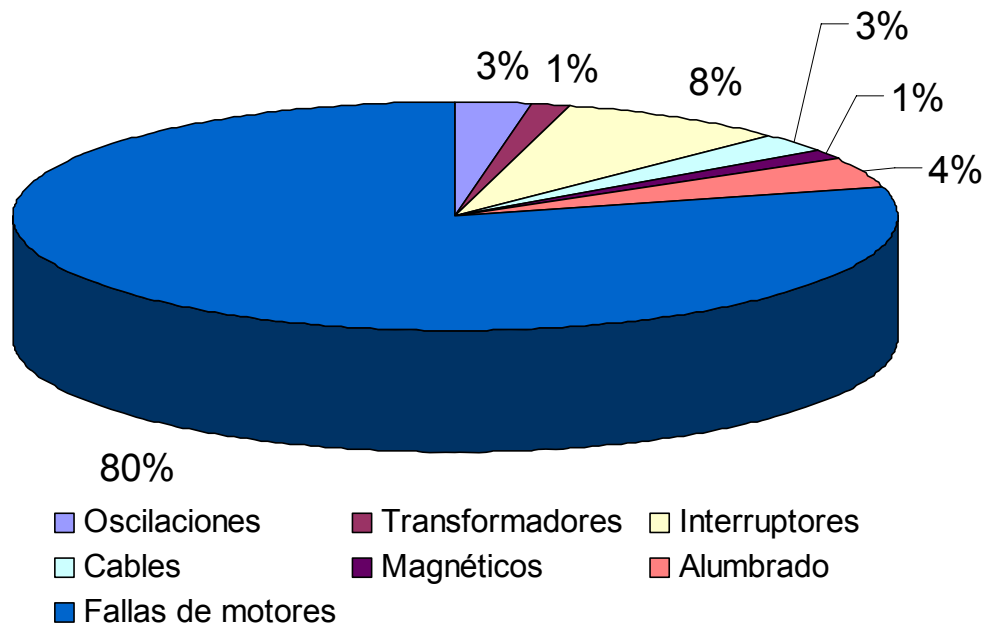


Gráfico 4 Fallas generales en Calcinación.

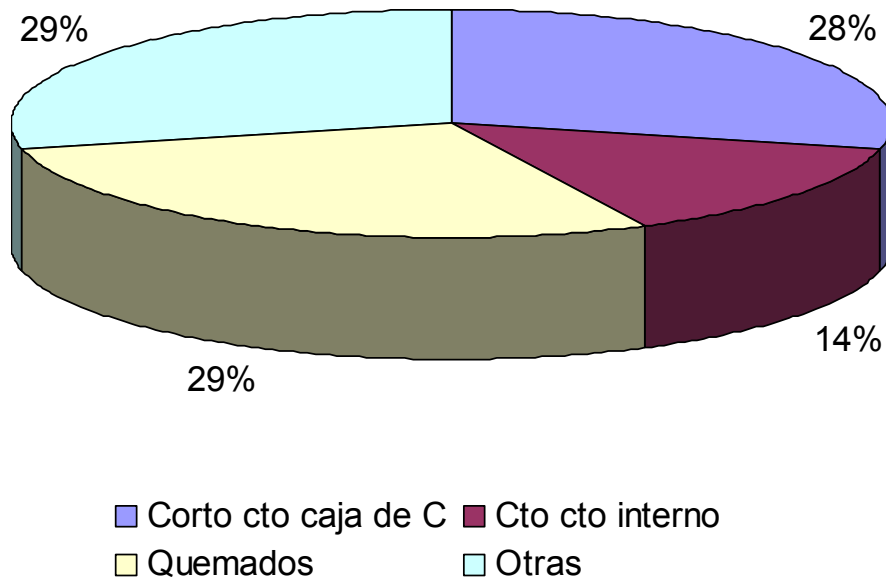


Gráfico 5 Fallas de motores de la Potabilizadora.

