

**PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA EL SISTEMA
DE ELECTRÓLISIS DE LA LÍNEA DE EMD DE QUINTAL S.A.**

CARLOS ALBERTO DE LA CRUZ RODRÍGUEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BARRANQUILLA**

2019

**PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA EL SISTEMA
DE ELECTRÓLISIS DE LA LÍNEA DE EMD DE QUINTAL S.A.**

CARLOS ALBERTO DE LA CRUZ RODRÍGUEZ

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

Director: Juan David Silva

MscRenewableEnergySystemsTechnology

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BARRANQUILLA
2019**

DEDICATORIA

A Dios por brindarme esta oportunidad.

A mi esposa e hijos por su amor y comprensión durante el tiempo de la especialización.

A mis padres por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa QUINTAL S.A. por el apoyo económico y el tiempo brindado para la ejecución de la especialización.

A mis compañeros de trabajo que contribuyeron significativamente en el desarrollo del trabajo.

GLOSARIO

EMD: Dióxido de Manganeso Electrolítico

RECTIFICADOR: Fuente conmutada para convertir la corriente continúa en corriente directa

ELECTRÓLISIS: Proceso químico por medio del cual una sustancia o un cuerpo inmersos en una disolución se descomponen por la acción de la una corriente eléctrica continua.

RESUMEN

TITULO:

PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA EL SISTEMA DE ELECTRÓLISIS DE LA LÍNEA DE EMD DE QUINTAL S.A.

AUTOR:

CARLOS ALBERTO DE LA CRUZ RODRÍGUEZ

PALABRAS CLAVE:

RECTIFICADOR, EMD, RCM, MODO DE FALLA, EFECTOS DE FALLA, MANTENIMIENTO

CONTENIDO

Esta monografía muestra el desarrollo de un modelo de mantenimiento basado en RCM para el Sistema de Electrólisis de la línea de EMD de la empresa Quintal S.A., realizado como respuesta a la necesidad de mantener la confiabilidad del suministro de energía al proceso de fabricación de EMD y de esta manera mantener la confiabilidad de los equipos que conforman este sistema, minimizar el impacto en la producción causados por la indisponibilidad de dichos equipos y con el objetivo de implementar las tendencias de mantenimiento desarrolladas en la actualidad, las cuales plantean modelos que se adaptan a las funciones y contexto operacional específicos de cada equipo, que es una de las características que cumple el mantenimiento centrado en confiabilidad.

Este desarrollo está soportado por la información técnica de los equipos y el conocimiento y experiencia del personal de planta que opera y mantiene a los mismos, los cuales identifican claramente los modos de falla y el efecto de los mismos. Una vez desarrollado esto, la metodología RCM, a través del diagrama de decisión, brinda una herramienta robusta que permite de una forma estructurada, establecer las actividades necesarias para mantener la confiabilidad del sistema y preservar su función.

El resultado debe estar acompañado de un compromiso en la ejecución de las tareas resultantes del RCM y un seguimiento constante por parte del personal de mantenimiento, buscando oportunidades de mejora en el modelo planteado que permitan incrementar la efectividad del mismo.

*Monografía de grado

**Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Juan David Silva.

ABSTRACT

TITLE:

MAINTENANCE PLAN BASED ON RCM FOR THE ELECTRONICS SYSTEM OF THE EMD LINE OF QUINTAL S.A.

AUTHOR:

CARLOS ALBERTO DE LA CRUZ RODRÍGUEZ

KEYWORDS:

RECTIFIER, EMD, RCM, FAULT MODE, FAULT EFFECTS, MAINTENANCE

CONTENT:

This monograph shows the development of a maintenance model based on RCM for the Electrolysis System of the EMD line of the company Quintal SA, carried out in response to the need to maintain the reliability of the energy supply to the manufacturing process of EMD and in this way maintain the reliability of the equipment that make up this system, minimize the impact on production caused by the unavailability of such equipment and with the aim of implementing the maintenance trends developed today, which propose models that adapt to the functions and specific operational context of each equipment, which is one of the characteristics that reliability-based maintenance meets.

This development is supported by the technical information of the equipment and the knowledge and experience of the personnel of the plant that operates and maintains them, which clearly identify the modes of failure and the effect thereof. Once this has been developed, the RCM methodology, through the decision diagram, provides a robust tool that allows, in a structured way, to establish the necessary activities to maintain the reliability of the system and preserve its function.

The result must be accompanied by a commitment in the execution of the tasks resulting from the RCM and constant monitoring by the maintenance staff, looking for opportunities for improvement in the proposed model to increase its effectiveness.

****Grade Monograph**

**** Faculty of Physical - Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management.
Director: Juan David Silva.**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. DESCRIPCION DEL PROYECTO	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
3. OBJETIVOS	18
3.1 OBJETIVO GENERAL	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4. JUSTIFICACIÓN	18
5. MARCO TEORICO	20
6. MARCO CONCEPTUAL	22
6.1 DESCRIPCIÓN	22
6.2 ELEMENTOS DEL SISTEMA.....	23
7. ESTRUCTURA FUNCIONAL DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE RECTIFICACIÓN	25
7.1 CELDA DE PROTECCIÓN.....	25
7.2 TRANSFORMADOR REGULADOR SUNTEC 2,5 MVA	26
7.3 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.....	27
7.4. TABLERO DE CONTROL	28
7.5 RECTIFICADOR	29

.....	29
7.5.1 Especificaciones técnicas Rectificador	30
8. FALLAS FUNCIONALES Y MODOS DE FALLA	31
8.1 MODOS DE FALLA CELDA DE PROTECCIÓN	31
8.2 MODOS DE FALLA AUTO TRANSFORMADOR	32
8.3 MODOS DE FALLA SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	33
8.4 MODOS DE FALLA TABLERO DE CONTROL.....	34
8.5 MODOS DE RECTIFICADOR.....	35
9. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	36
9.1 HOJAS DE DECISIÓN	36
10. CONCLUSIONES	40
BIBLIOGRAFIA.....	41
ANEXOS.....	42

