



República de Cuba



Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

Facultad Metalurgia y Electromecánica

Departamento Ingeniería Eléctrica

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO

***Título: Comportamiento del Accionamiento con
Motores Asincrónicos de la Unidad #2 de la
ETE “Lidio Ramón Pérez”***

Autor: Ernesto Naranjo Rosales

Tutores: M.SC. Ing. Alfredo Rodríguez Lissbeth

Ing. Yetsy Silva Cala

MOA 2014

“Año 56 del Triunfo de la Revolución”



Declaración de Autoridad

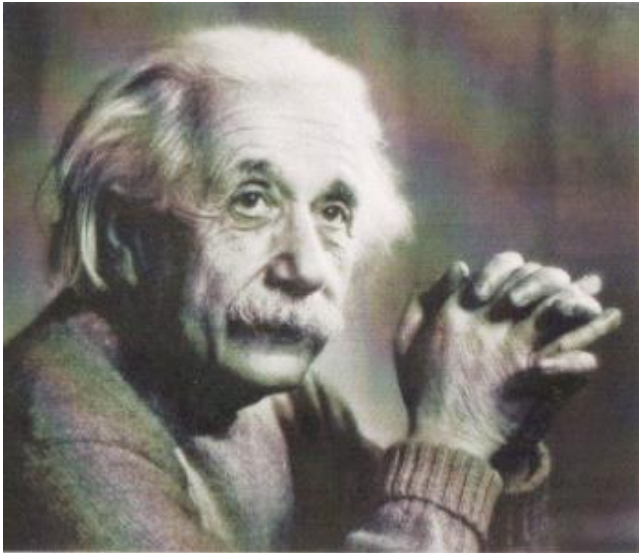
Yo: Ernesto Naranjo Rosales, autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa: Dr. Antonio Núñez Jiménez, el cual podrá disponer del mismo con la finalidad que estime conveniente. Para constancia de la misma, firman a continuación, el diplomante y los tutores:

Ernesto Naranjo Rosales

M.SC. Alfredo Rodríguez Lissabeth

Ing. Yetsy Silva Cala

Pensamiento



"No pretendamos que las cosas cambien, si siempre hacemos lo mismo. La crisis *es la mejor bendición* que puede sucederle a personas y países, porque *la crisis trae progresos*. La *creatividad nace de la angustia*, como el día nace de la noche oscura. Es en la crisis que *nace la inventiva*, los descubrimientos y las grandes estrategias. *Quien supera la crisis, se supera a sí mismo* sin quedar 'superado'. Quien atribuye a la crisis sus fracasos y penurias, violenta su propio talento y respeta más a los problemas que a las soluciones. La *verdadera crisis*, es la crisis de la *incompetencia*. El inconveniente de las personas y los países es la pereza para encontrar las salidas y soluciones. *Sin crisis no hay desafíos*, sin desafíos *la vida es una rutina*, una lenta agonía. Sin crisis no hay méritos. Es en la crisis donde aflora lo mejor de cada uno, porque sin crisis todo viento es caricia. Hablar de crisis es promoverla, y callar en la crisis es exaltar el conformismo. En vez de esto, *trabajemos duro*. Acabemos de una vez *con la única crisis* amenazadora, que *es la tragedia de no querer luchar* por superarla.



Agradecimientos

A la Revolución cubana, al Centro de Estudios del ISMM, por permitirme garantizar la superación profesional.

A mis tutores por guiarme y asesorarme con rigor científico en el desarrollo de la investigación.

A mis compañeros de estudios en especial: Omar De La Cruz, Rafael (Pocholo), Eugenio y Luisi.

A los profesores: Yordan, Osmany, Gavi, Ileana, Ramón, Bárbara, Roger, Marvelis Lamoru, Mendiola y Oscar.

A mis amigos: Felipe y Lázaro A.

A mis compañeros de la Bario: Yasmani, Yoanquis, Michel, Leo, Osmel y Yosmel y Jairo.

A mi familia, en especial a mi abuela, mi madre, mi padre, a mis hermanos, mis tíos, mis primos y mi novia.

¡MUCHAS GRACIAS!

Dedicatoria

Dedico este reconocimiento a dos personas muy especiales para mí, que estuvieron esperando día a día este momento, que gracias a ellos tuve el valor y la decisión de estar donde estoy contra vientos y mareas, cuando creía que no lo lograría ellos me dieron fuerzas, cuando las cosas se pusieron duras ellos me ayudaron, cuando estuve en problemas dieron la cara y todo para verme echo alguien mejor en la vida por todo esto y por haberme dado la vida .

Muchísimas gracias a mis padres.

Resumen

En el presente trabajo se realiza una evaluación de los accionamientos de los motores asincrónicos del bloque # 2 de la ETE “Lidio Ramón Pérez” haciendo énfasis en las bombas de alimentar

Se toma como base para la evaluación de este accionamiento las mediciones realizadas en un breve tiempo, los datos de catálogo, los pasaportes técnicos y otros datos necesarios obteniéndose resultados favorables a la investigación en el cual se basa el trabajo.

Se detalla la situación actual del funcionamiento de los principales accionamiento del bloque #2 haciendo referencia a las bombas de alimentar siendo este el motivo fundamental de nuestro trabajo. Se concluye que la 2RL11M101 está trabajando fuera de los parámetros del fabricante que la puede llevar a su deterioro lo que implicaría una gran inversión.



Summary

Presently work is carried out an evaluation of the workings of the asynchronous motors of the block #2 of the ETE Fight Ramón Pérez making emphasis in the bombs of feeding

He/she takes like base for the evaluation of this working the mensurations carried out in a brief time, the catalog data, the technical passports and other necessary data obtaining you favorable results to the investigation in which the work is based.

The current situation of the operation of the main working of the block is detailed #2 making reference to the bombs of feeding being this the fundamental reason of our work. You concludes that the 2RL11M101 are working outside of the maker's parameters that it can take it to their deterioration what would imply a great investment.



Índice

Introducción	1
Capítulo 1. Recopilación de Datos.	7
1.1 Introducción.	7
1.2 Descripción del Flujo Tecnológico.	8
1.2.1 Recepción y preparación del combustible.	8
1.2.2 Generación de Vapor.	9
1.2.3 Sala de Máquinas.	9
1.2.4 Generador Eléctrico.	10
1.2.5 Datos técnicos de caldera.	11
1.3 Datos nominales de los motores eléctricos de la Unidad #2.	13
1.4 Función de los equipos principales.	14
1.4.1 El sistema de circulación (VC).	14
1.4.2 Sistema de alimentar (RL).	15
1.4.3 Sistema de condensado (RM).	15
1.4.4 Sistema de enfriamiento (VG).	15
1.4.5 Ventilador de Regeneración de Gases (VRG).	16
1.4.6 Ventilador de Tiro Forzado (VTF).	16
1.5 Conclusiones parciales del capítulo.	17
Capítulo 2. Características actuales del funcionamiento de los principales accionamiento	18
2.1 Introducción.	18
2.2 Análisis del coeficiente de absorción.	18
2.3 Coeficiente de Absorción (Ka).	18
2.3.1 Determinación del coeficiente de absorción (Ka).	18
2.4 Criterios de verificación de mantenimiento.	19
2.5 Índice de Polarización (I P).	20
2.5.1 Determinación del Índice de Polarización (I P).	20
2.6 Análisis de las mediciones realizadas a las bombas de alimentar.	22
2.7 Coeficiente de carga de las dos bombas de alimentar.	24

2.8	Análisis de las mediciones de tensión y corriente.....	25
2.9	Características de operación del motor de la bomba de alimentar.....	27
2.9.1	Característica mecánica del motor de inducción.....	27
2.10	Momento electromagnético máximo.	27
2.10.1	Momento de arranque del motor asincrónico.....	28
2.10.2	Características de operación del motor de la bomba de alimentar.....	28
2.11	Conclusiones parciales del Capítulo.	30
Capítulo 3. Análisis de los resultados. Valoración Económica e Impacto Ambiental .		31
3.1	Introducción.	31
3.2	Resultado del coeficiente de absorción (Ka).	31
3.3	Análisis de los parámetros eléctricos.	32
3.3.1	Análisis del comportamiento del coeficiente de carga de ambas bombas.....	32
3.3.2	Análisis del comportamiento de la corriente de ambas bombas.	32
3.3.3	Análisis del comportamiento de la tensión de ambas bombas.	33
3.4	Análisis de las causas que provocan alta corriente y medidas para darle solución.	33
3.4.1	Problemas mecánicos.....	33
3.4.2	Problemas de limpieza.	33
3.4.3	Problemas hidráulicos.	34
3.5	Valoración Económica.	34
3.6	Impacto ambiental.	37
3.6.1	Método de Doernenburg.....	38
3.6.2	Identificación de los impactos ambientales en Sala de Máquina.....	38
3.6.3	Identificación de los factores ambientales susceptibles a afectaciones.....	38
3.7	Conclusiones parciales del capítulo.....	39
Conclusiones Generales .		40
Recomendaciones .		41
Referencias Bibliográficas .		42
Anexos .		

Introducción

En los momentos actuales cobra vital importancia el correcto funcionamiento de las centrales eléctricas que se encuentran instaladas y en operación en el país, dada la situación coyuntural por la que atraviesa el país, donde los precios del petróleo se encuentran en valores irrisorios y donde los países que conforman el bloque del tercer mundo dedican el mayor por ciento de sus ingresos a la adquisición de este preciado producto, denominado oro negro, para satisfacer sus necesidades de suministro eléctrico, el cual constituye un indicador que demuestra el desarrollo alcanzado por un país.

En el país la empresa termoeléctrica Lidio Ramón Pérez, ocupa un lugar de gran importancia al constituir una de las de mayor aporte al sistema electro energético nacional (SEN), la cual se encuentra constituida por dos bloques generadores con una capacidad instalada de 250 MW cada uno y una eficiencia que está dentro de las primeras del SEN, por lo que la salida de línea de uno de los bloques da lugar a cierta inestabilidad en el mismo, no solo por la energía dejada de servir, sino por el deterioro de la eficiencia de este sistema de forma integral.

En la empresa termoeléctrica las bombas de alimentar constituyen equipos que determinan en gran medida el logro de la eficiencia para la cual están diseñados los bloques de generación al determinar en gran medida el poder alcanzar el vacío para el cual están diseñados los mismos, estas bombas se encuentran accionadas por motores asincrónicos.

Hoy cobra mucha importancia el estudio de todo accionamiento que tenga como elemento principal el motor asincrónico, específicamente el trifásico sin embargo su característica lineal de par velocidad y su respuesta dinámica más eficiente a la tercera parte de su potencia nominal han posibilitado su difusión y uso más eficiente.

El estudio del comportamiento del accionamiento del motor trifásico asincrónico de las bombas de alimentar de la unidad # 2 de la ETE “Lidio Ramón Pérez” se efectúa a partir del análisis de los datos técnicos dados por el fabricante, las mediciones realizadas a los mismos en su operación normal, y los gráficos elaborados a partir de estos elementos.

Según Arias F. (2006) define la observación como una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación

que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos.

El determinar problemas en motores debe ser confiable y seguro, por esto un análisis de motores eléctricos debe contener resultados en las siguientes zonas de falla: Circuito de Potencia, Aislamiento, Estator, Rotor, Entrehierro y Calidad de energía, Hidalgo B. J. C, MBA (2009) Grupo TERMOGRAM, Costa Rica.

El diagnosticar el problema en un motor debe involucrar todas las zonas de falla presentes como lo son: Calidad de energía, circuito de potencia, aislamiento, estator, rotor y excentricidad, para ello deben de utilizarse tanto tecnologías dinámicas como estáticas. Y estas deben de ser de tipo no destructivas para no acelerar el daño en el motor, Hidalgo B. J. C, MBA (2009) Grupo TERMOGRAM, Costa Rica.

La tecnología dinámica es de particular importancia para diagnosticar anomalías en aquellos motores que por razones del proceso productivo no pueden ser detenidos. Y la tecnología estática es vital para revisar aquellos motores que se dispararon por algún motivo y su puesta en funcionamiento es peligrosa para el motor, Hidalgo. Juan C. (2009) referente al análisis de las zonas de fallas de motores eléctricos.