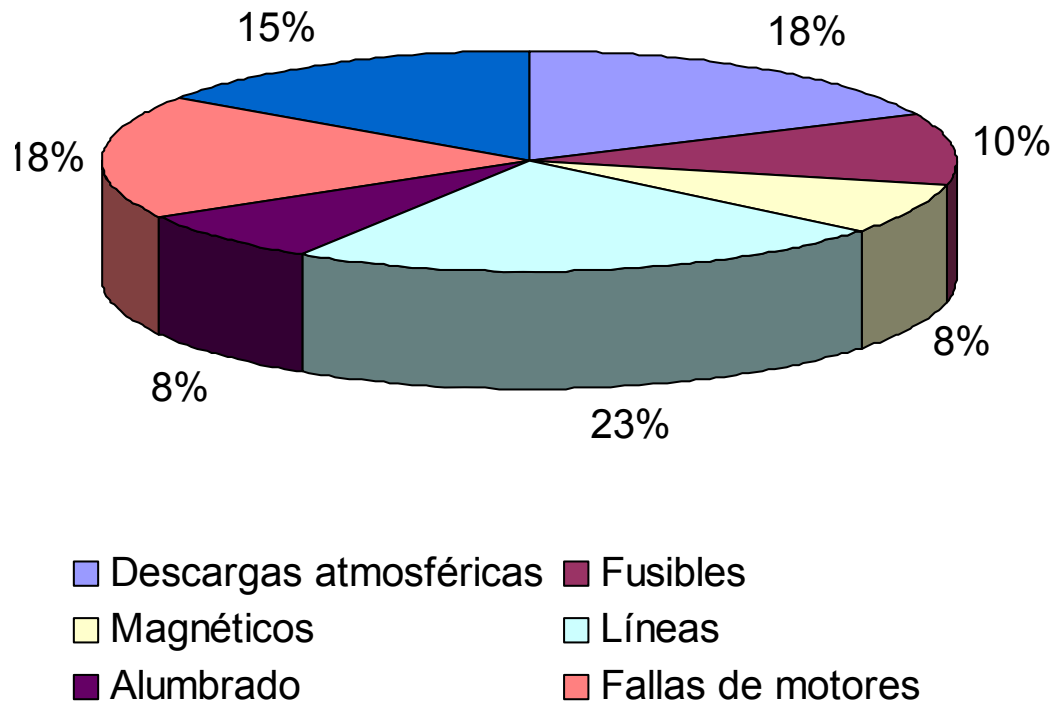


Gráfico 6 Fallas generales de la Potabilizadora.

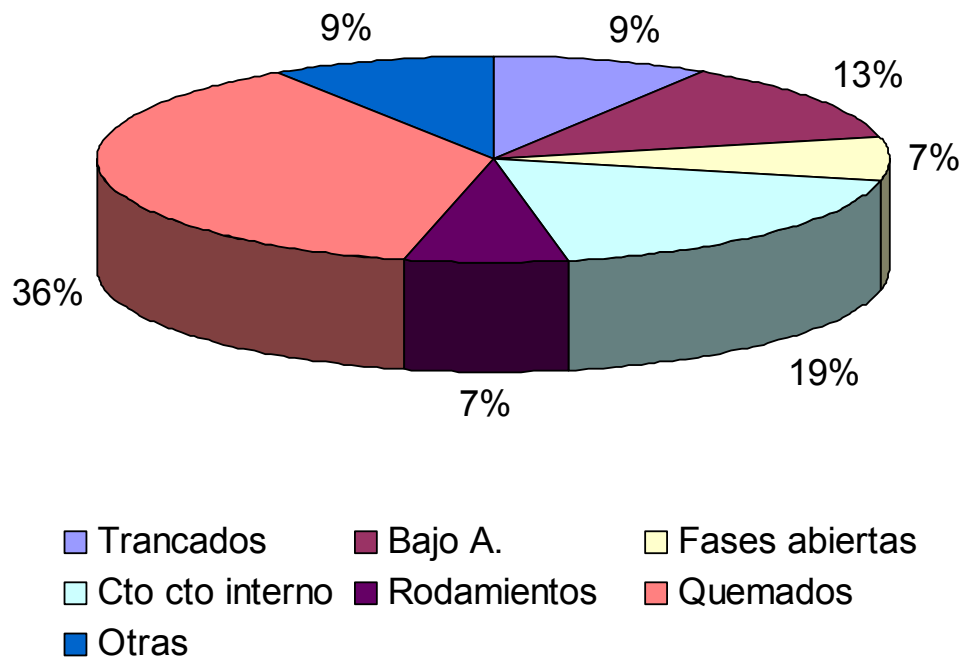


Gráfico 7 Fallas de motores de los Hornos.