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de Severidad.....	37
Tabla 2. Valores de probabilidad.	38
Tabla 3. Valores detectabilidad.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización	15
Figura 2. Electro Manganese Dioxide	16
Figura 3. Diagrama de flujo para proceso electrolítico	17
Figura 4. Disposición de cubas electrolisis	22
Figura 5. Diagrama de los componentes del sistema de rectificación	24
Figura 6.Celda de Protección.....	25
Figura 7. Auto transformador.	26
Figura 8. Bombas sistema de enfriamiento.....	27
Figura 9. Tablero de control.....	28
Figura 10. Esquema de conexión rectificador.....	29
Figura 11. Barraje rectificador.....	29

INTRODUCCIÓN

Mantener la confiabilidad de los equipos es una de las principales funciones del departamento de Mantenimiento, esta confiabilidad es una característica esencial para el rendimiento en la producción en una planta industrial, así como también la disponibilidad de los mismos, evitando la ocurrencia de fallas y manteniéndolos en su contexto operacional, para ello es importante establecer una metodología estructurada que brinde los parámetros necesarios para lograr mantener los equipos en las condiciones óptimas de funcionamiento.

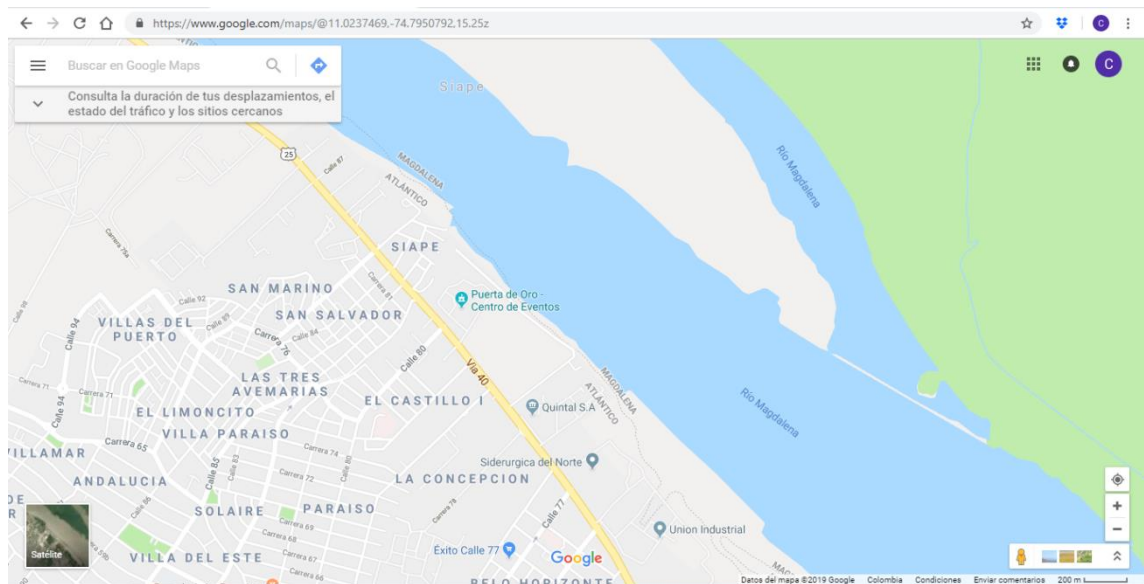
RCM es una herramienta que nos brinda la oportunidad de mantener de manera sistémica la confiabilidad del sistema de electrólisis, y así cumplir con las metas de producción.

1. DESCRIPCION DEL PROYECTO

Quintal S.A. se dedica a la fabricación y distribución de productos dentro de la química básica. Es un grupo colombiano con más de 50 años en el sector y con presencia en varios países, hoy su actividad principal se centra en el desarrollo de productos a partir del mineral de manganeso.

Las instalaciones de producción están ubicadas en la margen izquierda del Río Magdalena, en la ciudad de Barranquilla, capital del Departamento del Atlántico en la costa norte de Colombia.

Figura 1. Localización



Fuente: Google Maps.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El EMD es el componente crítico para la elaboración de pilas alcalinas y de algunos condensadores electroquímicos como material de cátodo en las baterías, es producido a través de la electrólisis de la solución de sulfato de manganeso.

El EMD es considerado como una fuente futura de energía sostenible para el reemplazo de los combustibles fósiles, su uso inicial fue en celdas de cinc-carbono (celdas de Leclanché), y en la actualidad en celdas alcalinas, las baterías alcalinas tienen una capacidad más elevada por unidad de volumen que otras baterías de cinc-dióxido de manganeso, y con una capacidad de descarga elevada, es decir, larga duración, a tasas de descarga elevadas.

Figura 2. Electro ManganeseDioxide



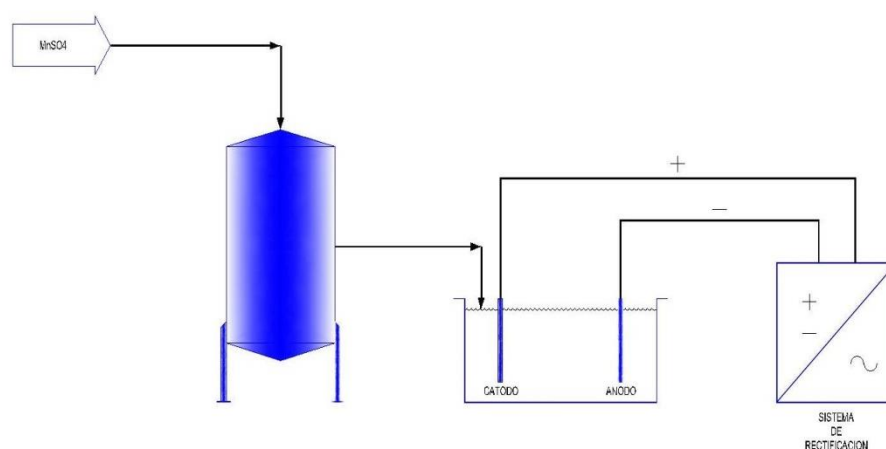
Fuente:Wikipedia, battery grade mangesedioxide.