En el análisis de fallas en rodamientos de motores eléctricos, una aplicación del análisis de causa-raíz (R. Huerta Mendoza-Petróleos de Venezuela PDVSA, 2010) definió en el macro proceso de análisis de una falla donde se debe garantizar que siga la secuencia de pasos siguientes:

- Definición del problema.
- Efectuar el análisis del problema.
- Identificar las soluciones efectivas.
- Implementar las soluciones.

El análisis de motores eléctricos es una herramienta excelente pero toma más tiempo el analizar un motor completamente, desde media hora hasta una hora de la serie de pruebas realizadas, Hidalgo Juan C B. México, 2003.

La solución de un problema eléctrico de un motor, no debería resultar en la declaración: “el motor está bien” aunque alguien con años de experiencia y gran credibilidad pueda escaparse del problema con una declaración tan simple. Para reportar con seguridad la

condición eléctrica de un motor y asegurarse que la recomendación es tomada en serio, hay 6 áreas conocidas como zonas de fallas que deben revisarse durante la búsqueda de solución. No tener en cuenta alguna de estas zonas, podría resultar en la omisión del problema y en la pérdida de la credibilidad en la habilidad de solución, Bethel Noah P. Tampa, 2006.

Las seis zonas eléctricas de fallas:

- Calidad de la alimentación
- Circuito de potencia
- Aislamiento
- Estator
- Rotor
- Entrehierro.

Desde hace mucho tiempo se ha tratado de diagnosticar la condición de los aislamientos del devanado del estator buscando pruebas de diagnóstico que sean lo más efectivas posible para indicar el grado de deterioro, su localización específica y el mecanismo que produce la degradación. Tradicionalmente, las pruebas de diagnóstico se han hecho fuera de línea, es decir, con la máquina desenergizada, aprovechando las salidas de las unidades a mantenimiento, con un enfoque de mantenimiento preventivo, es decir, periódico. Ing. Marcos Esparza Saucedo, Ing. Eugenio Ponce de León Viedas. Comité Mexicano, Bienal, 2001.

Desde unos años atrás, se ha buscado el enfoque predictivo, el cual se basa principalmente en diagnóstico en línea, es decir, con la máquina en operación normal, lo cual tiene la ventaja de analizar la máquina bajo todas las condiciones de operación. Ing. Marcos Esparza Saucedo, Ing. Eugenio Ponce de León Viedas. Comité Mexicano, Bienal, 2001.

Hace unos 50 años se empezaron a desarrollar instrumentos para medir las descargas parciales en línea, las cuales son un buen indicador de la condición de los aislamientos. Ing. Marcos Esparza Saucedo, Ing. Eugenio Ponce de León Viedas. Comité Mexicano, Bienal, 2001.

Con el desarrollo de la tecnología de estos instrumentos, en especial la tecnología digital, y el desarrollo de programas de computadoras, actualmente existen varias compañías que fabrican equipos de monitoreo para todo tipo y capacidad de máquinas eléctricas rotatorias. Ing. Marcos Esparza Saucedo, Ing. Eugenio Ponce de León Viedas. Comité Mexicano, Bienal, 2001.

La práctica usual es que cuando se vayan a realizar pruebas dieléctricas con tensiones equivalentes a la nominal del devanado o mayores, se mida previamente su resistencia de aislamiento, incluyendo el índice de polarización, para asegurar que el devanado se encuentra en buenas condiciones de limpieza y seco para prevenir un posible daño al aislamiento por el esfuerzo de la tensión. Así mismo, después de realizar las pruebas dieléctricas, se miden de nuevo la resistencia de aislamiento y el índice de polarización para comprobar que no hubo ningún efecto adverso al aislamiento por las pruebas. La tensión de prueba para la medición de resistencia de aislamiento debe ser siempre la misma; 1000 VCD a 5000 VCD, dependiendo de la tensión nominal de la máquina. Ing. Marcos Esparza Saucedo, Ing. Eugenio Ponce de León Viedas. Comité Mexicano, Bienal, 2001.

La función de protección magnética permite cortar automáticamente la alimentación de un circuito o receptor cuando se produce un defecto por cortocircuito. Es necesario para proteger la instalación y al operario. Melingerk Mora, Puerto Ordaz, Mayo del 2012.

Fundamento de la investigación.

La ETE “Lidio Ramón Pérez” fue diseñada para garantizar la energía eléctrica a la parte oriental de la República de Cuba y en caso de averías también debe garantizar la distribución de energía eléctrica a otras regiones del país.

Con una capacidad de generación de 500MW y 60MW de los motores fuel oil representa actualmente la mayor del país, es por ello que conseguir un solo tipo de combustible para abastecer la ETE “Lidio Ramón Pérez” se hace difícil a Cuba debido a las limitaciones económicas que tiene el país como resultado del bloqueo económico, comercial y financiero impuesto por los gobiernos norteamericanos a la isla, lo que entre otras cosas obliga a Cuba a contratar el petróleo a países amigos los cuales tienen distintos tipos de

combustibles. Como consecuencia la ETE “Lidio Ramón Pérez” está obligada a quemar varios tipos de combustibles con diferentes características físicas y químicas.

En los últimos años, a pesar del esfuerzo por el personal de mantenimiento y la Empresa de Mantenimiento a Centrales Eléctricas (EMCE), los motores de alimentar llevan una importancia extraordinaria en el proceso de generación de electricidad sabiendo que estos motores por su tiempo de explotación ya se deben de cambiar por otros motores pues han perdido parte de las propiedades de estos.

Situación Problemática:

El trabajo de las bombas de alimentar presenta determinada anomalía en su funcionamiento, sin poder determinar las causas que la provocan. Estos motores que accionan las bombas de alimentar están diseñados para operar con una corriente 511 amperes, sin embargo es algo menor en ocasiones.

Problema:

Fallo en las cabezas de bobinas por la soldadura y deterioro paulatinamente del aislamiento.

Hipótesis:

Si se realiza un estudio del comportamiento de los motores que accionan estas bombas se puede definir si las causas de la anomalía se encuentran en la parte eléctrica o mecánica del accionamiento.

Objetivo General:

Evaluar el comportamiento del motor asincrónico de las bombas de alimentar, empleando para este fin los datos obtenidos de las mediciones reales realizadas a los mismos en su funcionamiento.

Objetivos Específicos:

- Realizar una recopilación de los datos correspondientes a los motores de las bombas de alimentar donde se tendrán en cuenta los datos nominales, las hojas de mantenimiento, los criterios de verificación del mantenimiento y las mediciones de tensión y corriente por un período determinado de operación.

- Realizar un análisis de las características actuales del funcionamiento de los principales accionamientos de los motores de las bombas de alimentar dentro de los cuales tendremos en cuenta el coeficiente de absorción, las mediciones de tensión y corriente de los mismos y las características de operación de estos.
- Efectuar un análisis de los resultados obtenidos a partir de las mediciones y cálculos realizados a los motores de las bombas de alimentar propuestos en los acápite anteriores.

Métodos de Investigación:

Para llevar a cabo con éxito esta investigación se utilizaron diferentes métodos de investigación, del nivel teórico:

- Método Inductivo- Deductivo, para realizar el examen y evaluación de los hechos que son objetos de estudio, partiendo de un conocimiento general de los mismos, que permitan una mejor aproximación a la realidad que los originó y luego, mediante un proceso de síntesis, emitir una opinión profesional. Todo esto exigió la utilización de una serie de pasos realizados en forma sistemática, ordenada y lógica, que permitieron luego emitir una crítica objetiva del hecho.
- Histórico-Lógico, para desarrollar el análisis de las investigaciones anteriores y antecedentes que permitan continuar el estudio.
- Análisis-Síntesis, para lograr la descomposición de las funciones de control e información y su concreción.

Del Nivel empírico, los métodos utilizados fueron:

- Análisis de documentos: Revisión de fuentes de información.
- Observación: Para constatar cómo se manifiestan las indisciplinas e ilegalidades.
- Conversación informal con los trabajadores, para conocer criterios acerca del proceso.
- Entrevistas.

Capítulo 1. Recopilación de Datos.

Para iniciar cualquier trabajo es preciso disponer del funcionamiento en forma general de todo el proceso, describiendo con más detalles la parte específica donde se realizará el trabajo, por ello primeramente se hará una descripción del flujo tecnológico de la planta.

1.1 Introducción.

Las centrales eléctricas se unen al sistema electroenergético que incluye también las instalaciones consumidoras de energía eléctrica, las líneas de transporte de energía eléctrica que comunican dichas instalaciones con las centrales eléctricas, los dispositivos eléctricos de distribución con transformadores elevadores y reductores de la tensión de la corriente.

Las centrales eléctricas, las líneas de transmisión, las subestaciones y las instalaciones que consumen energía eléctrica, están enlazadas entre sí por un régimen común del proceso continuo de producción, distribución y consumo de la energía eléctrica.

La forma de energía de uso más diversificada en el país y cuyo costo total más influye en el balance financiero, es la energía eléctrica. Por ello, en el Programa Nacional de Desarrollo de las Fuentes de Energía se señala que la producción continua de energía eléctrica ha sido y seguirá siendo un factor decisivo en la recuperación económica, por lo que se presta gran importancia a la explotación de las unidades generadoras instaladas en todo el país.

Cerca del 37 % de los combustibles derivados del petróleo que se consumen en el país se destina a la generación de energía eléctrica en las centrales termoeléctricas, lo que ha llegado a representar más de 400 millones de dólares anuales. Trabajar para disminuir este costo mediante el incremento de la eficiencia en la producción del kw/h de electricidad en las C.T.E., es un objetivo del Programa Nacional de Desarrollo de las Fuentes de Energía en el país. Esto puede lograrse a través de la reducción de los consumos específicos de combustible de las C.T.E. instaladas, mediante la aplicación de Tecnologías de punta basadas en el desarrollo de las Ciencias Térmicas y la Informática, con el objetivo de perfeccionar la explotación a través de sistemas avanzados de control del proceso de producción de energía eléctrica. Esta es una vía que requiere de inversiones clasificadas como medianas y de bajos períodos de recuperación, con un alto

y favorable impacto económico, social y medioambiental, constituida ya en línea de desarrollo científico - técnico en la rama energética.

La empresa termoeléctrica “Lidio Ramón Pérez” enclavada en Felton, es la instalación de su tipo de más reciente construcción en el país, consta de dos unidades generadoras de 250MWh cada una, la primera unidad fue sincronizada al Sistema Electro energético Nacional el 16 de febrero de 1996, la segunda unidad se sincronizó al SEN el 12 de diciembre de 2000.

El proceso productivo de la empresa termoeléctrica “Lidio Ramón Pérez” es sumamente complejo y muy dinámico por lo que tiene un alto nivel de automatización, para el control de los procesos termo mecánicos más complejos se utilizan ordenadores de última generación.

1.2 Descripción del Flujo Tecnológico.

Recepción y preparación del combustible.

El combustible llega a la Central Eléctrica por medio de barcos, los cuales con sus equipos de bombeo lo trasladan hasta los tanques de recepción y almacenamiento del mismo en tierra. Existen dos tanques para la recepción, almacenaje y preparación del combustible que se utiliza en la ETE, estos tienen capacidad de 15000 m³ cada uno, además tienen dispositivos interiores y exteriores para el calentamiento del combustible, con el fin de facilitar su bombeo.

Desde los tanques se succiona el combustible por dos bombas de engranes para cada unidad, situadas en la Casa de Bombas de Primer Impulso, las cuales transportan el mismo con una temperatura de 60-70 °C hasta el sistema de combustible interior de cada caldera, manteniendo la presión constante de 0.45 MPa en la succión de las bombas del Segundo Impulso.