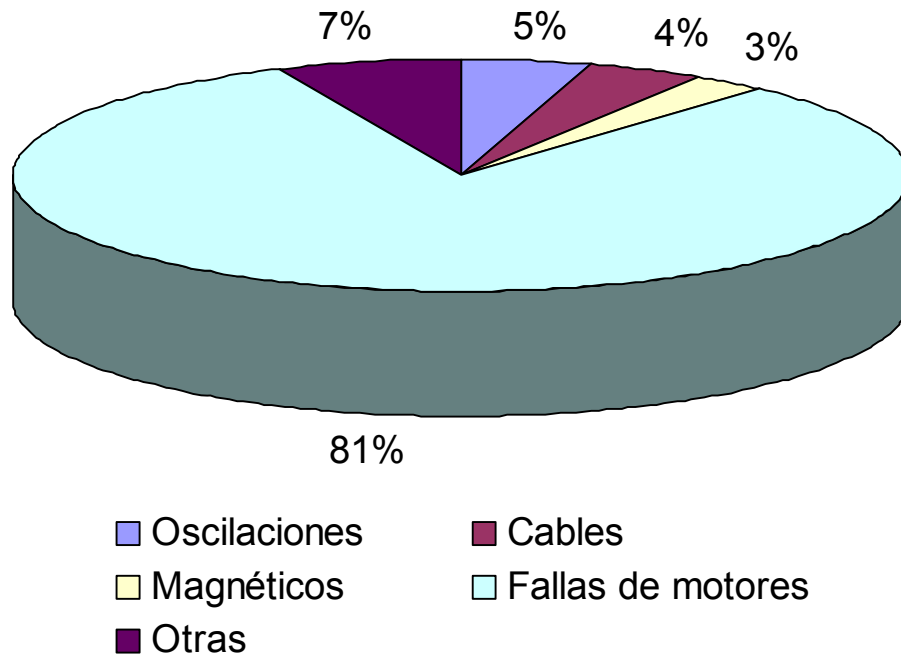


Gráfico 8 Fallas generales de los Hornos.

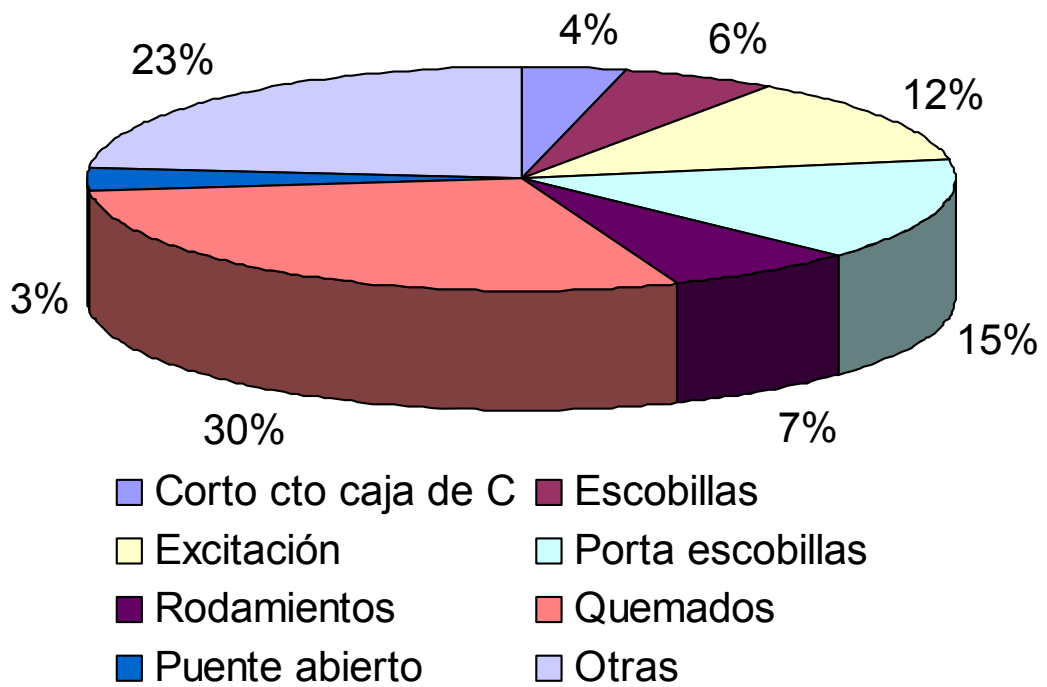
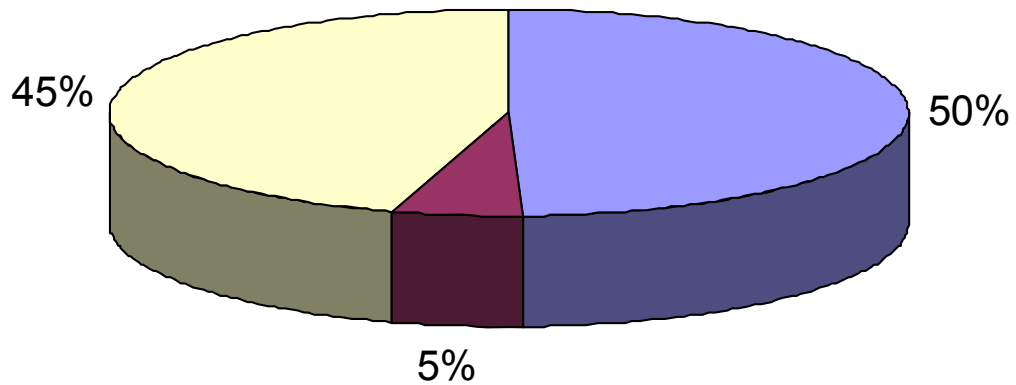
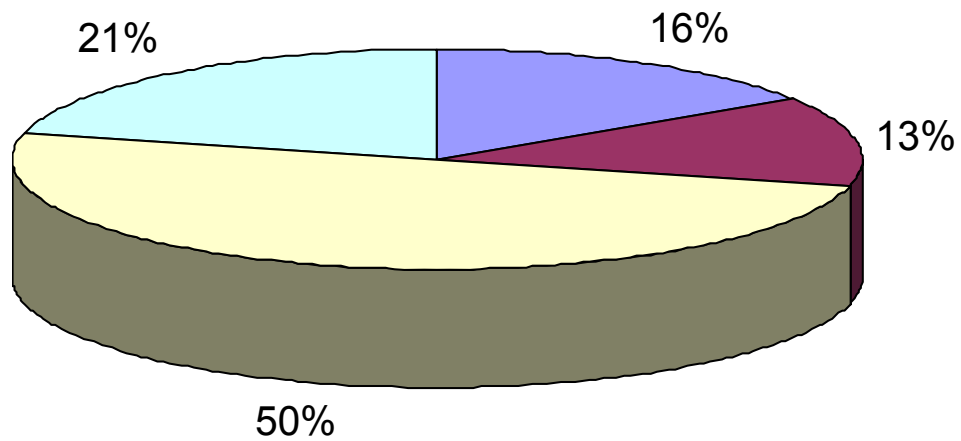