La capacidad de descarga de las baterías alcalinas depende de la calidad del EMD usado, la cantidad necesaria en el cátodo en baterías alcalinas es de aproximadamente un 82 % de EMD y por lo general se forma en un cátodo anular mediante extrusión por impacto en el recipiente o mediante el moldeo por compresión de gránulos que se vuelven a compactar contra el recipiente. En ambos de estos procesos, las propiedades del EMD deben ser muy coherentes

para permitir que el fabricante de la batería produzca de forma coherente baterías de alta calidad.

Para la producción de EMD la empresa cuenta con un Rectificador de 12 pulsos, el cual realiza el proceso de rectificación de corriente para el proceso de electrólisis, por ende, mantener la confiabilidad y la disponibilidad de los equipos es el principal objetivo del mantenimiento, de tal manera que el proceso se logre desarrollar dentro de los límites requeridos.

Figura 3. Diagrama de flujo para proceso eléctrico



Fuente: propia

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un plan de mantenimiento basado en el modelo RCM para el sistema de Electrólisis de la línea de EMD, con el fin de mantener la confiabilidad de los equipos que conforman dicho sistema, asegurando el cumplimiento de las metas de producción, y que estas no se vean afectadas por fallas en el mantenimiento.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar cuáles son los componentes críticos en el sistema.
- Analizar las actividades que generan la indisponibilidad de los equipos con mayor índice de fallas, con el fin de mantener un constante suministro de corriente a las cubas de electrólisis, para lo cual se verificará los tipos de falla en el sistema, como su impacto en el mismo.
- Establecer un plan de mantenimiento basado en RCM que permita prevenir la falla de equipos y el cumplimiento de objetivos.
- Apoyarse en el software de administración de mantenimiento (AM versión 2.11.0) para programar el plan de mantenimiento del sistema.

4. JUSTIFICACIÓN

El compromiso del departamento de Mantenimiento es mantener la disponibilidad de los equipos para garantizar el correcto funcionamiento de los mismos, y de esta manera garantizar los objetivos comerciales planteados por la empresa, con el objeto de ser un proveedor confiable para nuestros clientes, por lo tanto es necesario definir una estrategia de mantenimiento de los equipos asociados al proceso, adicionalmente disminuir los costos, tiempos de parada no deseadas y el reproceso del producto.

La implementación de los nuevos esquemas de mantenimiento, como el RCM, el cual permite identificar problemas, analizar su causa raíz y establecer estrategias que entreguen confiabilidad y sostenibilidad al proceso.

Una de las variables críticas del proceso es la de mantener la disponibilidad del sistema de rectificación confiable, ya que la Electrólisis es un proceso de oxidación reducción que se desarrolla mediante una fuerza externa de energía, en este caso electricidad, que incrementa la descomposición de sus componentes, la falla en el suministro de energía al sistema no permitiría la reacción electroquímica afectando el proceso.

5. MARCO TEORICO

Según John Moubray, el mantenimiento centrado en la confiabilidad se define como El proceso utilizado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional.

RCM fue inicialmente desarrollada para la industria de la aviación de Estados Unidos, donde los altos costos derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazaban la sostenibilidad de las compañías aéreas su éxito hizo que fuera implementada en otras áreas.

El enfoque de RCM de este proyecto se adapta a la necesidad de mantener la disponibilidad del sistema de rectificación de corriente, incrementando la confiabilidad del proceso y por ende del suministro a los clientes, asegurando un producto de calidad y la productividad de la planta.

El RCM está basado en siete preguntas enmarcadas en el contexto operacional del sistema a revisar:

1. ¿Cuál es la función del equipo?
2. ¿De qué forma puede fallar?
3. ¿Cuál es la causa de la falla?
4. ¿Qué sucede cuando falla?
5. ¿Qué importa si falla?
6. ¿Qué se puede hacer para prevenir la falla?
7. ¿Qué se puede hacer si no se puede prevenir la falla?

Cada elemento del sistema a revisar tiene una función determinada, la pérdida parcial o total de estas funciones afecta de alguna manera la operación del

sistema, por lo tanto, al iniciar RCM se debe definir los parámetros de funcionamiento de cada uno de los componentes del sistema.

Una vez definido el estándar de funcionamiento del sistema, hay que identificar de qué manera puede fallar cada elemento en el cumplimiento de sus funciones, esto lleva al concepto de falla funcional, que es: “el resultado de la incapacidad de los equipos para dar su nivel de desempeño esperado. Son un síntoma o evento observable por el personal de producción y mantenimiento”

Luego es necesario definir los modos de falla que tienen mayor probabilidad de causar la pérdida de la función estandarizada, un modo de falla es: “cualquier evento que causa una falla funcional”, .estos modos de falla dependen del tipo de componente y obedecen a patrones diferentes, por ejemplo sistema eléctrico, sistema de bombeo, etc.

El paso siguiente es determinar el impacto de cada falla y establecer sus consecuencias, si esta consecuencia es significativa se debe tratar de prevenir.

Al tener definidos los diferentes modos de fallo y sus consecuencias, es posible determinar las tareas de mantenimiento a implementar, no necesariamente debe ser un mantenimiento sistemático, pero se deben tener en cuenta los impactos en la seguridad, medio ambiente, producción y cualquier parte interesada en el proceso de una manera lógica, esas tareas del plan de mantenimiento deben disminuir o eliminar el impacto de cada modo de falla.