En la Casa de Bombas de Segundo Impulso el combustible es bombeado por dos bombas de alta presión, las cuales elevan la presión hasta 3.2 MPa, además existen dos calentadores de superficie que trabajan con vapor, los cuales suben la temperatura del combustible hasta aproximadamente 145 °C. Con estas condiciones se facilita la pulverización del combustible en los quemadores de las calderas.

La estación de válvulas de regulación de la potencia de la Caldera es la que controla el suministro del combustible hacia los quemadores en dependencia de la producción de vapor que tengan las mismas.

Cada caldera consta de doce quemadores tangenciales, ubicados en tres niveles, en las esquinas del Horno, cada uno puede suministrar hasta 5700 Litros de combustible por hora, para la pulverización son auxiliados con vapor de agua a una presión de 1 MPa y 250 °C.

Generación de Vapor.

Además del combustible, para el proceso de oxidación del mismo con el consiguiente desprendimiento de gran cantidad del calor, al horno de la caldera se suministra la cantidad de aire necesaria para lograr la combustión completa, este aire es succionado de la atmósfera por dos ventiladores, se precalienta en los precalentadores de aire a vapor hasta 75 °C y finalmente se eleva su temperatura hasta 315 °C en los calentadores de aire regenerativos.

Por otra parte a la caldera se le suministra agua de alimentación, la cual al absorber el calor desprendido por la combustión se transforma en vapor de agua con 13.7 MPa y 525°C.

Sala de Máquinas.

El vapor producido en la caldera llega a la turbina a través de las tuberías de alta presión con 13.24 MPa y 520 °C, este vapor entra al cuerpo de alta presión de la misma a través de 4 válvulas de regulación que controlan la cantidad de vapor en dependencia de la potencia mecánica demandada por el generador eléctrico. En la turbina de vapor se transforma la energía térmica del vapor en energía cinética en los álabes fijos de la misma y la energía cinética en energía mecánica del rotor a través de los álabes móviles.

El vapor sale desde el cilindro de alta presión hacia la caldera nuevamente con 3,4 MPa y 340 °C para volver a elevar su temperatura, retornando al cilindro de media presión con 520 °C y 3.2 MPa, desde el cilindro de media presión pasa al cilindro de baja presión desde donde va hacia el condensador con 0.005 MPa, aquí se condensa al ceder su calor latente al agua de mar que circula como medio de enfriamiento del condensador.

El condensado que se produce en el condensador con una temperatura de 50 °C, es succionado por las bombas de Primera Etapa de Condensado, las que lo hacen pasar por una estación de filtros desmineralizadores con el fin de eliminar cualquier contaminación con agua del mar, luego este condensado es bombeado por las bombas de la Segunda Etapa del Condensado a través de tres Calentadores de Baja Presión, los cuales tienen como función elevar gradualmente su temperatura para facilitar su preparación como agua de alimentación de la caldera.

Al condensador llega también el agua desmineralizada procedente de la planta de Tratamiento Químico del Agua, que es utilizada para reponer las pérdidas de masa que se producen en el ciclo térmico.

El condensado llega al deareador con una temperatura de 110 °C donde por medio del calentamiento con vapor y productos químicos se le extraen los gases incondensables (fundamentalmente el oxígeno libre) que pueda contener, los gases incondensables escapan hacia la atmósfera y el condensado va al tanque de alimentación de la caldera desde donde es succionado por las Bombas de Alimentar de la Caldera.

Las Bombas de Alimentar elevan la presión del agua de alimentar hasta 15.7 MPa para incorporarla a la Caldera, pasándola antes a través de dos Calentadores de Alta Presión donde se lleva la temperatura del agua hasta 235 °C, la cantidad de agua que se suministra a la Caldera es controlada por una estación de válvulas reguladoras que garantizan que se mantenga el balance de masa entre la cantidad de vapor que sale de la misma y la cantidad de agua que se suministra con el fin de asegurar el funcionamiento correcto de la Caldera.

Una vez explicado el Ciclo Térmico de la empresa termoeléctrica, se muestra que sucede después de convertir la energía térmica del vapor en energía mecánica en el eje de la turbina.

Generador Eléctrico.

El rotor del Generador Eléctrico está directamente acoplado al eje de la turbina por lo que gira a la misma velocidad que esta 3600 r.p.m., es un generador trifásico con una potencia activa nominal de 250 MWh y máxima de 275 MWh, la potencia aparente de 294.12 MVA, el factor de potencia de 0.85, voltaje nominal 15,7 kV, es enfriado por Hidrógeno por la

parte exterior de las bobinas y además de esto posee un sistema de enfriamiento con agua desmineralizada por el interior de varios conductores del estator.

Los conductores de salida del Generador Eléctrico están conectados a un transformador de voltaje trifásico con una potencia aparente de 325 MVA, la tensión de entrada al mismo es de 15.7 KV, la tensión en la parte secundaria es de 242 KV, este transformador es el encargado de elevar el nivel de voltaje para la transmisión de la electricidad a largas distancias con el mínimo de pérdidas, la salida del mismo está conectada a través de interruptores al Sistema Electroenergético Nacional.

Datos técnicos de caldera.

En la ETE “Lidio Ramón Pérez” se tiene grandes cantidades de motores de inducción, algunos de ellos de importancia vital y que su funcionamiento puede afectar considerablemente el trabajo de la ETE “Lidio Ramón Pérez”.

Aunque se conoce los parámetros de estos motores, su actualización no se corresponde con los problemas de funcionamiento actual que presenta, debido a ello es necesario analizar con profundidad determinado tipo de motor.

Actualmente existen algunas fallas, que aún se desconoce su origen, este trabajo pretende descifrar si algunos de estos motores son los responsables de ellos. Para ello es necesario determinar su comportamiento y evaluar sus características de acuerdo a los valores reales de operación. La central eléctrica es una instalación energética que sirve para transformar la energía natural en energía eléctrica. El tipo de central eléctrica se determina ante todo por la especie de energía natural. Las que más divulgación han tenido son las centrales termoeléctricas, en las que se usa la energía térmica que se libera al quemar combustible orgánico (carbón, petróleo, gas y otros). En las centrales termoeléctricas se genera cerca del 76% de la energía eléctrica producida en el planeta, en la tabla 1.1 aparecen los datos técnicos de la caldera del bloque #2 de la empresa termoeléctrica de Felton.

DATOS TECNICOS Y PARAMETROS NOMINALES DE LA CALDERA	
Potencia Nominal del vapor, t/h	855
Presión Nominal del vapor Sobrecalentado, Mpa	13,9
Temperatura Nominal del vapor Sobrecalentado, °C	525 ± 8
Presión Nominal del vapor recalentado, Mpa	3.46
Temperatura del vapor recalentado, °C	335\525
Flujo del vapor recalentado, t/h	733.4
Temp. del agua de alimentar a la salida del CAP, °C	240
Temp. del aire ambiente, °C	32
Cantidad de quemadores	12
Etapas de sobrecalentamiento	4
Etapas de recalentamiento	2
Cantidad de ventiladores de tiro forzado	2
Cantidad de recirculadores de gases	2
Cantidad de precalentadores	2
Cantidad de calentadores de aire regenerativos	2
Etapas de atemperamiento.	3
Flujo de agua para la inyección N°1, ton/h	1,0
Flujo de agua para la inyección N°2, ton/h	23,9
Flujo de agua para la inyección N°3, ton/h	0
Eficiencia de la caldera.	94 %

Tabla 1.1: Datos técnicos de caldera

1.3 Datos nominales de los motores eléctricos de la Unidad #2.

Los motores asincrónicos producidos por las fábricas están destinados para funcionar en condiciones determinadas con determinadas características técnicas, llamadas nominales. A los datos nominales de los motores asincrónicos indicados en la tabla fabril de la máquina, fijada en su cuerpo, pertenece:

1. La potencia mecánica desarrollada por el motor, $P_{nom} = P_{2nom}$.
2. La frecuencia de la red f_1 .
3. La tensión de línea del estator $U_{1nom.lin.}$.
4. La corriente de línea del estator $I_{1nom.lin.}$.
5. La frecuencia de rotación del rotor n_{nom} .
6. El coeficiente de potencia $\cos \varphi_{1nom}$.
7. El rendimiento η_{nom}

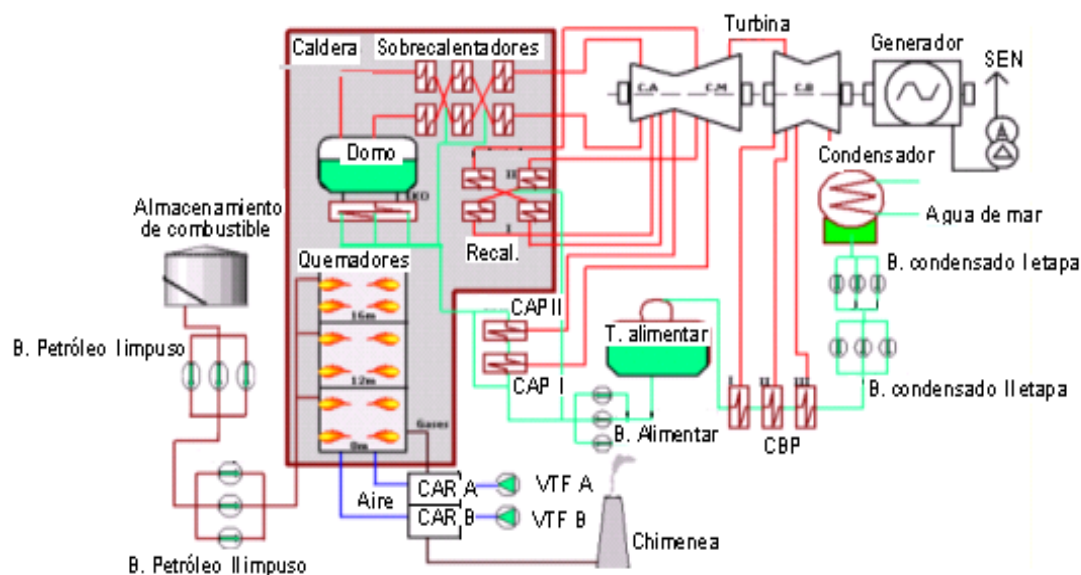


Figura 1.1: Flujo tecnológico de la empresa termoeléctrica Lidio Ramón Pérez.

En la tabla 1.2 se hace referencia a los datos de los motores clase B que intervienen en el proceso tecnológico del Bloque #2.

No	Equipos	VTF	VRG	RL	VG	VC	RM(II)
1	Tipo	2V222-06H	2N4355Z-6	2V205-02H	HKR-056P08E0Q-01M	QRV800L3	HKR-050B04E0Q-03M

No	Equipos	VTF	VRG	RL	VG	VC	RM(II)
2	Velocidad (RPM)	1193	1188	3580	888	445	1777
3	Potencia (KW)	2000	250	4500	300	710	370
4	Corriente (A)	225	31.7	504	38.7	91	45.4
5	Voltaje(V)	6000	6000	6000	6000	6000	6000
6	Factor de potencia	0.9	0.8	0.89	0.79	0.8	0.83
7	Rodamiento delantero	NU236	6320Q6	Chumacera	NV320B/ZS	NU234M	NV320B/ZS
8	Rodamiento trasero	NV236	6220	Chumacera	6320Q6	7326BM	6320Q6
9	Tipo de protección	IP54	IP44	IP44	IP55	IP54	IP55
10	Cantidad	2 E/S	2 E/S	2E/S	1E/S	2 E/S	2E/S
11	Mecanismo que accionan	Un ventilador	Un ventilador	Dos bombas	Una bomba	Una bomba	Una bomba

Tabla 1.2: Datos nominales de los motores clase B del bloque #2.

1.4 Función de los equipos principales.

El sistema de circulación (VC).

- Hacer circular a través del condensador el agua de mar procedente del canal de agua de mar, y que es previamente filtrada por los filtros del sistema Taprogge y así

garantizar el flujo necesario para condensar el vapor de escape del cilindro de baja presión de la turbina.

- Pasar parte de esta agua de mar a los enfriadores del circuito de agua dulce (circuito intermedio) para su enfriamiento.

Sistema de alimentar (RL).