Gráfico 9 Fallas de motores de la Mina.



■ Cables ■ Alumbrado ■ Fallas de motores

Gráfico 10 Fallas generales de la Mina.



■ Bajo A. ■ Rodamientos ■ Quemados ■ Otras

Gráfico 11 Fallas de motores de Recuperación de NH3.

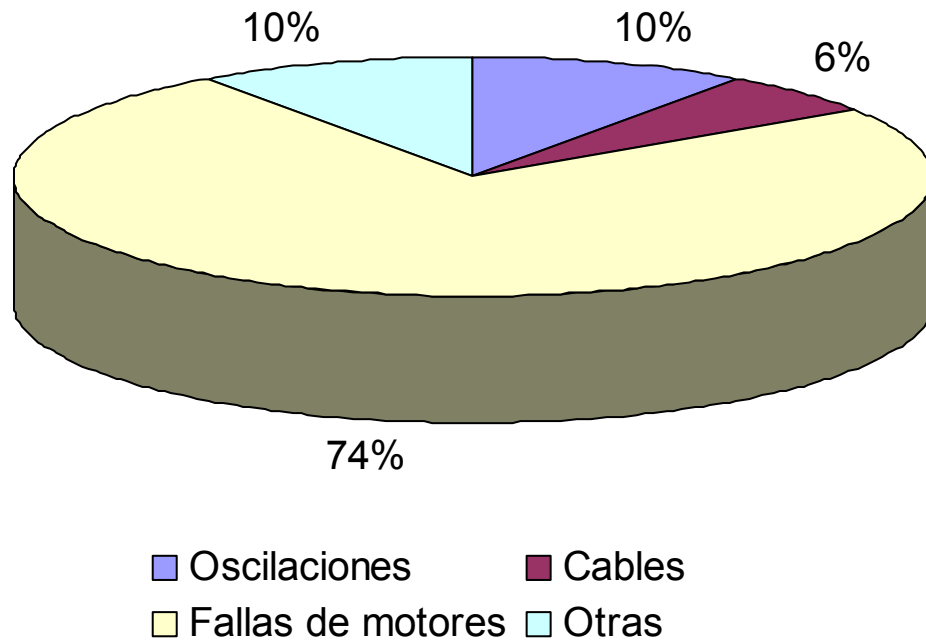


Gráfico 12 Fallas generales de Recuperación de NH3.