6. MARCO CONCEPTUAL

SISTEMA DE ELECTRÓLISIS TRANSFORMADOR RECTIFICADOR 15KA - 200VDC.

6.1 DESCRIPCIÓN

El sistema está diseñado para suministrar una corriente directa para la electrolisis de dióxido de manganeso, y está alimentado desde la subestación principal a través de una celda de media tensión de 13,8kV, 60Hz, trifásica.

Figura 4. Disposición de cubas electrolisis



Fuente: http://mobieltonen.nl/8663_manganeses-mining-methods.html.

La instalación se compone de un conjunto formado por un transformador de 2,5 MVA 13.8kV/200V, con cambiadores de tap sin carga, acoplado al módulo rectificador de 12 pulsos, y demás equipos de maniobra, protección, medida y servicios auxiliares.

Funcionamiento

Para cada tap del conmutador sin carga del transformador, se tiene corriente una corriente continua regulable automáticamente, para obtener valores por encima o debajo de este valor límite del voltaje de salida del transformador de potencia, será necesario cambiar manualmente la posición del tap del cambiador de taps, para esto se debe des-energizar previamente el transformador y aislado el rectificador de las cubas de electrolisis.

EL sistema está proyectado para alimentar un proceso electrolisis con una corriente continua de 12 pulsos.

La regulación comando y control comando y supervisión se realiza desde los tableros y paneles instalados en una la sala de control en la planta de EMD.

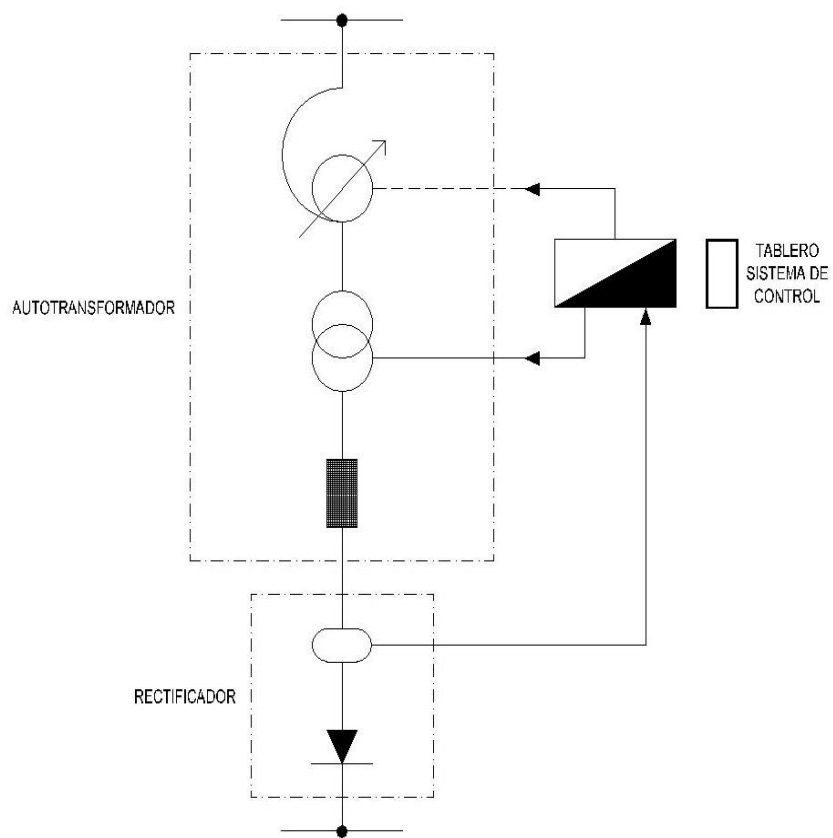
6.2 ELEMENTOS DEL SISTEMA

El sistema de rectificación está conformado de los siguientes equipos:

- Celda de media tensión y protección principal +C13.
- Autotransformador con salida regulable, y taps intercambiable bajo carga.
- Rectificador de diodos de 12 pulsos.
- Sistema de refrigeración.
- Panel de supervisión y protección.

En la figura 4 se muestra el diagrama de los componentes del sistema

Figura 5. Diagrama de los componentes del sistema de rectificación



Fuente. Propia.

7. ESTRUCTURA FUNCIONAL DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE RECTIFICACIÓN

7.1 CELDA DE PROTECCIÓN

El sistema de rectificación cuenta con una celda de protección en media tensión, con un interruptor en vacío y con las siguientes protecciones:

CELDA +C13:

- Protección de sobre corriente
- Protección de sobre y sub tensión
- Protección de temperatura de aceite de transformadores
- Protección de nivel de aceite de transformadores
- Protección parada de emergencia.

Figura 6.Celda de Protección



Fuente: propia

7.2 TRANSFORMADOR REGULADOR SUNTEC 2,5 MVA

El sistema de rectificación cuenta con un Autotransformador regulador con taps intercambiable bajo carga para regulación de voltaje, La refrigeración del transformador es del tipo ventilación forzada y es realizada por 6 (seis) ventiladores dimensionados para disipar el 100% las pérdidas a plena carga.

Figura 7. Auto transformador.



Fuente: propia

7.3 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

El sistema de enfriamiento consiste en un circuito cerrado de agua desmineralizada que pasa a través de las barras del sistema de rectificación, con el fin de disipar el calor generado por los diodos y el barraje de la unidad rectificadora, y por lo tanto mantener el barraje a una temperatura inferior a los 85 °C, para ello cuenta con dos bombas centrífugas de 1 HP.a 1800 rpm, una en funcionamiento y otra en bypass.

Figura 8. Bombas sistema de enfriamiento



Fuente: propia

7.4. TABLERO DE CONTROL

El sistema cuenta con un tablero de control para encendido, maniobra y apagado del equipo, así como la visualización de las medidas de tensión y corriente de la electrolisis., además posee una pantalla de interfaz donde se visualizan las variables del equipo.