- Este sistema tiene la importante función de suministrar la cantidad de agua necesaria con la presión y temperatura requerida para producir el vapor en la caldera.
- Dentro del sistema de alimentar están comprendidos: tres bombas de alimentar; dos CAP y un tanque de alimentar. El tanque de alimentar con una temperatura de unos 152 °C descarga a la succión de la bomba auxiliar y después a la succión de la bomba principal, esta descarga el agua de alimentar a los CAP. para aumentarle la temperatura a 240 +/- 100 °C con la que va finalmente a caldera recibiendo en el economizador más de 264 °C con la que llega al domo.

Sistema de condensado (RM).

- Transportar el condensado que se acumula en el condensador producto a la condensación del vapor que ha realizado trabajo en la turbina y llevarlo al tanque de alimentar para ser incorporado nuevamente al ciclo Agua - Vapor, pasando durante su recorrido por los Calentadores de Baja Presión, Condensador de Vapor de los Sellos, Eyectores Principales y reguladoras del Tanque de Alimentar donde adquiere temperatura.
- Incorporar al ciclo el condensado proveniente del drenaje de los Calentadores de Alta y Baja Presión, Precalentadores de Aire, Expánder de Sala de Máquinas, así como otros drenajes que descargan al condensador.
- Reponer las pérdidas de agua del ciclo con agua desmineralizada proveniente de tratamiento químico al condensador por medio de la reguladora de nivel por la ducha o por el pozo.

Sistema de enfriamiento (VG).

- El Sistema de Enfriamiento es el encargado de suministrar el agua para el enfriamiento de todos los equipos dinámicos del bloque, así como, intercambiadores de calor que por sus características técnicas necesitan del agua.

Ventilador de Regeneración de Gases (VRG).

- Los gases salen de la caldera con una temperatura de 350 °C y entran al CAR, los que salen después de ceder el calor al aire en el mismo a 145 °C. Antes de entrar al CAR, una determinada cantidad de gases se recirculan hacia la caldera mediante un ventilador denominado “Ventilador de Recirculación de Gases (VRG)”; El objetivo principal de esta recirculación de gases es mantener la temperatura adecuada en el vapor recalentado principalmente a potencias inferiores a 150 MW ya que para potencias superiores a esta el volumen de gases que se genera producto de la combustión generalmente es suficiente para alcanzar dicha temperatura. Este flujo de gases de recirculación se regula mediante las compuertas de regulación en la entrada del VRG en función del flujo y temperatura del vapor recalentado a la salida del recalentador N°2.

Ventilador de Tiro Forzado (VTF).

- El aire procedente de los VTF pasa por los precalentadores de aire y eleva su temperatura hasta 75 °C con el objetivo principal de elevar la temperatura del aire a la entrada del CAR para reducir la posibilidad de que se alcance el punto de rocío en el lado frío de los mismos; de los precalentadores el aire pasa a los CAR donde eleva su temperatura hasta 305°C y de éstos se distribuye hacia las cajas de aire de los quemadores para participar en la combustión.

Antes de llegar al CAR existe un puente de gases entre ambos conductos de descarga de los respectivos VTF con una compuerta intermedia. De dicho puente salen dos líneas, una a cada lado de la compuerta que van cruzadas hacia las compuertas de sellaje de los conductos de gases antes de la entrada del CAR. El cruzamiento de esta línea tiene como objetivo poder mantener el aire de sellaje desde la otra sección en caso que se dispare el VTF y CAR de la sección correspondiente a dicha compuerta de sellaje. También existe un puente de aire a la salida del CAR entre ambos conductos de aire con el objetivo de igualar las presiones del aire en ambas secciones antes de entrar a los quemadores. Después de este puente sale una línea de aire de cada conducto que va hacia el sellaje de la compuerta del conducto de recirculación de gases situada entre el VRG y la caldera correspondiente a cada sección. En la tabla 1.3 se hará referencia sobre la nomenclatura de los principales equipos.

Equipos	Nomenclatura
---------	--------------

Ventilador de tiro forzado	2NG10 y 20 M101
Ventilador recirculador de gases	2NS10 y 20 M101
Bombas de alimentar	2RL01,11 y 21M101
Bombas de enfriamiento	2VG01 y 11M101
Bombas de circulación	2VC01 y 11M101
Bombas de condensado	2RM 31,32 y 33M101

Tabla 1.3: Nomenclatura de los equipos principales

1.5 Conclusiones parciales del capítulo.

1. Se han recopilado los principales datos que permite realizar un análisis del sistema de bombas de alimentar de la unidad #2 de la ETE de Felton los cuales son:
 - Datos nominales del motor.
 - Pasaporte técnico.
 - Flujo tecnológico.
 - Especificaciones técnicas.
 - Pruebas en vacío y cortocircuito.
 - Mediciones.
2. Se logró realizar una recopilación de los datos de los motores de las bombas de alimentar que incluye datos nominales, valores registrados en las hojas de mantenimiento, valores de tensión y corriente obtenidos de las mediciones reales de operación.

Capítulo 2. Características actuales del funcionamiento de los principales accionamientos.

2.1 Introducción.

Estos motores trabajan en un período continuo de producción, en muchos de ellos se han presentado averías por varias causas, entre ellas se puede mencionar la explosión en el bobinado del Estator por cortocircuito entre fase, provocada por el debilitamiento y pérdida de aislamiento en la zona de la falla, debilitamiento de los elementos de fijación del hierro en la salida de ranura, gran suciedad de polvo y hollín en el bobinado provocado por la explosión en el devanado estático, todo esto se hace en aras de indicar una vía factible para mejorar la eficiencia de la energía transferida con su menor costo posible.

Las normas IEEE Std-112-2004 e IEC Std-60034-2-1, a pesar de ofrecer los resultados más precisos en la determinación de la eficiencia del motor, no son aplicables en condiciones de campo. Por esta razón, se han desarrollado varios métodos que permiten realizar un análisis energético de los motores de inducción trabajando in situ. Sin embargo, en ningún caso se considera de manera satisfactoria el efecto provocado por la alimentación del motor mediante redes contaminadas de armónicos de tiempo, con desviaciones y desbalances de tensión.

2.2 Análisis del coeficiente de absorción.

Para mostrar cómo se comporta el coeficiente de absorción (K_a) se ha planteado contra la fecha en que se ha efectuado el mantenimiento.

2.3 Coeficiente de Absorción (K_a).

Es la razón existente entre la Resistencia de Aislamiento medida a los 15 segundos y 60 segundos. Este coeficiente, muy empleado en la década del 50, permite evaluar, con cierta confiabilidad, la Resistencia de Aislamiento y el estado de contaminación.

Determinación del coeficiente de absorción (K_a).

Para la determinación del coeficiente de absorción (K_a) se calcula el cociente entre R_{15} y R_{60} atendiendo a lo señalado en la siguiente expresión:

$$Ka = \frac{R60''}{R15''} \quad (2.1)$$

Los criterios de estado referentes al nivel de contaminación, asociados al valor del coeficiente de absorción se muestran en la Tabla 2.1.

El ensayo para la determinación del coeficiente de absorción se realiza con un megómetro de 2000 V ó 2500 V capaz de proporcionar una intensidad de corriente de al menos 2 mA e inferior a 5 mA.

Criterio	Valor de Ka
Pobre	< 1,1
Dudoso	≥1,1 hasta < 1,25
Aceptable	≥1,25 hasta < 1,40
Bueno	≥1,40 hasta < 1,60
Excelente	≥1,60 hasta < 2,5
Limpio y seco, pero deteriorado térmicamente	≥2,5 (*)

Tabla 2.1: Criterios sobre el estado del aislamiento, asociados al coeficiente de absorción (Ka).

Nota: Este criterio sólo es válido para aislamientos clase B asfálticos

2.4 Criterios de verificación de mantenimiento.

A través de estos métodos se puede detectar cualquier anomalía que pueda poner en peligro la vida útil del equipo, estas verificaciones en su tiempo programado aumentan la vida útil de los motores pero como hay equipos que tienen un proceso de trabajo continuo sin reserva en muchas ocasiones se pasan de su tiempo establecido de mantenimientos.

2.5 Índice de Polarización (I P).

Es la razón existente entre la Resistencia de Aislamiento medida al 1 minuto y a los 10 minutos. Este coeficiente evalúa el grado de contaminación.

Determinación del Índice de Polarización (I P).

El Índice de Polarización (IP) es el indicador de mayor aceptación en la actualidad para la evaluación de la Resistencia de Aislamiento y la presencia de contaminación y humedad presentes en el aislamiento de las MERGP. Los criterios obtenidos a partir de la aplicación del ensayo de Resistencia de Aislamiento en Función del Tiempo son más certeros que los derivados del ensayo de Coeficiente de Absorción y permiten determinar, de manera confiable, el estado general del aislamiento entre fases y en el aislamiento a tierra, es decir si éste se encuentra fallado, si se encuentra con un nivel de aislamiento apropiado, si ha absorbido humedad o se encuentre contaminado.

Para la determinación del Índice de Polarización se miden los valores de la resistencia de aislamiento medidos al 1er. minuto ($R1'$), y a los 10 minutos ($R10'$), respectivamente de aplicada la tensión de ensayo al devanado objeto de prueba.

$$IP = \frac{R1'}{R10'} \quad (2.2)$$

Donde:

$R1'$ - Resistencia registrada en el primer minuto del ensayo.

$R10'$ - Resistencia registrada en el décimo minuto del ensayo.

El Índice de Polarización también puede ser determinado como:

$$IP = \frac{R10'}{R1'} \quad (2.3)$$

Donde:

$R1'$ - Corriente de conducción registrada en el primer minuto del ensayo

$R10'$ - Corriente de conducción registrada en el décimo minuto del ensayo.

En las Tablas 2.2 y 2.3 se brindan los criterios de contaminación asociados a los valores del Índice de Polarización para la Clase A: 1.5, B: 2.0, y F: 2.0 respectivamente.

El ensayo para la determinación IP se realiza con un megómetro de 5000 V capaz de proporcionar una intensidad de corriente de al menos 2 mA e inferior a 5 mA.

Valor	Criterio
≤ 1	Contaminado
2 a 6	Limpio y Seco
> 7	Limpio y seco, pero deteriorado térmicamente

Tabla 2.2: Criterios sobre el estado del aislamiento asociado al Índice de Polarización (IP) para aislamientos Clase B de Base Asfáltica.

Valor	Criterio
< 1	Contaminado
> 2	Bueno

Tabla 2.3: Criterios sobre el estado del aislamiento asociados al Índice de Polarización (IP) para aislamientos Clase B y F de Base Polimérica.

Como se observa en la figura 2.1 del motor de la bomba de alimentar (2RL01M101), donde existen unos valores mínimo de $K_a=1.3$ y un valor máximo de $K_a=3.2$ y esto trajo consigo un promedio de $K_a=1.67$.

Según criterio en la gráfica siguiente se observa mediante las líneas de tendencia el camino futuro que le espera al coeficiente de absorción que es de aumentar

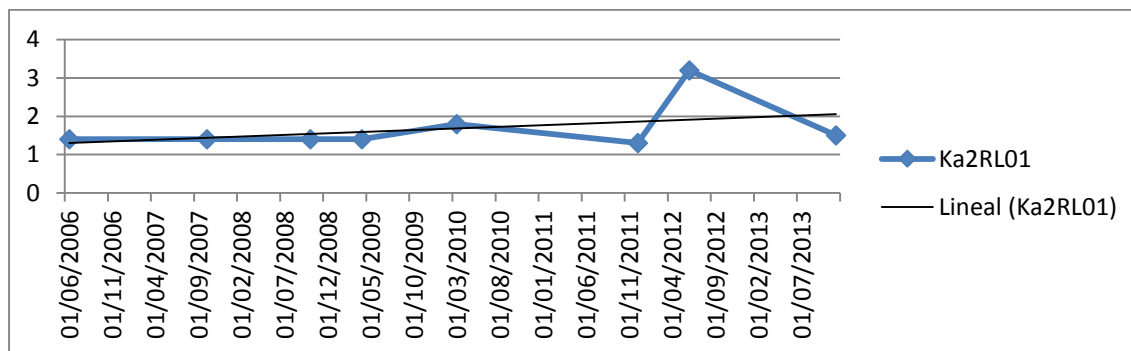


Figura 2.1: Coeficiente de absorción vs tiempo de la 2RL01M101.