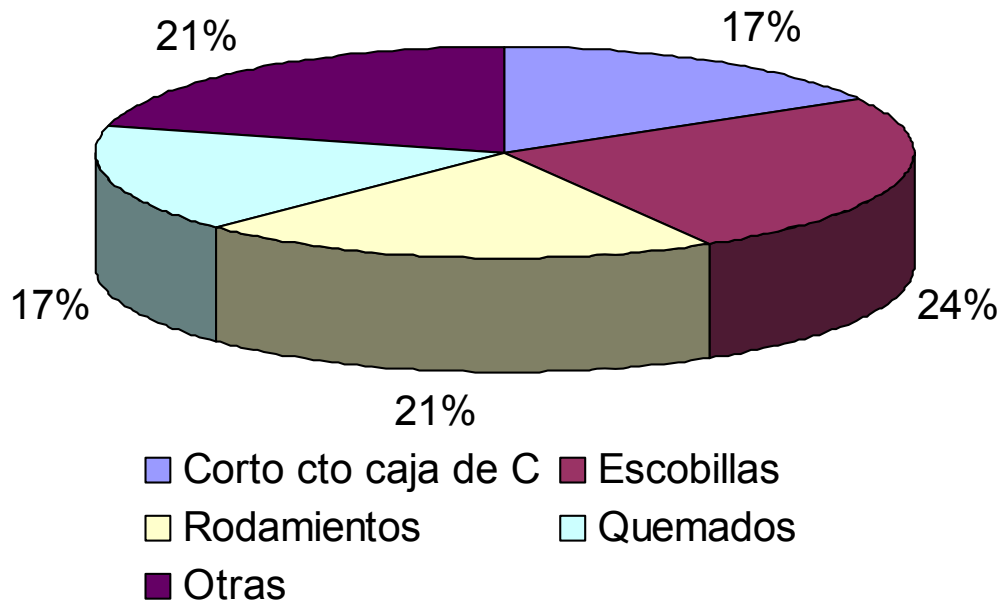


Gráfico 13 Fallas de motores de la CTE.

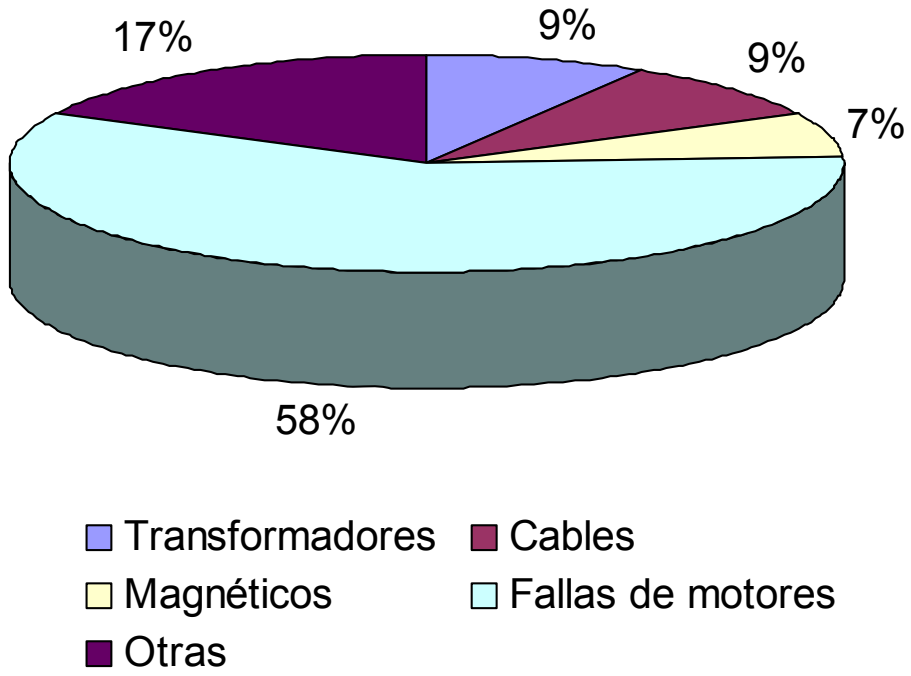


Gráfico 14 Fallas generales de la CTE.