Figura 9. Tablero de control



Fuente: propia

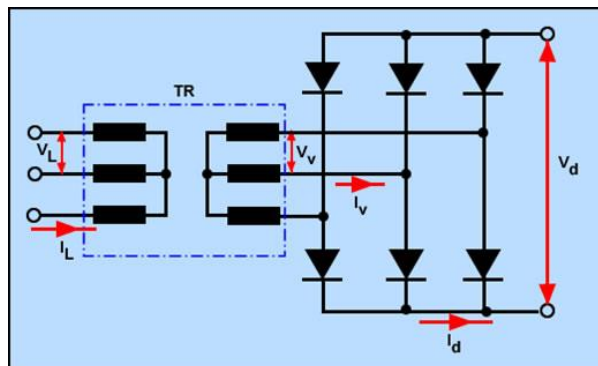
7.5 RECTIFICADOR

El sistema de rectificación permite transformar una tensión alterna trifásica suministrada por el transformador de potencia, a una tensión continua de magnitud fija (AC a DC), la cual se conecta a la cuba electrolítica

La unidad rectificadora está formada por barrajes de aluminio refrigerados con agua donde los diodos de silicio y fusibles son montados en configuración tipo doble puente trifásico, tal como se muestra en la figura 9

La unidad rectificadora está diseñada para instalación tipo interior.

Figura 10. Esquema de conexión rectificador.



Fuente: propia

Figura 11. Barraje rectificador



Fuente: propia

7.5.1 Especificaciones técnicas Rectificador

- Nivel de corto circuito Estimado: 150MVA- 13,8kV
- Corriente nominal de la instalación: 10kA
- Tensión nominal máxima: 250VDC.
- Tipo de conexión del rectificador: doble puente trifásico
- Número de pulsos de la instalación: 12 Pulsos
- Tensión Auxiliar Alterna: 220V, 60Hz 3 fases.

8.FALLAS FUNCIONALES Y MODOS DE FALLA

A continuación, se presentan los modos de falla que se identificaron en el sistema de rectificación, con el fin de identificar las actividades de mantenimiento a implementar con sus respectivas frecuencias de ejecución, para esta actividad se indagó con el personal de operativo y de mantenimiento de la planta.

8.1 MODOS DE FALLA CELDA DE PROTECCIÓN

		MODOS DE FALLA SISTEMA DE RECTIFICACIÓN		
SUBSISTEMA		CELDA DE PROTECCIÓN		
Item	Función del equipo	Falla Funcional	Modo de Falla	Descripción de Efectos
1	Permitir la energización o desenergización de forma segura de un equipos de una red eléctrica, según IEC 61439-1:2011	Punto caliente en contactos del interruptor, tanto de entrada como de salida.	Aumento de la temperatura por erosión de los contactos	Se presenta calentamiento en los contactos del interruptor con el cableado, disminuyendo la vida útil del equipo y/o presentando salidas de operación de la red.
2	Permitir el corte visible de energía del sistema, de acuerdo a lo establecido por RETIE, rev 2018	No permite visualizar corte de energía	Daño en sistema de señalización del tablero	La palanca mecánica del interruptor no permite accionar el sistema de señalización, debe bloquearse el circuito antes de inspeccionar la celda
3	Apertura y cierre del interruptor	No abre o cierra el interruptor	Bloqueo del mecanismo de cierre por causas mecánicas.	Posición inadecuada del interruptor, por mal procedieminto del ingreso o salida del mismo
			Bloqueo del mecanismo de cierre por causas eléctricas.	La bobina de apertura no responde a señales de control. No activa el mecanismo de apertura del interruptor.
			Bloqueo del mecanismo de cierre por causas eléctricas.	Falla por alarmas de sobrecorriente, sub y sobre voltaje, temperatura y nivel de aceite del transformador.

8.2MODOS DE FALLA AUTO TRANSFORMADOR

		MODOS DE FALLA SISTEMA DE RECTIFICACIÓN		
SUBSISTEMA		AUTOTRANSFORMADOR		
Item	Función del equipo	Falla Funcional	Modo de Falla	Descripción de Efectos
1	Transferir energía eléctrica de un circuito a otro a través de un campo magnético, con el fin de manipular los valores de tensión y corriente requeridos para el proceso	Punto caliente en los bornes de entrada del transformador.	Aumento de la temperatura por falso contacto de los cables de entrada al transformador	Se presenta calentamiento en los bornes de entrada, desgastando los bujes de conexión, presentado mayor consumo de corriente por la fase averiada.
		Punto caliente en el barraje de salida del transformador	Aumento de la temperatura por falso contacto de el barraje de salida del transformador	Se presenta calentamiento en el barraje de salida del transformador, dañando los paquetes de salida de las barras y presentado mayor consumo de corriente por la fase averiada.
2	Aislamiento del transformador	Aislamiento por debajo del nivel mínimo requerido	Falla en características físico químicas del aceite	Humedad por factores externos, disminuyendo la capacidad de aislamiento del equipo.
			Falla en características físico químicas del aceite	Alta temperatura del transformador, degenerando las propiedades del aceite
3	Mantener la temperatura del transformador por debajo de 105 °c, de acuerdo a lo especificado por el fabricante	Alta temperatura del transformador	Falla en los ventiladores del transformador	Alta temperatura del transformador, afectando el aislamiento del mismo, y degradando el aceite.
			Bajo nivel de aceite del transformador	El deterioro en el tanque del transformador, radiadores etc, hace que no se contenga adecuadamente el aceite. Esto puede causar daños mayores por pérdida de aislamiento
			Corto circuito entre espiras	Cambios en la relación de transformación, generando desbalance de fases y disparos del equipo
4	Medición de variables	Equipos de medición de temperatura y presión en mal estado	Protecciones incorrectas	No protección del equipo por fallas de temperatura y presión del transformador