Ahora se analizará el comportamiento de la bomba de alimentar (2RL11M101). Como se muestra a continuación veremos cómo se ha comportado el coeficiente de absorción (K_a). Este coeficiente en esta bomba tuvo como valor mínimo un $K_a=1.3$ y su valor máximo es de un $K_a=2.4$ y tuvo como promedio general un $K_a=1.71$.

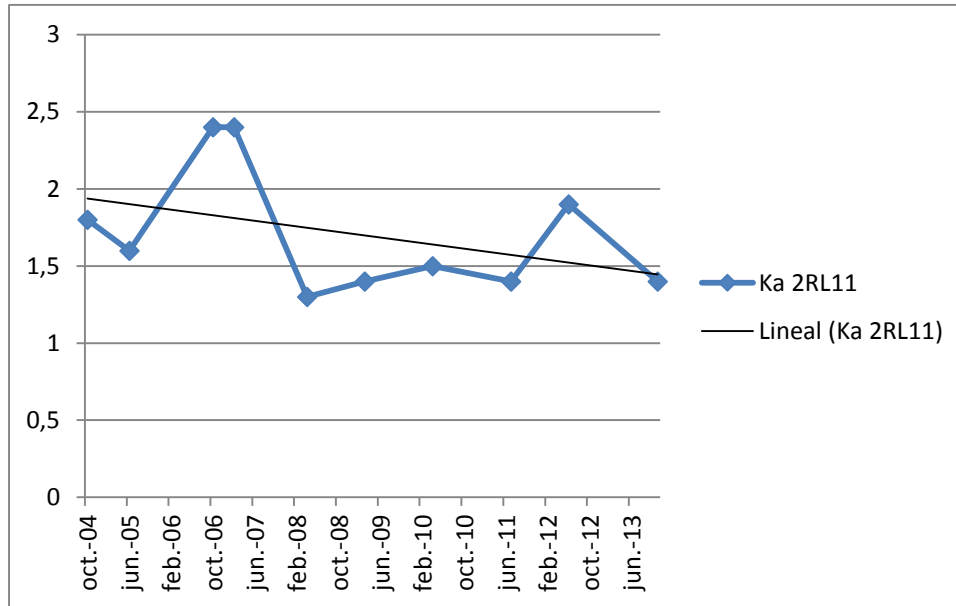


Figura 2.2: Coeficiente de absorción vs tiempo de la 2RL11M101

Mediante las líneas de tendencia tenemos una visión de cómo se puede comportar el coeficiente de absorción en el motor y las medidas que podemos tomar para que no llegue a destruirse o averiarse. En este caso podemos observar la tendencia a disminuir las líneas.

2.6 Análisis de las mediciones realizadas a las bombas de alimentar.

Se comenzara analizando y calculando el coeficiente de carga (K_c) de la 2RL01M101 y 2RL11M101, como se observa en la tabla 2.4.

Fecha	Hora	2RL01(I)A	2RL11(I)A	Kc 2RL01	Kc 2RL11
20140428	'00:00:00'	238A	269A	0.993	1.008
20140428	'01:00:00'	238A	269A	0.991	1.005
20140428	'02:00:00'	238A	269A	0.991	1.003
20140428	'03:00:00'	238A	269A	0.990	1.001
20140428	'04:00:00'	263A	265A	0.993	1.003

Fecha	Hora	2RL01(I)A	2RL11(I)A	Kc 2RL01	Kc 2RL11
20140428	'05:00:00'	263A	265A	0.992	1.003
20140428	'06:00:00'	263A	265A	0.993	1.004
20140428	'07:00:00'	263A	265A	0.984	1.006
20140428	'08:00:00'	263A	265A	0.987	1.004
20140428	'09:00:00'	263A	265A	0.989	1.006
20140428	'10:00:00'	263A	265A	0.989	1.011
20140428	'11:00:00'	263A	265A	0.991	1.008
20140428	'12:00:00'	263A	265A	0.995	1.011
20140428	'13:00:00'	239A	265A	0.991	1.004
20140429	'00:00:00'	233A	265A	0.984	1.003
20140429	'01:00:00'	238A	265A	0.970	1.006
20140429	'02:00:00'	238A	265A	0.968	1.005
20140429	'03:00:00'	238A	265A	0.970	1.008
20140429	'04:00:00'	238A	265A	0.976	1.014
20140429	'05:00:00'	263A	265A	0.978	1.015
20140429	'06:00:00'	263A	265A	0.979	1.016
20140429	'07:00:00'	263A	265A	0.980	1.019
20140429	'08:00:00'	263A	265A	0.984	1.022
20140429	'09:00:00'	263A	265A	0.988	1.024
20140429	'10:00:00'	263A	265A	0.981	1.018
20140429	'11:00:00'	263A	265A	0.978	1.016
20140429	'12:00:00'	263A	265A	0.975	1.011
20140429	'13:00:00'	339A	265A	0.975	1.012
20140429	'14:00:00'	339A	265A	0.971	1.009
20140429	'15:00:00'	264A	265A	0.971	1.009
20140429	'16:00:00'	264A	265A	0.975	1.013
20140429	'17:00:00'	264A	265A	0.976	1.015
20140429	'18:00:00'	264A	265A	0.979	1.016
20140429	'19:00:00'	264A	265A	0.983	1.017
20140429	'20:00:00'	264A	265A	0.984	1.018

Fecha	Hora	2RL01(I)A	2RL11(I)A	Kc 2RL01	Kc 2RL11
20140429	'21:00:00'	264A	265A	0.989	1.022
20140429	'22:00:00'	264A	265A	0.988	1.021
20140429	'23:00:00'	264A	265A	0.985	1.019
20140429	'24:00:00'	264A	265A	0.982	1.015

Tabla 2.4: Mediciones de corriente y coeficiente de carga de las bombas de alimentar.

2.7 Coeficiente de carga de las dos bombas de alimentar.

En el gráfico 2.3 que a continuación se muestra se puede observar claramente que la bomba de alimentar (2RL11M101) trabaja sobrecargado gran parte del tiempo con posibilidad de que se pueda destruir por trabajar mucho tiempo fuera de los parámetros nominales, poniendo en peligro la estabilidad y confiabilidad del bloque #2.

En la bomba de alimentar (2RL01M101) se observa que todo el tiempo trabaja dentro de los parámetros nominales de operación; permitiendo una operación más confiable y segura, además de alargar la vida útil del equipo.

Estas variaciones pueden ser causadas por varios factores entre ellos se encuentran los siguientes:

1. Bajo nivel en el canal: Esta causa ocurre cuando las mallas rotatorias que se encuentran a la entrada del canal están sucias y no permite que entre el agua necesaria para mantener el nivel de succión de las bombas.
2. Condensador y enfriadores sucios: Esto ocurre siempre que a través de la succión de la bomba penetra suciedades que se alojan en el interior de los tubos del condensador y los enfriadores, esto sucede por estar fuera de servicio la estación de clorinación que está diseñada para eliminar las pequeñas partículas que podrían pasar por las mallas giratorias; trayendo consigo un aumento de presión en la descarga de la bomba.
3. Problemas en los filtros Taprogge: Cuando los filtros no operan eléctrica o mecánicamente se almacenan en ellos gran cantidad de suciedad porque el sistema de limpieza de ellos es a contra-flujo impidiendo que haya un buen flujo provocando una sobrepresión en la descarga.

4. Problemas mecánicos en el cuerpo de las bombas: Estos pueden ser rozamiento en la bomba, eje flexado o desbalanceado, sellos defectuoso, impelente con álabes rotos, problemas con los rodamientos o mala selección de la bomba para este trabajo.
5. Cierre de las compuertas de descarga: Puede ocurrir por fallas de límites o por problemas en los mecanismos hidráulicos.

Estos son los problemas más comunes que afectan las bombas de alimentar.

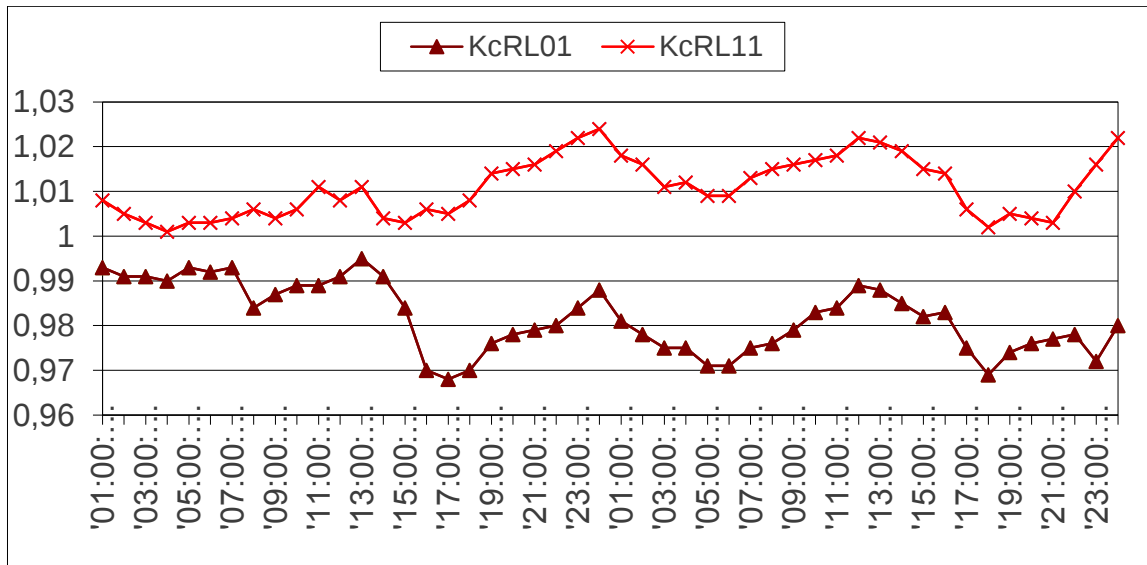


Figura 2.3: Coeficiente de carga (Kc) de ambas bombas de alimentar.

2.8 Análisis de las mediciones de tensión y corriente.

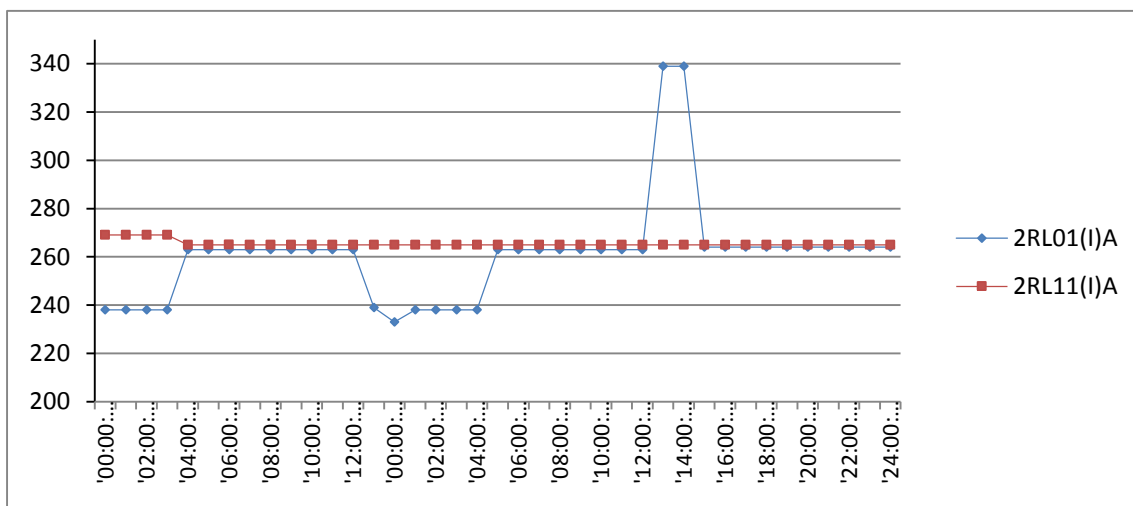


Figura 2.4: Mediciones de corriente de ambas bombas.

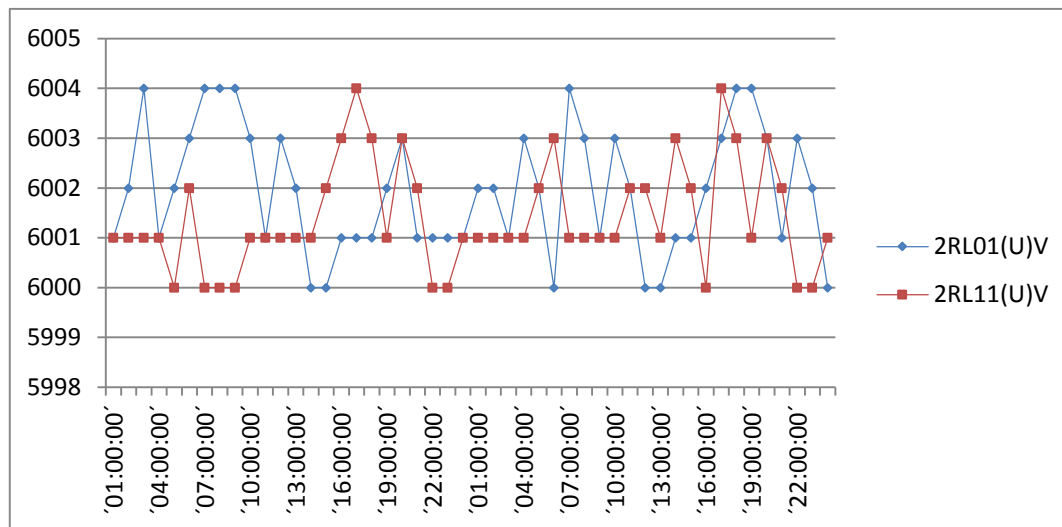


Figura 2.5: Mediciones de tensión de ambas bombas.

Como se puede apreciar en la figura 2.4, en el gráfico de corriente en función del tiempo se manifiesta que la bomba de alimentar (2RL01M101) trabaja dentro del límite de corriente dado por el fabricante, no siendo así en el caso de la bomba de alimentar (2RL11M101), que opera todo el tiempo por debajo de los valores nominales de corriente. La explicación a las causas de esta diferencia de valores de corriente de trabajo fue dada en el acápite anterior producto a que el coeficiente de carga del motor depende de la corriente de carga a que está sometido el mismo y de la corriente nominal.

Cabe destacar que las variaciones de corriente de estos motores no está en dependencia de la carga que esté llevando el bloque, sino que esta puede estar influenciada por deficiencias propias de este sistema de operación.

En el caso del gráfico de voltaje se aprecia que el mismo se mantiene prácticamente constante durante el periodo analizado producto a que los transformadores de alimentación de los equipos de 6kV poseen un dispositivo (cambia taps) que es el encargado de regular el voltaje que llega a los mismos manteniéndolo en el valor de 6 000 volts, por lo que podemos deducir que las variaciones de corriente analizadas anteriormente no dependen del voltaje, sino de las resistencias mecánicas que pueda introducirle la bomba al motor.

2.9 Características de operación del motor de la bomba de alimentar.

Característica mecánica del motor de inducción.

De acuerdo con el circuito equivalente en la expresión para el momento electromagnético se puede escribir en la forma:

$$M_{em} = \frac{p U_1^2 R_2}{2\pi f \left[\left(R_1 + \frac{R_2}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2)^2 \right]} \quad (2.4)$$

Así pues, para $U_1 = \text{const}$, la curva $M_{em} = f(s)$. Cuando los valores del deslizamiento son grandes, M_{em} disminuye a pesar de que aumenta I_2 ya que $\cos \varphi_2$ en este caso disminuye rápidamente.

A partir de la ecuación (2.4) se pueden deducir los momentos característicos del motor de inducción:

2.10 Momento electromagnético máximo.

Es preciso determinar el deslizamiento para el cual se obtiene el mismo, partiendo de los datos del circuito L:

$$s_m = \frac{R_2}{\sqrt{R_1^2 + X_c^2}} \quad (2.5)$$

En virtud de (2.4) y (2.5), para el momento electromagnético máximo hallamos:

$$M_{max} = \frac{p U_1^2}{2\pi f} \frac{R_2}{R_1^2 + X_c^2} \quad (2.6).$$

La relación $k_m = M_{max}/M$ se llama factor de capacidad de sobrecarga del motor asincrónico.

Momento de arranque del motor asincrónico.

A la par con el momento máximo, el momento de arranque del motor M_{arr} es una de las características de explotación más importantes del motor. El valor del momento M_{arr} se obtiene de la fórmula general para el momento (2.4) siendo $s=1$:

$$M_{arr} = \frac{P_2}{\omega_1} \quad (2.7)$$

El momento M_{arr} se expresa habitualmente por la relación $K_{arr} = M_{arr} / M_n$ la cual se llama multiplicidad del momento de arranque.

Carácterísticas de operación del motor de la bomba de alimentar.

Por característica de trabajo de un motor asincrónico se comprende:

$$n, M, \eta, \cos \phi = f(P_2) \text{ siendo } U_1 = \text{const}, f_1 = \text{const}. \quad (2.8)$$

Además, pertenece también a los índices de importancia el coeficiente de capacidad de sobrecarga k_s y, para los motores en cortocircuito, también el orden de la corriente de arranque y del momento de arranque.

A. Velocidad de rotación del motor $n = f(P_2)$ de la fórmula para el deslizamiento se desprende $n = n_1(1-s)$. que por otro lado

$$s = p_{cob2} / P_{e.m} \quad (2.9)$$

Así pues, el deslizamiento del motor asincrónico numéricamente es igual a la relación de las pérdidas en el devanado del rotor p_{cob2} a la potencia electromagnética P_{em} ; por eso aquí, $s \approx 0$ y $n \approx n_1$. A medida que aumenta la carga crece la relación (2.8), pero, teniendo en cuenta el alto rendimiento del motor, está limitada entre límites bastante estrechos. Habitualmente, a carga nominal, $p_{cob2} / P_{e.m}$ La cifra menor se refiere a los motores de mayor potencia, del orden de 3 a 10 Kw. La dependencia $n = f(P_2)$ representa una curva poco inclinada con respecto al eje de abscisas. El motor posee una

característica de velocidad del tipo de la característica del motor de corriente continua en derivación.

B. **Dependencia $M=f(P_2)$** . en el régimen permanente de funcionamiento $M=M_2+M_0$ donde M_2 es el momento de frenado del motor, y M_0 es el momento en vacío. Puesto que al variar la carga en los límites desde la marcha en vacío hasta la nominal la velocidad de rotación de los motores asíncronos permanece casi constante, la dependencia $M=f(P_2)$ del motor asíncrono es casi rectilínea.

C. **Pérdidas y rendimiento del motor.** En los motores asíncronos tienen lugar las mismas pérdidas que en otras máquinas eléctricas: pérdidas mecánicas, pérdidas en el acero, pérdidas en el cobre y pérdidas adicionales. Las pérdidas totales en el motor son:

$$P_{ac} + P_{mec} + P_{ad} + P_{Fe} + P_{Cu}$$

(2.10)

Al aumentar la carga la suma de las pérdidas $p_{ac}+p_{mec}$ disminuye algo a causa de la disminución del flujo principal, así como de la disminución de la velocidad de rotación, generalmente estas pérdidas se incluyen en las pérdidas constantes del motor. En contradicción con las pérdidas en el acero, las pérdidas en el cobre varían proporcionalmente al cuadrado de la corriente.

D. **Factor de potencia $\cos\varphi=f(P_2)$** El motor asíncrono, consume de la red corriente retrasada que casi no depende de la carga. Por eso su $\cos\varphi$ es siempre menor de la unidad. En marcha en vacío $\cos\varphi$ habitualmente no sobrepasa de 0,2, pero luego, bajo carga, crece bastante rápidamente y alcanza el máximo cuando la potencia es próxima a la nominal. Al seguir aumentando la carga disminuye la velocidad del motor, correspondientemente a lo cual aumenta el ángulo $\psi = \arctg \frac{X_2}{R_2}$ y disminuyen el $\cos\varphi_2$ y el $\cos\varphi$.

E. **Capacidad de sobrecarga del motor.** Se llama capacidad de sobrecarga del motor asíncrono o, de otra manera, momento de vuelco, a la relación del momento máximo del motor a su momento nominal, es decir,

$$k_m = M_{max} / M \quad (2.11)$$

Habitualmente en los motores de pequeña y media potencia $k_m=1.6-1.8$. En los motores de media y gran potencia $k_m=1.8-2.5$ en los motores especiales k_m alcanza 2,8-3,0 y más.

2.11 Conclusiones parciales del Capítulo.

Como se ha podido apreciar en este capítulo podemos arribar a las conclusiones siguientes:

- Se ha realizado un análisis del coeficiente de absorción (K_a) de cada bomba donde se muestra los valores máximo y mínimo de este parámetro, además se representa la línea de tendencia del mismo lo cual permite adoptar medidas para evitar cualquier deterioro que pueda tener lugar en alguno de estos motores.
- En este capítulo se dan a conocer los valores de las mediciones de tensión y corriente realizadas a las bombas de alimentar de forma tabulada, además se muestra en gráficos el comportamiento de estos parámetros donde se aprecia que para la bomba de alimentar (2RL01M101) los mismo están dentro de la norma, mientras que en la bomba (2RL11 M101) estos están alterados y fuera de norma según el fabricante.
- Se realiza una explicación de las características de operación de los motores de la bomba de alimentar, mostrando las fórmulas utilizadas para la determinación de los mismos.

Capítulo 3. Análisis de los resultados. Valoración Económica e Impacto Ambiental.

3.1 Introducción.

Comúnmente las únicas herramientas usadas por el personal de mantenimiento para detectar fallas en motores han sido un megger (medidor de aislamiento) y un ohmímetro. Desdichadamente la información brindada es muy general y no precisa la zona de falla del motor en estudio. Es muy fácil del diagnostico erróneamente si se confía solo en los resultados de un megger.

Un programa de perfeccionamiento energético difícilmente puede considerarse completo sin una evaluación de la eficiencia de los motores más potentes y críticos de una instalación.

En la actualidad, debido a los precios crecientes y las exigencias de ahorro de energía, el valor de la eficiencia juega un papel fundamental en la industria.

3.2 Resultado del coeficiente de absorción (Ka).

Los resultados del coeficiente de absorción (Ka) de la 2RL01M101 tienden a un incremento, donde esto puede ser perjudicial para su vida útil ya que si el valor de Ka asciende >2.5 el aislamiento está limpio y seco pero deteriorado térmicamente poniendo en peligro la estabilidad de la planta y el sistema electro energético nacional (SEN).

El coeficiente de absorción (Ka) de la 2RL11M101 en su línea de tendencia para el futuro su valor disminuye donde también es perjudicial, cuando disminuye el valor de Ka a >1.25 el motor no puede trabajar ya que se encuentra fuera de parámetro.

En este aspecto no se ha podido lograr una estabilidad en su valor de Ka, esto afecta la vida útil del motor, además de realizarse los mantenimientos en fechas muy prolongadas y no en el tiempo que están establecidos donde provoca que esta medición muy importante se realice a largo plazo y no en el plazo que corresponde.

También se hace referencia a que solo se le puede realizar mantenimiento a estos motores cuando el bloque se encuentra fuera de servicio y eso no solo depende de los

mantenimientos prolongados sino de la situación del sistema electro energético nacional (SEN), o realizarle mantenimiento a una sola bomba que eso implicaría una limitación del bloque al 60% de la carga nominal.