8.3 MODOS DE FALLA SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

		MODOS DE FALLA SISTEMA DE RECTIFICACIÓN		
SUBSISTEMA		SISTEMA DE ENFRIAMIENTO		
Item	Función del equipo	Falla Funcional	Modo de Falla	Descripción de Efectos
1	Recircular agua para enfriamiento al barraje del rectificador	Falla motor eléctrico	Falla por : - Corto entre espiras - Corto entre fases - Desbalance - Sobrecarga - Falla mecánica - Aislamiento	Motor fuera de servicio, disparo de circuito de recirculación de agua, salida de servicio rectificador
		Falla Bomba recirculación	Falla por : - Rodamientos - Empaque . Falla mecánica	Motor fuera de servicio, disparo de circuito de recirculación de agua, salida de servicio rectificador
		Falla sensores de flujo	Señal de alarma incorrecta cuando no exista flujo de agua al barraje	Calentameinto del barraje del rectficador, disparo del sistema

8.4 MODOS DE FALLA TABLERO DE CONTROL

		MODOS DE FALLA SISTEMA DE RECTIFICACIÓN		
SUBSISTEMA		TABLERO DE CONTROL		
Item	Función del equipo	Falla Funcional	Modo de Falla	Descripción de Efectos
1	Controlar los parámetros de operación del rectificador	Falla por pérdida de energía	Falla por daño en ups del tablero de control o prolongado periodo de tiempo sin energía comercial	Disparo del rectificador, fallo en lógica de control
		Accionamientos y/o protecciones en mal estado, deterioro	Deterioro de equipos de control: - Transf, de corriente o tensión - Daño en contactores - Daño en PLC	Disparo del rectificador, daño en equipos de medición, control y maniobra del tablero.
		Falla por conexiones en mal estado	Señales de alarma incorrectas.	Disparo del rectificador.

8.5 MODOS DE RECTIFICADOR

		MODOS DE FALLA SISTEMA DE RECTIFICACIÓN		
SUBSISTEMA		RECTIFICADOR		
Item	Función del equipo	Falla Funcional	Modo de Falla	Descripción de Efectos
1	Conversión de energía eléctrica de corriente alterna trifásica a energía eléctrica de corriente directa,	No entrega la corriente requerida	Falla en uno de los diodos de una de las fases	No genera la corriente requerida por el proceso, recalentamiento de las barras que asumen la carga.
		Punto caliente en el barraje del rectificador	Aumento de temperatura de las barras de salida del rectificador por: - Falla de mangueras de refrigeración. - Diodos con falso contacto.	Se presenta calentamiento en el barraje del rectificador, produciendo pérdidas por calor, no entrega la corriente deseada al proceso.
		Alta temperatura del barraje	Falla en el circuito de refrigeración del barraje, mangueras rotas.	Presenta disparo por temperatura superior a 85° C, desgastando las conexiones en el barraje

9.PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Luego de analizar las fallas funcionales o potenciales de cada uno de los equipos que conforman el sistema de rectificación del proceso de electrolisis, y con base en la teoría de decisión de RCM planteada por J Moubray, se determinará la actividad a ejecutar, su frecuencia y el responsable de la misma., con el fin de mantener la confiabilidad de los equipos.

9.1 HOJAS DE DECISIÓN

En la elaboración de las hojas de decisión se establecieron las siguientes tabulaciones para la severidad, probabilidad de ocurrencia y detección del evento.

Severidad: El nivel de severidad define cuan serio es el problema detectado, que tan tolerable es la falla. Tabla xx

Probabilidad: Es la mayor o menor posibilidad de que ocurra un evento, es decir, es medir cuantitativamente la ocurrencia de un evento, el nivel de ocurrencia o probabilidad se muestra en la Tabla xx

Detectabilidad: Es el mayor o menor grado de visualización de la falla, que tan visible es su efecto, el nivel de detectabilidad se muestra en la Tabla 1.

Las tablas de las hojas de decisión se muestran en los siguientes anexos:

- Anexo 1: Modo de falla seccionador
- Anexo 2: Modo de falla Auto transformador
- Anexo 3: Modo de falla sistema de enfriamiento
- Anexo 4: Modo de falla Tablero de control
- Anexo 5: Modo de falla Rectificador

Tabla 1. Valores de Severidad

VALORES DE SEVERIDAD		
Efecto	Efecto de Severidad	Valor
Peligroso sin alerta	Valor de severidad muy alto cuando un modo de Problema potencial afecta la operación del sistema sin alerta	10
Peligroso con alerta	Valor de severidad muy alto cuando un modo de Problema potencial afecta la operación del sistema con alerta	9
Muy alto	Identificar modos de Problema potenciales y su impacto en la confiabilidad del proceso o actividad	8
Alto	Sistema inoperable con equipo dañado	7
Moderado	Sistema inoperable con daños menores	6
Bajo	Sistema inoperable sin daños	5
Muy bajo	Sistema operable con una significativa degradacion de rendimiento	4
Menor	Sistema operable con una degradacion de rendimiento	3
Muy menor	Sistema operable con minima interferencia	2
Ninguno	No hay efectos	1

Fuente: Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Colombia: Editorial Coldii, 2012. P 307- 316

Tabla 2. Valores de probabilidad.

VALORES PROBABILIDAD		
PROBABILIDAD de fallo	Prob. Fallo	VALOR
Muy alta : Problemas casi inevitables	>1 in 2	10
	1 in 3	9
Alta: Fallos repetitivos	Identificar modos de Problema potenciales y su impacto en la confiabilidad del proceso o actividad	8
	1 in 20	7
Moderadas: Problemas ocasionales	1 in 80	6
	1 in 400	5
	1 in 2,000	4
Baja: Pocas Problemas relativamente	1 in 15,000	3
	1 in 150,000	2
Remota: Problema inverosímil	<1 in 1,500,000	1

Fuente: Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Colombia: Editorial Coldi, 2012. P 307- 316

Tabla 3. Valores detectabilidad.