3.3 Análisis de los parámetros eléctricos.

En este acápite se tratará de los parámetros eléctricos como el coeficiente de carga (K_c), la corriente térmica y también nos referiremos a los resultados obtenidos en las mediciones y análisis de estos parámetros.

Análisis del comportamiento del coeficiente de carga de ambas bombas.

A través de las pruebas realizadas tenemos como resultado que el coeficiente de carga de la 2RL01M101 (K_{c1}) no trabaja sobrecargada pero siempre trabaja al 100% de la carga nominal donde se le haría muy difícil soportar una sobrecarga en un momento dado, además estas bombas son más eficientes en las $\frac{3}{4}$ parte de la carga nominal.

Ahora nos referimos al coeficiente de la carga de la 2RL11M101 (K_{c2}) y veremos como muestra la figura (2.3) que este motor siempre trabaja sobrecargado trayendo consigo un mayor calentamiento y una disminución de su vida útil, además de un posible deterioro del aislamiento del mismo.

Por diseño del fabricante esta bomba viene calibrada para disparar a más de 91A por sobrecorriente pero se le han realizado algunos ajustes que van en contra de su vida útil. Actualmente estas protecciones están reguladas para que actúen a 95 A en un tiempo continuo de 10 minutos.

Análisis del comportamiento de la corriente de ambas bombas.

Las corrientes en estas bombas son un parámetro muy importante porque ahí se derivan otras protecciones que pueden accionar un disparo de la misma como: alta temperatura en el devanado del motor que señala a 115 °C y dispara a 140 °C.

La corriente de la 2RL01M101 se comporta dentro de los parámetros nominales como se puede observar en la figura (2.4) del acápite 2.8. Este parámetro en la 2RL11M101 tiene un comportamiento diferente con respecto a la 2RL01M101, donde la misma trabaja con corrientes más altas que las nominales teniendo como consecuencia frecuentes averías y

disparos. Estas altas corrientes dependen del accionamiento del motor y otras anomalías del sistema que será explicado en acápite posterior.

Análisis del comportamiento de la tensión de ambas bombas.

A continuación haremos referencia al comportamiento de la tensión en ambas bombas donde veremos que la tensión varía muy poco queda demostrada en la figura (2.5). Entonces llegaremos a la conclusión de que la variación de corriente no depende del voltaje.

3.4 Análisis de las causas que provocan alta corriente y medidas para darle solución.

Problemas mecánicos.

- A.** Deterioro de los cojinetes de la bomba.

Solución: Cambio de cojinetes.

Evaluación y corrección de la rugosidad del rotor.

- B.** Deterioro de los cojinetes del motor.

Solución: Cambio de rodamientos.

Evaluación de la lubricación de los rodamientos.

Evaluación de las condiciones de trabajo (vibraciones).

- C.** Flexión de la flecha.

Solución: Corrección de la flexión (maquinado).

- D.** Deterioro del difusor.

Solución: Repasaron y ajuste del difusor.

Problemas de limpieza.

- A.** Enfriadores sucios.

Solución: Realizar cambio de enfriador y limpieza del sucio.

- B.** Condensador sucio.

Solución: Limpieza del condensador.

Alta disponibilidad del sistema de limpieza de los filtros taprogge.

Limpieza del canal de entrada.

Utilización del sistema de tratamiento de agua de mar contra los organismos vivos (clorinación, anillos de cobre, etc.)

C. Filtros sucios.

Solución: Lavar los filtros.

Alta disponibilidad del sistema de limpieza de los filtros taprogge.

Limpieza del canal de entrada.

Problemas hidráulicos.

A. Bajo nivel del canal.

Solución: Limpieza de las mallas fijas.

Limpieza de las mallas rotatorias.

B. Ruptura del sifón.

Solución: Eliminar infiltraciones de aire en el sistema.

Revisar el buen trabajo de las bombas de vacío.

Revisar posibles problemas constructivos del sifón.

3.5 Valoración Económica.

A continuación se hará una valoración sobre la energía indisponible dejada de utilizar por varias afectaciones dentro del sistema y propia de la empresa, donde se refleja limitaciones en los bloques de producción y salidas de líneas que se hará referencia en la tabla (3.1) y (3.2). Donde se compararan ambos bloques con sus limitaciones.

Fecha	Equipo	Suma de Tiempo (Horas)	Suma de Ener.Ind (MW)	Causa	Suma de Tiempo (Horas)	Suma de Ener.Ind (MW)
May. 2013	1RL01M101	118,34	17588,55	Por regulador hidráulico	118,34	17588,55
Jun. 2013	1RL01M101.	7,05	1057,5	Por regulador hidráulico	7,05	1057,5
Jul. 2013	1RL01M101.	4,71	721,25	Cambio de aceite a bomba de alimentar RL01. Cambio de aceite a RL01M101.	2,95 1,76	457,25 264
Ago. 2013	1RL01M101	1,95	487,5	Bomba alimentar.	1,95	487,5
Oct. 2013	1RL11M101	49,57	13893,3	Por regulador hidráulico. Fuera de servicio. Trabajo en bomba de alimentar.	37,43 9,33 2,81	4631,1 4631,1 4631,1
Nov. 2013	1RL11M101	6,66	999	Regulador hidráulico.	6,66	999
Dic. 2013	1RL01M101	33,16	4959,44	Por reductor SKODA.	29,68	4437,44
Ene. 2014	1RL01M101	2,92	420,55	Salidero en la entre toma muestra RL03S101.	0,99 1,93	131,05 289,5
Feb. 2014	1RL01M101	22,26	3272,2	Falla eléctrica. Cambio de aceite. Cambiar sellos.	1,97 7,1 13,19	492,5 1065 1714,7
Mar. 2014	1RL11M101	0,84	126	Salidero en línea de impulso de presión de descarga.	0,84	126
Abr. 2014	1RL11M101	1,39	208,5	Cambio de aceite.	1,39	208,5
May .2014	1RL11M101	2,13	179,7	Cambio de rama de alimentar. Cambio de rama de alimentar por válvula.	0,8 1,33	46,7 133
Total		250,98	43391,49		250,98	43391,49

Tabla 3.1 Indisponibilidades Equipo - Causas (Unidad 1).

Fecha	Equipo	Suma de Tiempo (Horas)	Suma De Ene.ind (MW)	Causa	Suma de Tiempo (Horas)	Suma de Ene.ind (MW)
Mayo 2013	2RL01M101	1,06	53	Avería en las ramas de alimentar.	1,06	53
Julio 2013	2RL01M101	35,22	5435,8	Alta temperatura en aceite de Bombas de alimentar. Bomba de alimentar.	14,76 20,46	2366,8 3069
Octubre 2013	2RL11M101	19,56	2934	Alta temperatura. Bomba RL11M101. Cambio de aceite.	3,33 15,41 0,82	499,5 2311,5 123
Diciembre 2013	2RL11M101	0,6	87,6	Cambio de aceite	0,6	87,6
Enero 2014	2RL11M101	11,36	1704	Bomba de alimentar	11,36	1704
Febrero 2014	2RL11M101	37,64	4722,9	Bba alimentar RL11M101, falla eléctrica. Bba alimentar RL21M101. Falla eléctrica en RL21M101. Revisión en reductor Skoda por ruido.	4,77 17,68 1,74 13,45	1192,5 1262,85 435 1832,55
Total		90.68	14937.3		90.68	14937.3

Tabla 3.2 Indisponibilidades Equipo - Causas (Unidad 2).

Se debe enfatizar que la ETE le vende el MW al Despacho Nacional y el a su vez lo distribuye, aclaramos esto ya que el precio del MW depende de la generación neta en el mes, el consumo y los gastos que incurren en el mes, y esto se le agrega el consumo de combustible.

Se deja de utilizar 58328,79 MW en ambos bloques por indisponibilidades y limitaciones de los bloques solamente en el sistema de alimentar, todo restandole a la generación neta que fue 898712.200 MW quedaría entonces 840383.41 MW por el precio del MW que fue de \$167,61 MN. A continuacion en la Tabla 3.3 se hará referencia lo expuesto anteriormente.

Generación Neta(MW)	898712.200
Energía Indisponible(MW)	58328.79
Precio del MW	167.61
Generación neta menos la energía indisponible	840383.410

Tabla 3.3 Valoración del calculo de la energía indisponible de ambos Bloques.

Por todo lo antes expuesto la ETE decidió adquirir 3 motores de alimentar para mejorar la eficiencia en la generación.

Los resultados del cálculo económico nos aportaron según el método de cálculo(Anexo 1), el Valor Absoluto Neto (VAN) fue de 2.130.682 , el Tiempo de Inversión Recuperable (TIR) fue de 89.70% y el plazo de recuperación es de 2 años.

3.6 Impacto ambiental.

El petróleo que circula por el sistema de bombeo de la “ETE” (Chávez, 2007), no constituye un problema de afectación al medio ambiente de forma directa, sin embargo para la producción de energía eléctrica es necesario quemar gran cantidad de petróleo. Este proceso constituye uno de los mayores problemas de contaminación ambiental por la emisión de gases a la atmósfera, dentro de los cuales se encuentra el dióxido de carbono (CO₂), que constituye el elemento fundamental que interviene en el llamado Efecto Invernadero causante de la elevación gradual de la temperatura de la atmósfera terrestre.

Método de Doernenburg.

Este método utiliza relaciones de gases claves para diagnosticar el tipo de fallas presente: Sobrecalentamiento. Descargas parciales y otro tipo de descarga

Identificación de los impactos ambientales en Sala de Máquina.

Acciones o actividades	Factores ambientales	Impactos ambientales
	Hombre	Aumento de enfermedades respiratorias
Emisiones de ruido	Hombre	Pérdidas de sensibilidad auditiva

FUENTE: G. Hurtado. 2000. Tesis Doctoral.

Estas afectaciones producen efectos indirectos y negativos como incremento de la presión Sanguínea, aceleración del ritmo sanguíneo, la contracción de los capilares de la piel y la disminución en la capacidad de trabajo físico y mental del hombre, expuestos también a enfermedades respiratorias y de la piel.

Identificación de los factores ambientales susceptibles a afectaciones.

Medio físico	Medio socio-económico
Suelo	Hombre
Agua	Aspectos sociales
Aire	Aspectos económicos

FUENTE: G. Hurtado. 2000. Tesis Doctoral.

El proceso de caracterización de los impactos ambientales es de suma importancia, pues posibilita la comprensión de la dimensión exacta del análisis desarrollado, determinando cómo repercute sobre el medio ambiente cada uno de los impactos ambientales que tienen lugar tanto en el objeto como en los elementos externos a este.

La contaminación del aire: Está dado por emisiones de gases a la atmósfera que se producen como resultado de la utilización de productos químicos en su proceso de generación, estos gases una vez transitan por diferentes procesos como la dispersión de SO_2 , SO_3 , NO_2 .

Según la norma NC-93.02.103 “Clasificación y simbología de las expulsiones según sus características.” Oficina Nacional de Normalización”

En las centrales eléctricas se tiene un estricto control de la influencia que afectan en el entorno ambiental y laboral. Si partimos que por cada kilogramo de combustible que se quema se emiten a la atmósfera alrededor de $13,3 \text{ Nm}^3$ de gases de combustión (Chávez, 2007), que contienen CO , SO_2 , SO_3 , NO_x y otros gases en diferentes proporciones según sea la calidad de la combustión.

3.7 Conclusiones parciales del capítulo.

Luego de haber realizado un análisis de los aspectos que tratados en los capítulos anteriores y sobre todo de los resultados obtenidos se arriba a las conclusiones siguientes:

- Los resultados del coeficiente de absorción (K_a), en el caso de la bomba de alimentar 2RL01M101 se observa un incremento y para la bomba 2RL11M101 se apostó una disminución del mismo, lo que trae consigo una afectación de la vida útil de estos equipos en ambos casos.
- Luego de analizar el resultado de las mediciones de los parámetros eléctricos podemos apreciar que los mismo para la bomba 2RL01M101 están dentro de norma, aunque esta trabaja al 100% de su carga y cualquier variación de alguno de ellos provocaría una sobrecarga de la misma, mientras que la 2RL11M101 opera todo el tiempo sobrecargada afectando la vida útil de la misma.
- Se dan a conocer las posibles causas que pueden provocar afectación en los valores de corriente de estas bombas así como las medidas para darle solución a las deficiencias que se puedan presentar.

Conclusiones Generales

1. Se logró realizar una recopilación de los datos de los motores de las bombas de alimentar que incluye datos nominales, valores de tensión y corriente obtenidos de las mediciones reales de operación con lo cual podemos concluir que la bomba de alimentar 2RL01M101 trabaja dentro de los valores nominales dados por el fabricante en el proyecto, aunque se encuentra en el límite de estos los cuales trae consigo que con una ligera variación de estos se desvíe de este rango, mientras que la bomba 2RL11M101 opera todo el tiempo con los valores menores que los del proyecto trayendo consigo la reducción de la vida útil de estos equipos y la consiguiente sustitución de los mismos lo que traería consigo una erogación importante en divisas para nuestro país.
2. Se efectuó un análisis de las características fundamentales de los principales accionamientos de los motores de las bombas de alimentar, donde profundizamos en el coeficiente de absorción, las mediciones de tensión y corrientes de estos motores así como las características donde quedó demostrado mediante valores reales que la bomba de alimentar 2RL11M101 opera en valores por debajo de la corriente de proyecto..

Recomendaciones

- Mejorar el sistema de medición de potencia a estos equipos para poder realizar comparaciones y poder conocer mejor el estado del motor.
- Se debe aumentar la profundidad de las supervisiones en los mantenimientos, para que a los equipos se le realice un mantenimiento de calidad y así ocurran menos averías en ellos.
- Utilizar el software Active Factory Trend para la operación eficaz de los motores asíncronos, de tal forma que contribuya a una mejor supervisión del proceso de generación, así como para tareas de investigación en las Termoeléctricas del país.

.

Referencias Bibliográficas

1. Bethel Noah P. Tampa, 2006. (Pérdida de la credibilidad en la habilidad de solución).
2. BLANC J. Y. MT. Control, mando y protección de motores. Cuaderno Tecnico Schneider nº 165.
3. Carrera, G. M., (2000). Nueva metodología para el diagnóstico de fallas basadas en generación residual, Universidad Autónoma de León. Tesis de Maestría.
4. Castelli, M. Andrade, M. Portillo, A. Daoudian, N. Farinella, D. Casas, N. (2006). Desarrollo de un equipo para realización de mantenimiento predictivo en motores asíncronos de gran porte. URUMAN. Montevideo – Uruguay.
5. Costa Montiel A., Galan N., Ciumbulea G., López X. M. Cálculo de los parámetros del motor de inducción a partir de datos de catálogo. 2004.
6. Chávez, R. (2004). Diagnóstico Integral de Centrales y Subestaciones Eléctricas. CTE Felton, Cuba.
7. Chávez, R. (2007). Aumento de la Confiabilidad en la respuesta de la CTE “Lidio Ramón Pérez”, durante averías en el SEN. XV Fórum Nacional de Ciencia y Técnico, Cuba.
8. Díaz H., Borjas R. y Sangárdia A. Diseño y ensayo de un controlador dfuso para un motor de inducción trifásico. Revista Facultad de Ingeniería. U.I.A. Chile. Vol. 4. 1997.
9. González, A., (2000). Los métodos, técnicas y procedimientos de la investigación. ISPEJV-CELAEE. Cuba.
10. González A, Hechavarría L, Metodología Para Seleccionar Sistemas de Mantenimiento, 2002, Universidad de Oriente.
11. Hidalgo Juan C B. México, 2003(Análisis de motores eléctricos).
12. Hidalgo. Juan C. (2009) referente al análisis de las zonas de fallas de motores eléctricos.
13. Huerta Mendoza R.-Petróleos de Venezuela PDVSA, 2010 (Análisis de fallas en rodamientos de motores eléctricos, una aplicación del análisis de causa-raíz).

14. Hurtado, G. (2003). Metodología de Estudio de Impacto Ambiental en CTE y las líneas de transmisión eléctricas hasta subestaciones.
15. Ing. Esparza Saucedo Marcos, Ing. Ponce de León Viedas Eugenio. Comité Mexicano, Biental, 2001, (Las salidas de las unidades a mantenimiento, con un enfoque de mantenimiento preventivo).
16. Ing. Velásquez G. Luis, Ing. Beverido L. Rafael, Mayo del 2005 (Motores Eléctricos).
17. Manes F. Cabanas,(2004). Técnicas para el Mantenimiento y Diagnóstico de Máquinas Eléctricas Rotativas.
18. Manual Técnico de Motores Eléctricos.
19. Melingerk Mora, Puerto Ordaz, Mayo del 2012. (La función de protección magnética por cortocircuito).
20. Moreno Eguilaz J. M. Aportaciones a la optimización de energía en accionamientos eléctricos para motores de inducción mediante lógica difusa. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. España. Junio del 2000.
21. Nuez Amador M. V. Simulación y control del motor de inducción por Campo Orientado. Tesis Doctoral. La Habana, 1998. pp 11 – 15.
22. Romero Rueda I. Estudio del motor de inducción de rotor de jaula de ardilla sujeto a la Teoría del Campo Orientado. Tesis de Maestría. ISMM. Junio del 2000.
23. Skoda, S.A. (1986). Normas e instrucciones de Mantenimientos y Explotación de los Sistemas Tecnológicos. CTE Felton.
24. Skoda, S.A. (2005). Documentación técnica Felton TG1 250 MW. Keveten.

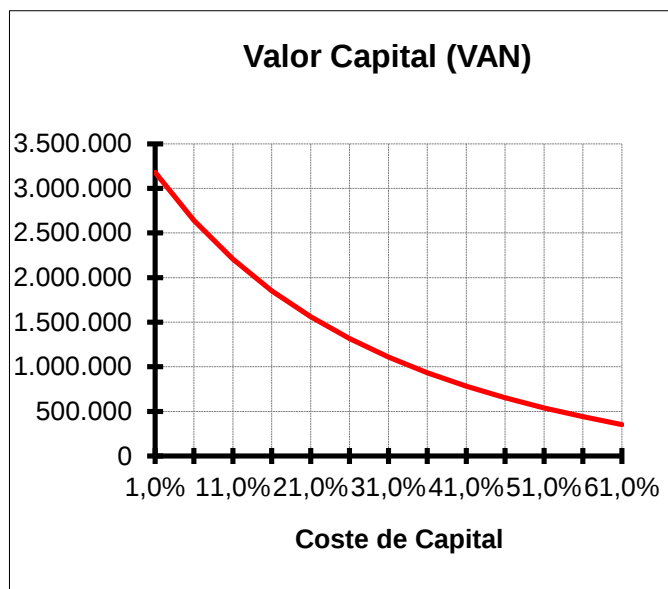
Anexos

Anexo 1

Cálculo Económico

Tasa de descuento		12%		
AÑO	GASTOS	INGRESOS	RESULTADO	VA
0	898.712		-898.712	-898.712
1	0	840.383	840.383	750.342
2	0	840.383	840.383	669.949
3	0	840.383	840.383	598.168
4	0	840.383	840.383	534.079
5	0	840.383	840.383	476.856
898.712		4.201.917	#####	
2		7	3.303.205	#

Resumen de la inversión 1	
Rto. contable	4,6754868
Rto. contable medio	2
Plazo de recuperación	0,9350973
	6
VAN	2,00
TIR	2.130.682
	89,70%



Datos para análisis del VAN	
Tasa de dto. 1	1%
Incremento	5,0%
Coste del Capital	VAN
1,0%	3.180.031
6,0%	2.641.288
11,0%	2.207.258
16,0%	1.852.950
21,0%	1.560.236
26,0%	1.315.758
31,0%	1.109.519
36,0%	933.944
41,0%	783.215
46,0%	652.814
51,0%	539.194
56,0%	439.542
61,0%	351.610

Anexo 2

Informe de análisis de fallo o incidente durante la operación**Central Eléctrica: Lidio Ramón Pérez****Datos del fallo o incidente**

Evento	Fallo	x	Incidente		Especialidad	Eléctrica
--------	-------	---	-----------	--	--------------	-----------

Fecha	Año	2014	Mes	Marzo	Día	22	Hora	6:14
-------	-----	------	-----	-------	-----	----	------	------

Unidad o parte común	Sistema	Equipo o componente	Parte específica
2	Alimentar	Motor 2RL11M101	Bobinado del estator del Motor.

Salida forzada		Inmediata		Diferida	
Disparo		Automático		Manual	
Parada manual					

Limitación de potencia	Inmediata	x	Diferida	
------------------------	-----------	---	----------	--

Otras consecuencias	Disparo por fallo del aislamiento en el bobinado del estator.
---------------------	---

Estado de la central y sus unidades antes del evento

La unidad # 2 se encontraba en servicio con 170 MW.

Secuencia del evento

Al encontrarse en servicio la Bomba de Alimentar 2RL21M101 ocurre el disparo de la barras de 6kv, entra la reserva automática, limitándose el bloque a 125 MW, todo esto provocado por falla del aislamiento del bobinado del estator, ocurriendo una explosión en la parte trasera del motor,

Análisis del evento

Al inspeccionar el motor se detectan daños en el bobinado del Estator del motor provocado por la explosión ocasionado por el debilitamiento y perdida de aislamiento en esa zona, daños de los 4 acrílicos situados en los visores del bobinado del estator y gran suciedad de hollín en el bobinado en la zona de la falla.

Anexo 3**SOLICITUD DE SERVICIO PARA LA REPARACION DEL MOTOR ALIMENTAR.****CTE Felton.**

Fecha: 10/9/2010

A continuación relacionamos el estado técnico del Motor de Bba Alimentar con No.2130703

Descripción detallada de los trabajos realizados.

Inicialmente este motor por una necesidad de nuestra empresa se trajo de la CTE Nuevitas, el cual se encontraba almacenado, se le realizó una revisión, una defectación y un Mtto hasta su completamiento.

Se les realizan las pruebas eléctricas y mecánicas según procedimientos las cuales resultaron satisfactorias con valores de aislamiento excelentes, durante la prueba sin estar el motor acoplado a la bomba y **este fallo de forma instantánea.**

Estado técnico.

1. Estator con todos los elementos retirados, y con el bobinado estator dañado.
2. Explosión en las cabezas de bobinas.
3. Tacos separadores partidos y fuera de lugar.
4. Amarras totalmente partidas y safadas.
5. Aro soporte del difusor suelto.

Ing. Luis Castillo Muguercia.

Jefe de Taller Eléctrico.

Ing. Marcelo Torres Herrera

Inspector CTE (EP).

Anexo 4

LISTADO DE RECURSOS PARA REHABILITACION Y REPARACION MOTOR ALIMENTAR DE REPUESTO BLOQUE No.1.				
No	Recursos.	U/M	Cantidad.	En existencia.
1	Trapos.	Kg.	5	
2	Nafta.	lts	10	
3	Petróleo.	lts	3	
4	Alcohol clase “A”.	lts	4	
5	Teype plástico.	u	4	
6	Cepillo de acero. (Manual).	U	6	
7	Cinta de teflón.	u	1	
8	Spray aflojador WD40	u	1	
9	Papel esmeril fino	U	6	
10	Papel esmeril mediano	U	6	
11	Papel esmeril grueso.	U	3	
12	Lija de agua grano fina.	U	3	
13	Neopren de Nitrilo de 1mm	Plancha.	1	



14	Glifal	Lts	4	
15	Unión universal de $\frac{3}{4}$ ”	U	2	
16	Cable Flexible para alto voltaje 6kv,	Mts	6	
16	Marcadores permanentes. (Plumones).	U	1	
Observaciones				
Confeccionado por: Luis E. Castillo. Técnico “A” Mtto a Generadores..				

Nota: Es necesario la entrega de estos recursos para la terminación de los mtto de los dos equipos en la fecha planificada.

Cc. Planificación.

Mtto.