VALORES DETECTABILIDAD		
Detección	Probabilidad de la DETECCIÓN	Valor
Absoluta incertidumbre	El control del diseño no puede detectar una causa potencial/mecanismo y modo de fallo subsecuente	10
Muy remota	Muy remota la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallos subsecuentes	9
Remota	Identificar modos de Problema potenciales y su impacto en la confiabilidad del proceso o actividad	8
Muy baja	Muy baja la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallos subsecuentes	7
Baja	Baja la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallos subsecuentes	6
Moderada	Moderada la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallos subsecuentes	5
Muy moderada	Muy moderada la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallos subsecuentes	4
Alta	Alta la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallos subsecuentes	3
Muy alta	Muy alta la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallos subsecuentes	2
Casi seguro	Control de diseño detectará causas potenciales/mecanismos y modos de fallos subsecuentes	1

Fuente: Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Colombia: Editorial Coldii, 2012. P 307- 316

10. CONCLUSIONES

La metodología del RCM permitió analizar los modos de fallos del sistema de rectificación de la planta de EMD, gracias a los aportes del personal de mantenimiento y operaciones, y a los manuales de los equipos que conforman el sistema, generando un plan inicial de inspecciones y revisiones a implementar con el fin de mantener la disponibilidad y confiabilidad de la planta, a medida que se desarrollen estas actividades se deberán evaluar de manera permanente, con el fin de garantizar el mejoramiento continuo del proceso.

BIBLIOGRAFIA

GARCÍA GARRIDO, Santiago. Plan de mantenimiento basado en RCM. Enero 2106. Avalaible from internet: [http://mantenimientoindustrial.wikispaces.com/Qué es RCM](http://mantenimientoindustrial.wikispaces.com/Qué+es+RCM).

LUWANCO DO BRASIL, Manual Rectificador 15 KA Quintal. 2008.

MEDINA, Jorge. RCM paso 2: Fallos funcionales ¿Cuáles son los estados de fallas asociados a las funciones? Agosto de 2016. Avalaiblefrom internet: <https://confiabilidadrcm.wordpress.com/2016/08/21/paso-2-fallos-funcionales/>

MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento industrial efectivo. Colombia: Editorial Coldil, 2012. P 307- 316

MOUBRAY, Jhon. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc, 1997. P 6- 56

NUÑEZ FORESTIEN, Gustavo. Guía para el mantenimiento de transformadores de potencia, 2004. Avalaible from internet: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/231/1/370.pdf>

ANEXOS



PLAN DE MANTENIMIENTO SISTEMA DE RECTIFICACIÓN

SUBSISTEMA	CELDA DE PROTECCIÓN ANEXO 1
-------------------	------------------------------------

Item	Función del equipo	Falla Funcional	Modo de Falla	Descripción de Efectos	Severidad	Ocurrencia	Detección	Acción recomendada	Frecuencia	Ejecutada por
1	Permitir la energización o desenergización de forma segura de un equipos de una red eléctrica, según IEC 61439-1:2011	Punto caliente en contactos del interruptor, tanto de entrada como de salida.	Aumento de la temperatura por erosión de los contactos	Se presenta calentamiento en los contactos del interruptor con el cableado, disminuyendo la vida útil del equipo y/o presentando salidas de operación de la red.	3	3	3	1 - Inspección visual del equipo. 2 - Termografía puntos de conexión.	1 - Diaria 2 - Mensual	Electricista Preventivo
2	Permitir el corte visible de energía del sistema, de acuerdo a lo establecido por RETIE, rev 2018	No permite visualizar corte de energía	Daño en sistema de señalización del tablero	La palanca mecánica del interruptor no permite accionar el sistema de señalización, debe bloquearse el circuito antes de inspeccionar la celda	7	3	1	1 - Inspección visual del equipo. 2 - Pruebas interruptor	1 - Diaria 2 - Semestral	1 - Electricista Preventivo 2 - Contratista externo

3	Apertura y cierre del interruptor	No abre o cierra el interruptor	Bloqueo del mecanismo de cierre por causas mecánicas.	Posición inadecuada del interruptor, por mal procedimiento del ingreso o salida del mismo	9	3	1	1 - Inspección visual del equipo. 2 - Pruebas interruptor	1 - Diaria 2 - Semestral	1 - Electricista Preventivo 2 - Contratista externo
			Bloqueo del mecanismo de cierre por causas eléctricas.	La bobina de apertura no responde a señales de control. No activa el mecanismo de apertura del interruptor.	9	3	1	Pruebas interruptor	Semestral	Contratista externo

SUBSISTEMA	AUTOTRANSFORMADOR ANEXO 2
-------------------	----------------------------------

Item	Función del equipo	Falla Funcional	Modo de Falla	Descripción de Efectos	Severidad	Ocurrencia	Detección	Acción recomendada	Frecuencia	Ejecutada por
1	Transferir energía eléctrica de un circuito a otro a través de un campo magnético, con el fin de manipular los valores de tensión y corriente requeridos para el proceso	Punto caliente en los bornes de entrada del transformador.	Aumento de la temperatura por falso contacto de los cables de entrada al transformador	Se presenta calentamiento en los bornes de entrada, desgastando los bujes de conexión, presentado mayor consumo de corriente por la fase averiada.	2	7	1	1 - Inspección visual del equipo. 2 - Termografía puntos de conexión.	1 - Diaria 2 - Mensual	Electricista Preventivo
		Punto caliente en el barraje de salida del transformador	Aumento de la temperatura por falso contacto del barraje de salida del transformador	Se presenta calentamiento en el barraje de salida del transformador, dañando los empaques de salida de las barras y presentado mayor consumo de corriente por la fase averiada.	2	7	1	1 - Inspección visual del equipo. 2 - Termografía puntos de conexión.	1 - Diaria 2 - Mensual	Electricista Preventivo

2	Aislamiento del transformador	Aislamiento por debajo del nivel mínimo requerido	Falla en características físico químicas del aceite	Humedad por factores externos, disminuyendo la capacidad de aislamiento del equipo.	8	2	7	Pruebas de aislamiento, continuidad, análisis de aceites y relación de transformación	Anual	Contratista externo
			Falla en características físico químicas del aceite	Alta temperatura del transformador, degenerando las propiedades del aceite	6	3	7	Pruebas de aislamiento, continuidad, análisis de aceites y relación de transformación	Anual	Contratista externo
3	Mantener la temperatura del transformador por debajo de 105 °c, de acuerdo a lo especificado por el fabricante	Alta temperatura del transformador	Falla en los ventiladores del transformador	Alta temperatura del transformador, afectando el aislamiento del mismo, y degradando el aceite.	3	7	1	1 - Inspección visual del equipo.	Diaria	Electricista Preventivo
			Bajo nivel de aceite del transformador	El deterioro en el tanque del transformador, radiadores etc, hace que no se contenga adecuadamente el aceite. Esto puede causar daños mayores por pérdida de aislamiento	3	2	1	1 - Inspección visual del equipo.	Diaria	Electricista Preventivo

			Corto circuito entre espiras	Cambios en la relación de transformación, generado desbalance de fases y disparos del equipo	7	5	9	Pruebas de aislamiento, continuidad, análisis de aceites y relación de transformación	Anual	Contratista externo
4	Medición de variables	Equipos de medición de temperatura y presión en mal estado	Protecciones incorrectas	No protección del equipo por fallas de temperatura y presión del transformador	6	2	1	Pruebas de aislamiento, continuidad, análisis de aceites y relación de transformación	Anual	Contratista externo

DESCRIPCIÓN	MODO DE FALLA
SUBSISTEMA	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ANEXO 3

Item	Función del equipo	Falla Funcional	Modo de Falla	Descripción de Efectos	Severidad	Ocurrencia	Detección	Acción recomendada	Frecuencia	Ejecutada por
1	Recircular agua para enfriamiento al barraje del rectificador	Falla motor eléctrico	Falla por : - Corto entre espiras - Corto entre fases - Desbalance - Sobrecarga - Falla mecánica - Aislamiento	Motor fuera de servicio, disparo de circuito de recirculación de agua, salida de servicio rectificador	2	3	1	- Mantener bomba stand by disponible. - Inspección diaria	Diaria	- Electricista Preventivo - Mecánico Preventivo
		Falla Bomba recirculación	Falla por: - Rodamientos - Empaque - Falla mecánica	Motor fuera de servicio, disparo de circuito de recirculación de agua, salida de servicio rectificador	2	3	1	- Mantener bomba stand by disponible. - Inspección diaria	Diaria	- Electricista Preventivo - Mecánico Preventivo
		Falla sensores de flujo	Señal de alarma incorrecta cuando no exista flujo de agua al barraje	Calentamiento del barraje del rectificador, disparo del sistema	2	2	1	Verificación de señales de flujo, inspección del flujo de agua en tubería	Diaria	Operador de turno

DESCRIPCIÓN	MODO DE FALLA
SUBSISTEMA	TABLERO DE CONTROL ANEXO 4

Item	Función del equipo	Falla Funcional	Modo de Falla	Descripción de Efectos	Severidad	Ocurrencia	Detección	Acción recomendada	Frecuencia	Ejecutada por
1	Controlar los parámetros de operación del rectificador	Falla por pérdida de energía	Falla por daño en ups del tablero de control o prolongado periodo de tiempo sin energía comercial	Disparo del rectificador, fallo en lógica de control	8	3	1	Verificar condiciones de ups de respaldo	Semanal	Electricista preventivo
		Accionamientos y/o protecciones en mal estado, deterioro	Deterioro de equipos de control: - Transf, de corriente o tensión - Daño en contactores - Daño en PLC	Disparo del rectificador, daño en equipos de medición, control y maniobra del tablero.	8	2	1	Ajuste de conexiones, verificar elementos en mal estado	Mensual	Electricista preventivo
		Falla por conexiones en mal estado	Señales de alarma incorrectas .	Disparo del rectificador.	8	2	1	Ajuste de conexiones.	Mensual	Electricista preventivo



**PLAN DE MANTENIMIENTO
SISTEMA DE RECTIFICACIÓN**

DESCRIPCIÓN	MODO DE FALLA
SUBSISTEMA	RECTIFICADOR ANEXO 5

Item	Función del equipo	Falla Funcional	Modo de Falla	Descripción de Efectos	Severidad	Ocurrencia	Detección	Acción recomendada	Frecuencia	Ejecutada por
1	Conversión de energía eléctrica de corriente alterna trifásica a energía eléctrica de corriente directa,	No entrega la corriente requerida	Falla en uno de los diodos de una de las fases	No genera la corriente requerida por el proceso, recalentamiento de las barras que asumen la carga.	8	1	6	Limpieza y ajuste de conexiones de los diodos con el barraje principal del rectificador	Semestral	Electricista preventivo
		Punto caliente en el barraje del rectificador	Aumento de temperatura de las barras de salida del rectificador por: - Falla de mangueras de refrigeración. - Diodos con falso contacto.	Se presenta calentamiento en el barraje del rectificador, produciendo pérdidas por calor, no entrega la corriente deseada al proceso.	5	3	1	- Ajuste de mangueras de alimentación de agua de refrigeración del barraje, ajuste de diodos - Termografía	Mensual	Electricista preventivo

		Alta temperatura del barraje	Falla en el circuito de refrigeración del barraje, mangueras rotas.	Presenta disparo por temperatura superior a 85° C, desgastando las conexiones en el barraje	5	3	1	Ajuste de mangueras de alimentación de agua de refrigeración del barraje, ajuste de diodos	Mensual	Electricista preventivo
--	--	------------------------------	---	---	---	---	---	--	---------	-------------------------

